

PENGARUH PENAMBAHAN GAS OKSIHIDROGEN TERHADAP UNJUK KERJA MOTOR BENSIN BERBAHAN BAKAR PERTAMAX

Harman¹, Effendy Arif², Duma Hasan³

¹Staf Pengajar Teknik Mesin, Akademi Teknik Soroako, Sorowako

^{2,3}Staf Pengajar Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin, Makassar

E-mail: harman@ats-sorowako.ac.id

Abstrak

Salah satu cara yang dapat dilakukan bagi pengguna motor bensin untuk mensiasati kenaikan harga bahan bakar minyak adalah pemanfaatan gas oksihidrogen (HHO), yang dapat diperoleh dengan cara melakukan elektrolisa Air (H_2O) sebagai suplemen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh gas Oksihidrogen terhadap unjuk kerja mesin dengan menggunakan bahan bakar Pertamina sebagai bahan bakar utama. Sebuah generator sederhana dibuat, dimana mampu menghasilkan gas HHO sebesar masing-masing 0.05 L/menit pada konsumsi daya 72 watt, dan 0.13 L/menit pada konsumsi daya 96 watt. Perhitungan prestasi mesin diperoleh berdasarkan pengukuran data hasil eksperimen pada Mesin ENDURO XL 4-tak di laboratorium. Pada pengujian standar, dimana digunakan Pertamina tanpa suplemen gas HHO, pada putaran 3000 RPM dan beban pengereman 3 kg, diperoleh torsi sebesar 1.8 N.m, daya efektif (Ne) sebesar 0.57 kW, konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) sebesar 0.609 kg/kWh serta efisiensi termis sebesar 13.49%. Pada pengujian dengan penambahan gas HHO yang diperoleh dari generator, dengan konsumsi daya *battery* sebesar 96 watt serta pada putaran 3000 RPM dan beban pengereman 3 kg, diperoleh torsi sebesar 3.9 N.m, daya efektif sebesar 1.225 kW, konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 0.303 kg/kWh dan efisiensi termis sebesar 28.46%. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa dengan penambahan gas HHO yang diperoleh dari hasil elektrolisis, dapat meningkatkan Torsi, daya Efektif dan efisiensi termis mesin serta menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik

Kata Kunci: *Oxyhydrogen, HHO, bahan bakar, daya, efisiensi*

Abstract

The effect on the addition of the Oxyhydrogen gas on the performance of the fuel engine based on Petramax. One of the methods for the vehicle users to cope with the increase of the gasoline engine fuel is the utilization of the Oxyhydrogen, obtained from the electrolysis of water (H_2O) as the fuel supplement. This study aims to determine the effect on the addition of the Oxyhydrogen gas on an engine performance using the Pertamina as the primary fuel. A simple generator is made in which it is able to produce the Oxyhydrogen gas, at respectively, 0.05 litre/minute at 72 watts of power consumption, and 0.13 litre/minute at 96 watts of the power consumption. The engine performance calculations is based on the measurements of the data obtained from the experimental results on ENDURO XL 4-stroke engine in the laboratory. In the standard test, in the case of using the fuel supplement of the Pertamina without the Oxyhydrogen at 3000 RPM and at the braking load of 3 kgs, it obtains the torque of 1.8 Nm, the effective power (Ne) of 0.57 kW, the specific fuel consumption (SFC) of 0.609 kg / kWh and the thermal efficiency of 13.49%. In case with the addition of the Oxyhydrogen from the generator with the battery power consumption of 96 watts at 3000 RPM and the braking load of 3 kgs, it derives the torque of 3.9 Nm, the effective power of 1.225 kW, the specific fuel consumption of 0.303 kg / kWh and the thermal efficiency of 28.46%. It is concluded that with the addition of the Oxyhydrogen gas, it improves the torque, the actual power and the thermal efficiency of machine, and degrades the specific fuel consumption.

Keywords: *Oxyhydrogen, HHO, fuel, power, efficiency*

1. Pendahuluan

Dengan meningkatnya inovasi teknologi transportasi yang demikian pesat, maka kebutuhan akan bahan bakar minyak dan atau gas menjadi suatu kebutuhan yang harus dipenuhi oleh pemerintah dalam rangka stabilitas yang berkaitan dengan perekonomian masyarakat. Energi baru dan energi baru terbarukan terus diupayakan oleh Pemerintah untuk mengatasi kebutuhan di atas dengan mensosialisasikan penggunaan energi yang hemat dan ramah lingkungan.

Sementara itu harga minyak bumi dunia yang terus meningkat dan diikuti dengan meningkatnya kebutuhan bahan bakar fosil serta isu lingkungan global yang menuntut tingkat kualitas lingkungan yang lebih baik, mendorong pemerintah untuk mengambil kebijakan baik jangka pendek, menengah maupun jangka panjang. Saat ini pemerintah masih memberikan subsidi BBM hingga 10% dari APBN. Angka ini tergolong sangat besar karena nilainya kurang lebih 137 triliun rupiah (Wartowardoyo, 2012). Terlebih lagi ditengarai bahwa subsidi ini banyak dinikmati oleh golongan menengah ke atas.

Dalam jangka pendek Pemerintah berencana melakukan pembatasan BBM subsidi, yaitu bagi pemilik kendaraan yang berkapasitas 1500 CC ke atas diharuskan menggunakan BBM non-subsidi yang salah satunya adalah Pertamina. Dalam jangka panjang Pemerintah akan mencabut sepenuhnya subsidi BBM.

Meskipun pada saat ini telah mulai dikembangkan mobil listrik sebagai kendaraan yang paling ramah lingkungan namun permasalahan mengenai baterai penyimpan yang tahan lama belum bisa teratasi serta waktu yang dibutuhkan untuk melakukan *recharge* masih cukup lama sehingga masih menjadi hambatan.

Demikian halnya dengan konversi ke Bahan Bakar Gas (BBG) yang masih terkendala dengan infrastruktur. Hal ini menyebabkan sampai saat ini pilihan pada bahan bakar minyak masih lebih tinggi. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dikaji pengaruh penambahan gas oksihidrogen (HHO) terhadap kinerja bahan bakar Pertamina. Hal ini karena Pertamina merupakan bahan bakar yang sesuai dengan tuntutan kebutuhan dan perkembangan otomotif. Pertamina mempunyai nilai oktan tinggi dan sisi fisik mempunyai stabilitas oksidasi yang lebih tinggi. Selain itu,

kandungan oksin, aromatik dan benzenanya tidak dibatasi serta hasil pembakaran lebih sempurna dibanding jenis Premium (Winarno, 2011)

Pada penelitian sebelumnya, Musa (2011) melakukan pengujian kinerja mesin berbahan bakar Premium pada mesin ENDURO XL. Pada penelitian ini, setelah ditambahkan Oksihidrogen pada sebuah generator dengan arus 5A, diperoleh peningkatan daya sebesar 27.02% dan penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 27.70%. Ramdhany (2010) juga melakukan studi experimental pengaruh gas Oksihidrogen pada prestasi mesin diesel dengan bahan bakar utama MDO. Hasil penelitian ini menunjukkan pada putaran 2200 RPM diperoleh penghematan MDO sebesar 5,21%.

Secara umum, tujuan dari penelitian ini adalah membuat suatu *prototype* generator dengan arus yang dapat di-variabelkan untuk memperoleh sejumlah gas Oksihidrogen hasil elektrolisis yang akan disuplai ke ruang bakar bersama-sama dengan udara dan bahan bakar Pertamina, untuk melihat sejauh mana pengaruh gas Oksihidrogen tersebut terhadap prestasi mesin pada motor bensin.

2. Kajian Pustaka

Air Sebagai Sumber Oksihidrogen

Oksihidrogen (HHO) adalah campuran gas H₂ (Hydrogen) dan gas O₂ (Oxygen) dalam perbandingan 1:2. Pada umumnya gas ini dihasilkan dari proses elektrolisis, yang merupakan proses pemecahan molekul H₂O (air) menjadi H₂ dan O₂ dengan pengaruh energi listrik. Oksihidrogen mempunyai energi yang tinggi apabila terbakar hingga mencapai 3 kali lipat energi bahan bakar premium per-satuan berat (Sunyoto, 2011)

Pada prinsipnya, hidrogen bisa diperoleh dengan memecah senyawa yang paling banyak mengandung unsur hidrogen. Sampai saat ini, produksi hidrogen skala komersial yang paling maju adalah produksi hidrogen berbasis bahan bakar fosil dan air. Untuk produksi hidrogen dengan bahan baku bahan bakar fosil, *steam reforming* metana merupakan proses yang paling maju di dunia. Lebih dari 85% kebutuhan hidrogen dunia dipasok dengan sistem produksi *steam reforming* metana (Kosar dkk, 2011).

Produksi hidrogen dengan bahan baku air yang sudah komersial adalah proses elektrolisis. Sayangnya, karena proses elektrolisis

mebutuhkan listrik dalam jumlah besar sebagai pemicu terjadinya reaksi, proses ini memberikan efisiensi termal total yang relatif rendah. Proses elektrolisis hanya bisa ekonomis jika tersedia listrik dalam jumlah besar dengan harga murah (Sudrajat dkk, 2011).

Performa Generator Oksihidrogen

Energi listrik pada baterai aki biasanya dipergunakan untuk sistem kelistrikan di kendaraan (seperti lampu, dan AC). Namun masih ada sisa energi listrik yang dapat dipergunakan sebagai sumber tegangan untuk generator Oksihidrogen. Energi listrik tersebut jumlahnya terbatas, sehingga generator Oksihidrogen yang dipasang pada kendaraan dayanya harus dibatasi. Oleh karena itu harus diketahui seberapa besar daya yang dibutuhkan oleh generator Oksihidrogen. Perumusan untuk mencari daya yang dibutuhkan adalah sebagai berikut (Purnomo, 2010):

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

Pada generator Oksihidrogen, hasil yang berguna adalah produk elektrolisis air berupa gas Oksihidrogen. Gas Oksihidrogen yang terdiri dari gas H₂ dan O₂ mempunyai nilai kalor, sehingga dapat dimanfaatkan energi yang terkandung di dalamnya untuk meningkatkan pembakaran pada motor bakar. Karakteristik gas Oksihidrogen cenderung memiliki karakteristik yang hampir sama dengan gas penyusunnya (gas H₂), karena kandungan H₂ sebesar 2/3 volume gas Oksihidrogen. Gas H₂ mempunyai nilai kalor sebesar 119,93 kJ/gram. Hal ini menyebabkan untuk menghitung nilai kalor gas Oksihidrogen harus diketahui terlebih dahulu perbandingan massa gas H₂ dalam gas Oksihidrogen (Purnomo, 2010).

Produk gas Oksihidrogen yang terukur pada *flowmeter* (satuan liter/min), dan energi yang berikan untuk memproduksi gas Oksihidrogen adalah energi listrik yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi elektrolisis air dalam satuan watt (J/sec). Untuk menghitung peforma generator Oksihidrogen, diturunkan dari persamaan berikut ini (Purnomo, 2010):

$$\text{Performa}_{\text{HHO}} = \frac{m_{\text{HHO}} \times \text{NKB}_{\text{HHO}}}{P_{\text{HHO}}} \times 100\% \quad (2)$$

Parameter Unjuk kerja Motor Bensin

Beberapa parameter utama dari unjuk kerja tersebut adalah torsi (T), daya motor (N_s), tekanan efektif rata-rata (P_s), pemakaian bahan bakar (FC), pemakaian bahan bakar spesifik (SFC) dan Efisiensi Termal (η_{th}). Parameter-parameter tersebut dirumuskan sebagai berikut (Musa, 2011):

$$T = \frac{71620 N_e}{n} \text{ (kg.cm)} \quad (3)$$

$$N_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{60 \times 1000} \text{ (kW)} \quad (4)$$

$$P_e = \frac{60 \cdot N_e}{(VL \cdot z) \cdot n \cdot a} \text{ (kPa)} \quad (5)$$

$$FC = \frac{\rho_{bb} \cdot V}{t} \times 3600 \text{ (kg/jam)} \quad (6)$$

$$SFC = \frac{FC}{N_e} \text{ (kg/kW.jam)} \quad (7)$$

$$\eta_{th} = \frac{N_e}{FC \cdot LHV} \times 100\% \quad (8)$$

3. Metodologi

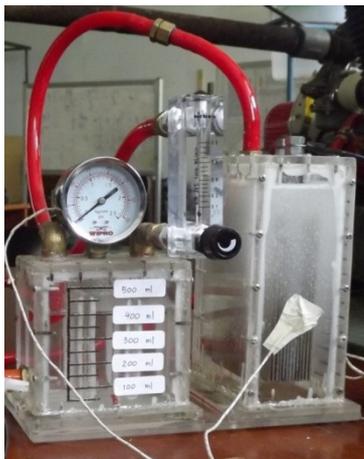
Penelitian ini mulai dengan membuat generator Oksihidrogen sederhana sesuai dengan besarnya aliran gas yang diperlukan di dalam silinder mesin. Sumber utama gas diperoleh dari aquades, ditambah dengan NaOH cair (15 ml per liter aquades). Pengambilan data dilakukan dengan cara mencatat variabel pengukuran berupa torsi, konsumsi bahan bakar, beda *head orifice*, temperatur udara dan suhu gas buang baik pada pengujian standar maupun pada pengujian dengan tambahan gas Oksihidrogen. Data-data tersebut diperlukan untuk menghitung prestasi mesin berupa besarnya daya efektif, pemakaian bahan bakar spesifik dan efisiensi termis. Analisis dilakukan dengan melihat perubahan pada prestasi mesin setelah penambahan gas Oksihidrogen dan

membandingkannya dengan prestasi pada pengujian standar.

4. Hasil dan Pembahasan

Prototype Generator Oksihidrogen

Gambar 1 memperlihatkan *prototype* generator Oksihidrogen tipe sel basah yang dibuat berdasarkan hasil rancangan.

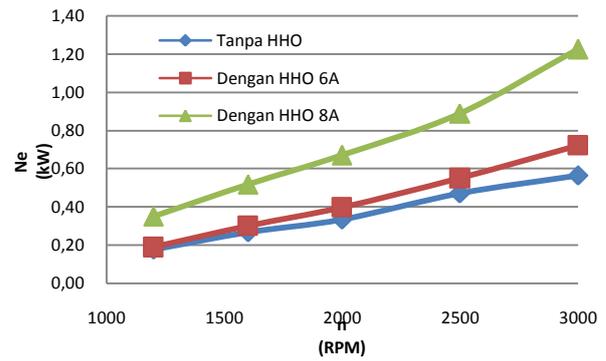


Gambar 1. Generator HHO

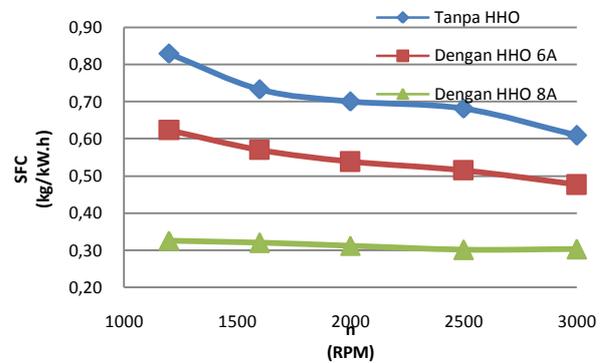
Unjuk Kerja Mesin

Gambar (2 – 4) menunjukkan hubungan daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik dan efisiensi termis yang dihasilkan oleh mesin pada pengujian standar serta pengujian dengan suplemen gas Oksihidrogen. Penambahan arus yang digunakan pada generator mengakibatkan kenaikan pada produksi gas Oksihidrogen. Hal ini terjadi karena sumber arus yang lebih besar dapat menyebabkan proses elektrolisis air dapat berjalan lebih cepat, sehingga produksi hidrogen dan oksigen semakin besar pula. Performa dari generator ditentukan dari besarnya daya yang dibutuhkan untuk menghasilkan gas Oksihidrogen, dimana pada gas ini juga menghasilkan energi sesuai dengan nilai kalor bawah (NKB) yang dimiliki. Dengan demikian semakin besar gas Oksihidrogen yang dihasilkan maka akan semakin besar pula performa generator oksihidrogen.

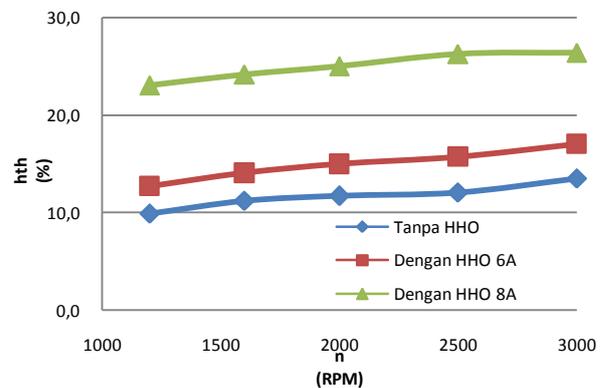
Pada pemberian arus sebesar 6A, laju produksi sebesar 50 ml/menit dan performa generator 68.178%. Pada saat arus dinaikkan menjadi 8A, terjadi kenaikan laju produksi sebesar 130 ml/min atau 160% dan kenaikan performa sebesar 95%.



Gambar 2. Grafik Daya dan Putaran



Gambar 3. Grafik SFC dan Putaran



Gambar 4. Grafik Efisiensi Termis dan Putaran

Daya efektif mengalami kenaikan seiring dengan penambahan putaran, demikian pula pada penambahan beban. Pada prinsipnya, penambahan beban menyebabkan putaran mesin menjadi turun. Untuk itu diperlukan bahan bakar yang lebih besar untuk menaikkan kembali putaran sesuai yang diharapkan. Hal ini menyebabkan dengan kenaikan pemasukan bahan bakar, menyebabkan kenaikan

daya efektif, karena energi panas yang diberikan oleh bahan bakar juga bertambah.

Penambahan suplemen bahan bakar berupa gas Oksihidrogen akan meningkatkan daya yang dihasilkan oleh mesin. Dengan adanya tambahan bakar berupa gas Oksihidrogen, pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar akan semakin sempurna. Gas Oksihidrogen yang terdiri dari gas H₂ dan gas O₂ akan mencapai perbandingan komposisi yang tepat untuk terbakar, jika ada sumber api. Hasil pembakaran gas H₂ akan menghasilkan energi dan tekanan yang besar di dalam ruang bakar, sehingga akan menambah daya yang dihasilkan mesin. Hal ini pula dapat terlihat bahwa semakin besar pemberian arus pada generator, akan meningkatkan pula daya efektif pada mesin. Hal ini terjadi karena penambahan arus berbanding lurus dengan kapasitas gas Oksihidrogen yang dihasilkan untuk disuplai ke ruang bakar.

Jika dibandingkan dengan kondisi tanpa suplemen Oksihidrogen, pada putaran 3000 RPM, daya yang dihasilkan adalah 0.566 kW, terjadi kenaikan sebesar 27.78% pada saat adanya tambahan gas Oksihidrogen dimana pada generator diberikan arus 6A. Hal ini sesuai dengan penelitian Musa (2011) yang menghasilkan peningkatan daya mesin sebesar 27.02%.

Pemberian arus sebesar 8A pada generator Oksihidrogen menyebabkan kenaikan daya yang cukup signifikan, yaitu sebesar 116.7%. Hal ini terjadi karena energi listrik yang dibawa oleh gas Oksihidrogen semakin meningkat yang mana hal ini semakin meningkatkan efisiensi pembakaran di dalam ruang bakar. Pada penelitian Musa (2011) variasi ini tidak terlihat.

Pemakaian bahan bakar spesifik (SFC) menurun seiring bertambahnya putaran. Pada putaran rendah hingga menengah, penurunan terjadi dengan signifikan. Hal ini disebabkan pada putaran rendah, suhu pembakaran belum mencapai optimum sehingga kebutuhan bahan bakar besar. Pada putaran menengah hingga tinggi, penurunan SFC tidak signifikan lagi karena pembakaran sudah mulai stabil. Hal ini dapat dilihat pula bahwa gas Oksihidrogen berperan dalam penurunan SFC. Gas Oksihidrogen yang membawa energi masuk ke ruang bakar menyebabkan proses pembakaran lebih sempurna, sehingga untuk menghasilkan daya tertentu tidak diperlukan bahan bakar yang besar. Di sini pula terlihat bahwa semakin besar

pemberian arus pada generator, akan menurunkan pula SFC. Hal ini terjadi karena penambahan arus berbanding lurus dengan kapasitas gas Oksihidrogen yang dihasilkan untuk disuplai ke ruang bakar.

Jika dibandingkan dengan kondisi tanpa suplemen Oksihidrogen, pada putaran 3000 RPM, konsumsi bahan bakar spesifik adalah sebesar 0.609 kg/kWh, dimana terjadi penurunan sebesar 27.79% pada saat adanya tambahan gas Oksihidrogen, dimana pada generator telah diberikan arus 6A (hal ini sesuai dengan penelitian Musa (2011) yang menghasilkan penurunan SFC sebesar 27.70%). Pada variasi arus sebesar 8A, terjadi penurunan SFC sebesar 101.19%. Penambahan generator Oksihidrogen dengan arus 8A memiliki penurunan sangat signifikan karena gas Oksihidrogen yang dihasilkan meningkat 160% dari arus 6A.

Gas Oksihidrogen yang terdiri dari gas H₂ dan O₂ membuat pembakaran di ruang bakar lebih sempurna, sehingga bahan bakar hidrokarbon dapat terbakar secara optimal dan membutuhkan bahan bakar yang lebih sedikit dalam menghasilkan daya 1 kW. Dalam penelitian Sudrajat dkk (2011), secara umum dengan penambahan gas Oksihidrogen dapat melakukan penghematan hingga 70%. Pada penelitian Santoso dkk (2010) dimana bahan bakar utama yang digunakan adalah diesel diperoleh penurunan SFC sebesar 10,8% (pada putaran 2000 RPM)..

Efisiensi termal naik seiring penambahan putaran. Pada putaran rendah efisiensi termis rendah. Hal ini disebabkan pada putaran rendah, campuran udara bahan bakar belum tercampur dengan sempurna (homogenitasnya kurang). Hal ini menyebabkan pembakaran tidak optimal. Seiring dengan meningkatnya putaran, campuran akan semakin homogen, sehingga pembakaran yang akan dihasilkan akan semakin baik dan efisiensi termis juga akan semakin meningkat.

Penambahan gas Oksihidrogen juga menyebabkan efisiensi termis meningkat. Menurut Yilmaz dkk (2010), dengan api kecepatan tinggi dari gas Oksihidrogen, pembakaran dengan periode yang lebih pendek menghasilkan kehilangan panas yang lebih rendah, sehingga efisiensi termisnya meningkat. Jika dibandingkan dengan kondisi tanpa suplemen Oksihidrogen, pada putaran 3000 RPM, efisiensi termis yang dihasilkan sebesar 13.49%. Dari hasil ini, terjadi kenaikan sebesar 38.88% pada saat adanya tambahan gas

Oksihidrogen, dimana pada generator telah diberikan arus 6A (sesuai dengan penelitian Musa (2011) bahwa dengan penambahan gas oksihidrogen terjadi peningkatan efisiensi termis sebesar 31.07%). Pada arus 8A, terjadi kenaikan efisiensi termis sebesar 101.0%. Hasil ini sesuai dengan yang diperoleh Wang dkk (2010), yang menunjukkan bahwa dengan penambahan gas Hidrogen sebesar 3%, 5% dan 8%, akan semakin meningkatkan efisiensi termis motor bensin.

5. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah bahwa dengan generator, sejumlah gas Oksihidrogen dapat dihasilkan sebagai suplemen bahan bakar motor bensin. Besarnya laju produksi gas tergantung desain dan arus yang disuplai ke generator. Penambahan gas Oksihidrogen memberikan pengaruh yang positif terhadap kinerja motor bensin yang berbahan bakar Pertamax. Hal ini dapat meningkatkan daya efektif mesin dan efisiensi termis, dan menurunkan konsumsi bahan bakar.

Hal yang belum terlihat dalam penelitian ini adalah bagaimana kinerja mesin apabila daya listrik yang digunakan pada generator Oksihidrogen bersumber dari daya output mesin itu sendiri. Hal ini sebaiknya memerlukan penelitian lebih lanjut.

Ucapan Terima Kasih

Kepada seluruh pihak yang telah membantu memberikan dukungan baik materil maupun moral dalam penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Kosar, M, Ozdalyan, B, Celik, MB., 2011, *The Usage of Hydrogen for Improving Emissions and Fuel Consumption in a Small Gasoline Engine* Journal of Thermal Science and Technology. Turkey
- Musa, I. 2011. *Pengaruh Penambahan Brown;s Gas terhadap prestasi dan Emisi gas Buang Motor Bensin.*
- Purnomo, Rizki E. 2010. *Pengujian Performa Generator HHO dengan Air Kemasan dan Pengaruhnya terhadap Engine Generator Set JF154 1500DC.* www.digilib.its
- Ramadhany, D. 2010, *Kajian Eksperimental Pengaruh Penggunaan Gas Hasil*

Elektrolisis Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel, www.digilib.its

- Santoso, W.B., Nur, A., Ariyono, S, Bakar, R.A. 2010, *Combustion Charasteristics of a Diesel-Hydrogen Dual Fuel Engine.* Energy & Environment, Vol. 78-6, Institute of Energy Research - Fuel Cells (IEF-3), Universiti Malaysia Pahang, ISBN: 978-967-0120-04-1
- Sudrajat, A, Ariffin, E, , 2011. *Manfaat Gas HHO Untuk Kesejahteraan Masyarakat.* Paper Seminar Nasioanal pada Konvensi Nasional BKM-PII, Jakarta
- Sunyoto, A, 2011. *Oxyhidrogen Hasil Proses Elektrolisa sebagai Aditif Bahan Bakar Motor Bakar.* Paper Seminar Nasioanal pada Konvensi Nasional BKM-PII, Jakarta
- Wartowardoyo, A, 2012. *Realisasi Subsidi BBM jauh lebihi Pagu.* www.setgab.go.id
- Winarno, J, 2011. *Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Bioetanol Pada Bahan Bakar Pertamax Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin.* Jurnal Teknik Volume I No. 1 Hal. 33, Universitas Janabadra, Yogyakarta
- Wang, S, Ji, C, 2010. *Effect of Hydrogen Addition on Combustion and Emissions Performance of a Spark-ignition Gasoline Engine at 800 rpm and Lean Conditions.* 18th World Hydrogen Energy Conference. Beijing, Energy & Environment, Vol. 78-6
- Yilmaz, AC, Uludamar E, Aydin K, 2010. *Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines.* International Journal of Hydrogen Energy.ELSEVIER.