

Efek Penambahan Gas Oksihidrogen Pada Proses Pembakaran Motor Bensin Silinder Tunggal

Samuel Parlindungan Siregar¹, Joni^{2✉}

^{1,2} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih, Kota Jayapura-Papua, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 07-02-2023

Direvisi : 11-02-2023

Diterima : 13-02-2023

Kata Kunci:

Motor Bensin, Hidrogen, Generator Hidrogen, Elektroliser, Daya, Konsumsi Bahan Bakar, Efisiensi

Keywords:

Gasoline Engine, Hydrogen Electrolyser Generator, Power, Fuel Consumptions, Efficiency

Corresponding Author:

Joni

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih

Kampus Baru Uncen Waena, Jl. Kamp Wolker, Yabansai, Heram, Kota Jayapura-Papua

Email: me.uncen@gmail.com

ABSTRAK

Penambahan hidrogen bersama bahan bakar besin dapat meningkatkan kinerja dan efisiensi motor, tetapi setelah batas tertentu, hidrogen mulai muncul efek samping, terutama karena rasio oksigen bahan bakar menurun. Generator elektrolisis hidrogen merupakan sebuah alat yang dapat menghasilkan gas hidrogen dan oksigen pada proses elektolisis air. Gas tersebut dapat diaplikasikan sebagai campuran bahan bakar dan udara untuk meningkatkan daya motor; dengan diinjeksikan bersama udara yang masuk ke ruang pembakaran. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi pengaruh pemakaian generator elektrolisis hidrogen terhadap kinerja motor bensin. Hasil menunjukkan pengaruh generator elektrolisis hidrogen terhadap peningkatan kinerja motor bensin, yaitu daya efektif sebesar 18,21% (4000 rpm), pemakaian bahan bakar yang berkurang sebesar 15,34% (3600 rpm), serta meningkatkan efisiensi thermal 17,36% (4000 rpm).

ABSTRACT

The addition of hydrogen to gasoline can improve the performance and efficiency of the motor, but after a certain limit, side effects of hydrogen begin to appear, mainly due to a decrease in the ratio of oxygen to fuel. Hydrogen electrolyzer generator is a tool that can produce hydrogen and oxygen gas in the process of electrolysis of water. The gas can be applied as a mixture of fuel and air to increase motor power; by injecting air into the combustion chamber. The purpose of this study was to evaluate the use of a hydrogen electrolysis generator and its effect on gasoline engine performance. The results showed that the effect of a hydrogen electrolysis generator on increasing gasoline engine performance was an effective power of 18.21% (4000 rpm), a decrease in fuel consumption of 15.34% (3600 rpm), and an increase in thermal efficiency of 17.36% (4000rpm).

PENDAHULUAN

Ketersediaan bahan bakar minyak sebagai penghasil energi semakin terbatas, dan hasil pembakarannya juga menyebabkan pencemaran lingkungan. Upaya penghematan bahan bakar fosil dan mencari alternatif yang ramah lingkungan terus dilakukan, salah satunya adalah konservasi bahan bakar melalui pemanfaatan hidrogen (H₂O) dari air. Inovasi yang diciptakan adalah alat yang berdampak positif pada motor, mengurangi konsumsi bahan bakar, mengurangi

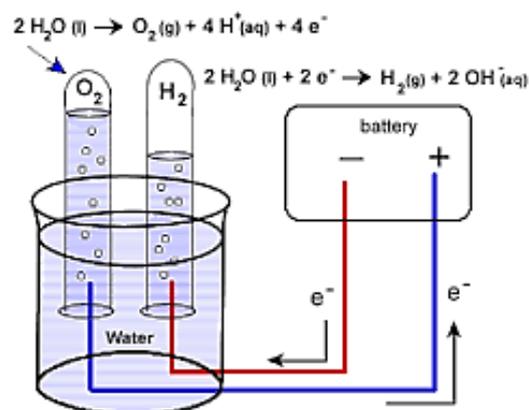


emisi gas buang dan meningkatkan performa motor, maka dibuatlah komponen tambahan untuk memaksimalkan performa motor, salah satunya adalah generator elektrolisis hidrogen. Dampak positif pada emisi berbahaya dan kinerja HHO lebih besar untuk motor pengapian percikan (SI). Sharma *et al.* (2015) mengamati pengaruh penambahan gas oksihidrogen pada karakteristik kinerja yang berbeda dari motor SI empat langkah. Peningkatan rata-rata gaya pengereman motor sekitar 11,5%. Konsumsi bahan bakar spesifik motor turun rata-rata sekitar 6,35%. Efisiensi termal rem motor meningkat rata-rata sekitar 10,26%. Selain itu, emisi nitrogen oksida berkurang.

De Silva *et al.* (2015) melakukan penelitian untuk mengukur dampak oksihidrogen pada motor SI. Hasilnya, penggunaan oksihidrogen memperbaiki efisiensi pembakaran yang mengurangi konsumsi bahan bakar hingga 20%. Ini juga menyebabkan peningkatan keluaran daya sebesar 5,7% dan efisiensi termal sebesar 5%. Dhananjay *et al.* (2015) juga melakukan penelitian pada motor SI empat langkah dengan oksihidrogen sebagai bahan bakar tambahan. Hasilnya, penggunaan oksihidrogen mampu mengurangi pemakaian bahan bakar 20% dan residu gas karbon mono oksida dan hidrokarbon yang berbahaya. Peningkatan daya luaran motor sebesar 5,7% juga diamati. Yilmaz *et al.* (2010) meneliti pengaruh elektrolit yang berbeda pada produksi HHO pada motor SI dan pengapian kompresi (CI). Hasilnya, peningkatan torsi sebesar 32,4% dan 19,1% ditemukan pada masing-masing motor SI dan CI.

Proses penguraian air menjadi hydrogen dan oksigen dapat dilakukan menggunakan peralatan generator elektrolisis hydrogen, yang biasa disebut elektrolisis. Peralatan ini membutuhkan arus listrik yang cukup untuk dapat bekerja, semakin besar arus listrik yang diberikan maka proses penguraian akan berlangsung lebih cepat dan menghasilkan gas-gas yang disebut gas oksihidrogen. Gas-gas ini dapat digunakan untuk membantu meningkatkan kinerja motor pembakaran dalam, seperti motor bensin dan diesel. Udara dan gas oksihidrogen akan bercampur terlebih dulu sebelum diinjeksikan ke ruang pembakaran. Penggunaan generator elektrolisis hidrogen memiliki beberapa keuntungan, antara lain: 1) pemanasan global dan pencemaran udara dapat diturunkan; 2) pemakaian bahan bakar lebih hemat; 3) meningkatnya daya motor; dan 4) keawetan dan kebersihan motor lebih terjamin (Baltacioglu *et al.* 2016). Penggunaan generator elektrolisis hidrogen juga memungkinkan bahan bakar lebih efisien, menghasilkan knalpot yang lebih ramah. Karena generator elektrolisis hidrogen itu sendiri menggunakan arus searah 12 – 48volt yang bersumber dari baterai, di mana arus listrik dialirkan pada elektroda mengurai ikatan ion hidrogen dan oksigen dalam air menghasilkan gelembung-gelembung yang berisi gas oksihidrogen. Penggunaan arus listrik yang besar dapat berakibat terbentuknya deposit pada elektroda yang dapat menyebabkan korosi dan kerusakan, sehingga proses ini memiliki batasan untuk penggunaan skala besar.

Sunyoto (2011), menyebutkan senyawa oksihidrogen (HHO) merupakan pencampuran gas hidrogen (H) dan oksigen (O), di mana pada proses elektrolisis akan menghasilkan 1 molekul hidrogen dan 2 molekul oksigen. Kandungan energi pada gas oksihidrogen 3 kali energi per satuan berat bahan bakar premium yang umum digunakan. Air dapat memperoleh hidrogen dengan memecah senyawa menjadi ion H⁺ dan O⁻, karena ion ini mengandung hidrogen paling banyak. Sudrajat & Arifin (2011), komersialisasi gas oksihidrogen dari air dengan biaya yang murah dapat dilakukan melalui proses elektrolisis.



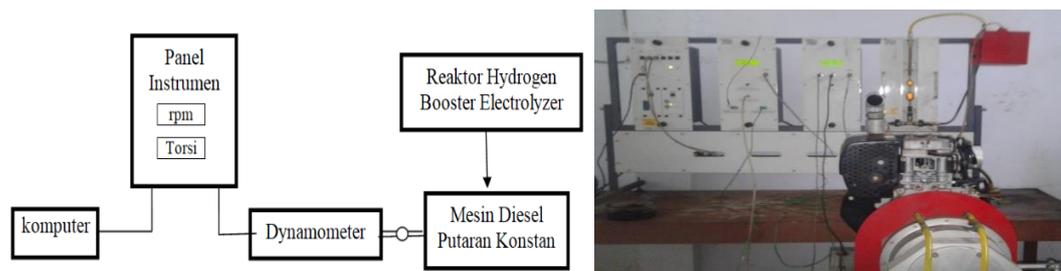
Gambar 1. Proses terbentuknya HHO

Bahan elektroda yang digunakan berupa pelat baja tahan karat, dan sebagai katalisnya adalah NaOH, sumber arus listrik yang berasal dari baterai dan *spool*. Dengan menggunakan generator elektrolisis hidrogen ini akan meningkatkan kinerja pada motor bensin. Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan informasi dari efek penggunaan generator elektrolisis hidrogen terhadap kinerja motor bensin putaran konstan.

Penggunaan generator elektrolisis hidrogen dapat dimungkinkan pada kendaraan, baik roda empat maupun roda dua, dengan memanfaatkan sumber arus listrik yang tersedia, seperti dari baterai ataupun langsung dari dinamo. Pemasangan generator elektrolisis hidrogen harus mempertimbangkan ketersediaan energi listrik dan jaringan instalasi pada kendaraan, hal ini untuk mencegah terjadinya tegangan listrik berlebihan yang dapat menimbulkan masalah kebakaran.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan TD200 *Small Engine Test Set* untuk uji performa motor bensin silinder tunggal berkapasitas 200cc dengan putaran maksimumnya 5000 rpm sedang untuk spesifikasi lainnya dapat dilihat pada Tabel 1. Pengujian dilakukan pada kondisi normal dan penambahan gas hidrogen yang diperoleh dari generator elektrolisis hidrogen dengan katoda yang terbuat dari baja tahan karat dan katalis NaOH. Variabel bebas pada penelitian ini adalah arus listrik yang digunakan untuk menyalakan generator elektrolisis hidrogen, yaitu: 3 Amp, 4 Amp, dan 5 Amp; sedangkan variabel terkontrol berupa tegangan listrik 12 volt. Variabel dependen yang diamati dalam penelitian ini terdiri dari: daya motor, konsumsi bahan bakar, dan suhu. Peralatan penunjang berupa, dinamometer berpengereman air, termokopel dan perangkat lunak *T-equipment*, serta peralatan terkait lainnya, seperti peralatan mekanik. Pengujian standar dilakukan dengan menggunakan bensin, kemudian dibandingkan dengan pengujian menggunakan campuran bahan bakar dan hidrogen yang dihasilkan dari generator elektrolisis hidrogen.



Gambar 2. Skema Instalasi Pengujian Motor Diesel

Instalasi pengujian motor yang dilengkapi dengan dinamometer berpengereman air, di mana beban pengereman bersumber pada aliran air dari tangki penampungan. Instalasi ini juga dilengkapi seperangkat instrumen untuk membaca data-data, seperti torsi, putaran motor, pemakaian bahan bakar dan suhu. Generator elektrolisis hidrogen dibangkitkan dengan arus listrik dc 3 Amp, 4 Amp, dan 5 Amp pada tegangan konstan 12 volt. Pada saat pengujian motor dilakukan, instrument panel indikator menampilkan hasil pengukuran dan menyimpan data terukur selama pengujian berlangsung. Gambar 2 memperlihatkan diagram pembacaan data dan konstruksi motor yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Spesifikasi Motor

Uraian	Ukuran
Jumlah Silinder	1
Diameter silinder (mm)	69,0
Langkah piston (mm)	65,0
Volume langkah (cc)	243
Rasio Kompresi	22:1
Daya (kW)	3,5
Max torque (Nm)	10.5

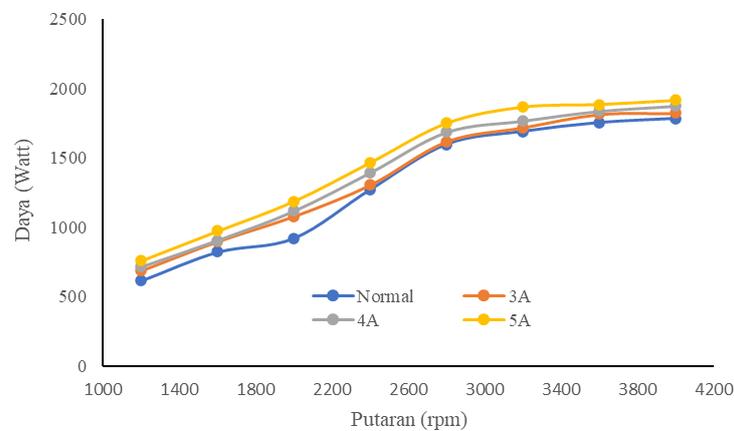
HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Efektif

Daya merupakan salah satu indikator kinerja dari motor, yang merupakan fungsi dari torsi dan putaran yang terukur, di mana keduanya berbanding lurus dengan daya luaran motor, semakin tinggi putaran motor maka torsi yang dihasilkan berkurang. Tabel 2 menyajikan data hasil perhitungan daya efektif pada putaran putaran dan arus listrik generator elektrolisis hidrogen.

Tabel 2. Daya motor pada variasi putaran dan input arus listrik

Putaran (rpm)	Daya motor (Watt)			
	Normal	Dengan generator HHO		
		3 Amp	4 Amp	5 Amp
1200	615	685	714	758
1600	821	896	905	972
2000	921	1078	1117	1187
2400	1272	1305	1394	1467
2800	1597	1618	1686	1751
3200	1689	1719	1767	1867
3600	1752	1814	1837	1885
4000	1781	1821	1874	1915



Gambar 3. Putaran motor terhadap daya motor

Tabel 2 menunjukkan perbandingan daya luaran motor bensin pada setiap putaran dan arus masukan generator elektrolisis hidrogen. Untuk setiap putaran konstan, daya motor mengalami kenaikan yang signifikan dengan presentase 4 – 18%. Di mana efek penggunaan generator elektrolisis hidrogen pada motor dengan putaran 2000 rpm memberikan pengaruh kenaikan 18,17% dengan daya luaran rata-ratanya 1127,33-Watt (daya normal 921-Watt); dan diikuti putaran motor 1200 rpm sebesar 14,37% dan daya luaran 790-Watt terhadap daya motor tanpa penggunaan alat tersebut, yaitu 615-Watt. Dengan bertambahnya putaran motor, menyebabkan penurunan presentase pengaruh dari penggunaan generator elektrolisis hidrogen hanya mencapai 4 – 8%. Hal ini terjadi karena motor putaran tinggi membutuhkan udara lebih banyak dibandingkan dengan motor putaran rendah, karena jumlah hidrogen yang dihasilkan tidak mencukupi bercampur dengan udara untuk disuplai pada proses pembakaran. Kinerja generator elektrolisis hidrogen sangat bergantung pada sumber arus listrik, gas oksihidrogen yang optimum hanya dapat diperoleh jika arus listrik yang dialirkan juga besar, dengan kata lain keduanya berbanding lurus. Gambar 3 memperlihatkan perbandingan daya motor yang dihasilkan, penggunaan efektif hidrogen terjadi pada putaran motor 2000 rpm, sedangkan daya luaran maksimum di putaran 4000 rpm. Daya motor mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya putaran dan penambahan beban dapat mengakibatkan putaran motor mengalami

pengereman, daya motor dan efisiensi thermal meningkat dengan cara penambahan hidrogen (Karagöz *et al.* 2015).

Untuk meningkatkan putaran motor, diperlukan suplai bahan bakar yang lebih banyak untuk menghasilkan tekanan pembakaran yang besar sesuai masukan putaran motor yang diinginkan. Penggunaan campuran gas oksihidrogen dan udara sebagai bahan bakar dapat meningkatkan daya motor, karena gas tersebut memiliki nilai kalor yang lebih tinggi. Setelah menambahkan campuran bahan bakar gas oksihidrogen dan udara, pembakaran di ruang bakar akan lebih sempurna. Oksihidrogen merupakan gas yang terdiri terdiri hidrogen dan oksigen; bercampur bersama udara luar yang dapat meningkatkan proses pembakaran dan laju pembakaran berlangsung secara optimal. Pembakaran campuran bahan bakar bensin, udara dan gas oksihidrogen mampu menghasilkan energi dan tekanan yang besar, serta meningkatkan daya yang motor bensin. Di samping itu, hidrogen memiliki area yang lebih luas yang mudah terbakar daripada bensin (Ji & Wang, 2009). Konsekuensinya, waktu pembakaran yang lebih singkat dan area mudah terbakar yang lebih luas dari campuran hidrogen-bensin menghasilkan efisiensi pembakaran yang lebih tinggi (Ma *et al.* 2008) Oleh karena itu, solusi dengan tingkat pembakaran volume konstan yang lebih tinggi berarti mesin SI beroperasi lebih dekat dengan siklus teoritisnya (Ji & Wang, 2009). Dapat dilihat juga pengaruh dari peningkatan kuat arus listrik dalam produksi gas oksihidrogen pada generator memberikan hasil peningkatan daya efektif motor. Produksi gas oksihidrogen dengan arus listrik yang tinggi hanya memberikan dampak peningkatan yang kecil.

Pemakaian bahan bakar spesifik

Pemakaian bahan bakar spesifik mengacu pada banyaknya bahan bakar yang dikonsumsi pada proses untuk menghasilkan satu unit energi, yang dinyatakan dalam satuan massa per unit energi, seperti kilogram per kilowatt-jam atau pon per jam tenaga kuda. Ini adalah ukuran efisiensi motor atau sistem konversi energi, dan digunakan untuk membandingkan berbagai penggunaan bahan bakar. Rendahnya penggunaan bahan bakar spesifik mengindikasikan meningkatnya efisiensi thermal, karena ini berarti lebih sedikit bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan jumlah energi yang sama. Tabel 3 menyajikan hasil perhitungan pemakaian bahan bakar spesifik terhadap putaran motor, berikut ini.

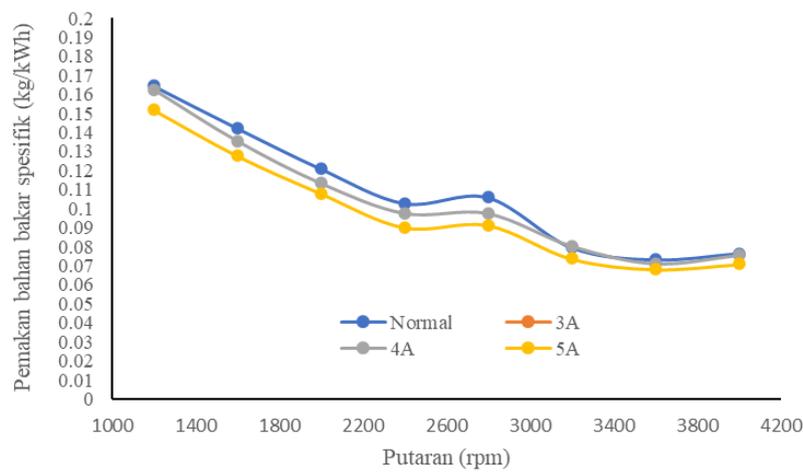
Tabel 3. Nilai pemakaian bahan bakar spesifik

Putaran (rpm)	Pemakaian bahan bakar spesifik (kg/kWh)			
	Normal	Dengan generator HHO		
		3 Amp	4 Amp	5 Amp
1200	0,1644	0,1657	0,1625	0,1519
1600	0,1422	0,1392	0,1355	0,1278
2000	0,1209	0,1195	0,1133	0,1080
2400	0,1027	0,0982	0,0975	0,0901
2800	0,1058	0,0993	0,0974	0,0913
3200	0,0796	0,0811	0,0803	0,0737
3600	0,0732	0,0743	0,0711	0,0681
4000	0,0765	0,0782	0,0755	0,0708

Dari penyajian Tabel 2 terlihat pemakaian bahan bakar spesifik terendah sebesar 0,0681 kg/kWh (putaran 3600 rpm) yang tertinggi adalah 0,1519 kg/kWh (putaran 1200 rpm) dan 0,1278 kg/kWh (putaran 1600 rpm). Pada kondisi putaran motor yang rendah, proses pembakaran belum stabil, sehingga suhu dalam ruang pembakaran akan terus mengalami kenaikan hingga mencapai kondisi maksimumnya. Untuk mendapatkan kondisi tersebut maka diperlukan sejumlah bahan bakar yang lebih besar. Pada motor putaran sedang dan tinggi, pemakaian bahan bakar spesifik tidak lagi signifikan, akibat kondisi proses pembakaran perlahan stabil. Oksihidrogen juga berperan dalam mengurangi pemakaian bahan bakar spesifik. Gas Oksihidrogen yang memiliki nilai kalor yang tinggi, mentransferkan energi dalam ruang pembakaran dan proses pembakaran berlangsung sempurna; sehingga tidak banyak bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya motor. Gas hidrogen memiliki kecepatan nyala lima kali lebih besar daripada bensin, maka

kecepatan nyala campuran yang lebih tinggi memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan pemakaian bahan bakar spesifik (Ji & Wang, 2009).

Dari Gambar 4 dapat dilihat, suplai arus listrik yang meningkat akan menyebabkan pemakaian bahan bakar spesifik ikut menurun. Pada putaran tinggi, efek penggunaan generator elektrolisis hidrogen sebesar 2,4% (putaran 4000 rpm). Sedangkan nilai terbesar diperoleh pada putaran 2800 rpm sebesar 10,35%. Kondisi ini telah dijelaskan sebelumnya jika pada putaran motor yang tinggi ini suplai udara semakin besar dan generator elektrolisis hidrogen hanya mampu menghasilkan gas oksihidrogen yang terbatas, sehingga perbandingan udara dan gas oksihidrogen ikut berkurang. Di samping itu juga motor pada putaran tinggi telah mengalami kestabilan, sehingga pemakaian bahan bakar spesifik akan menurun. Hidrogen memiliki banyak sifat pembakaran yang sangat baik yang dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja pembakaran dan emisi mesin pengapian busi (SI) berbahan bakar bensin.



Gambar 4. Putaran motor terhadap pemakaian bahan bakar spesifik

Efisiensi thermal

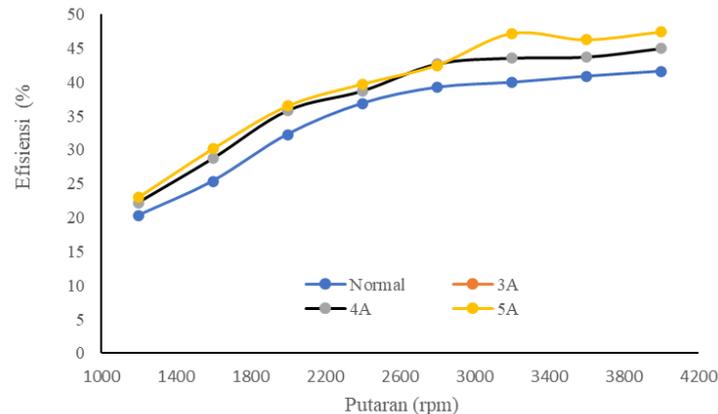
Merupakan presentase perbandingan antara energi input yang digunakan untuk melakukan tugas yang spesifik dan energi yang diterima oleh sistem. Dalam hal motor bakar, efisiensi thermal mengacu pada rasio antara energi yang dihasilkan oleh motor dan energi yang digunakan dalam bentuk bahan bakar. Efisiensi thermal yang tinggi berarti bahwa motor lebih efisien dalam mengubah energi bahan bakar menjadi energi mekanik. Faktor-faktor seperti kondisi proses pembakaran, konsentrasi bahan bakar, dan kecepatan motor dapat mempengaruhi efisiensi thermal. Tabel 4 menyajikan data hasil perhitungan yang dilakukan, nilai efisiensi thermal pada setiap putaran motor dan penggunaan arus listrik, berikut ini.

Tabel 4. Nilai efisiensi thermal

Putaran (rpm)	Efisiensi thermal (%)			
	Normal	Generator elektrolisis hidrogen		
		3 Amp	4 Amp	5 Amp
1200	20,28	20,75	22,15	22,94
1600	25,36	26,67	28,68	30,11
2000	32,25	33,15	35,75	36,42
2400	36,81	37,18	38,65	39,66
2800	39,18	41,05	42,64	42,44
3200	39,91	41,86	43,52	47,14
3600	40,82	42,12	43,67	46,21
4000	41,55	43,18	44,93	47,37

Tabel 4 menyajikan nilai efisiensi thermal pada setiap putaran motor dan penggunaan arus listrik di generator elektrolisis hydrogen. Efisiensi maksimum yang diperoleh pada penggunaan arus listrik 5A sebesar 47,37% dengan putaran motor 4000 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa pada

putaran tinggi, pencampuran udara dan bahan bakar lebih merata, tetapi dari hasil penelitian yang dilakukan penggunaan generator elektrolisis hidrogen tidak memberikan pengaruh yang berarti dengan nilai mencapai 4%; jika dibandingkan pada putaran motor 2000 rpm memberikan pengaruh yang signifikan mencapai 18% lebih terhadap efisiensi thermal. Di mana sejumlah gas hidrogen dari generator elektrolisis menyuplai hidrogen yang sebanding dengan jumlah udara. Sedangkan pada putaran motor yang tinggi 4000 rpm, generator elektrolisis tidak mampu menghasilkan perbandingan hidrogen dan udara, dengan kata lain udara terisap lebih banyak dibandingkan hidrogen. Untuk itu pada motor dengan putaran tinggi diperlukan generator elektrolisis yang mampu menyediakan gas hydrogen dalam jumlah yang lebih, berarti dibutuhkan konstruksi dan suplai arus listrik yang besar. Representasi data efisiensi thermal hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Putaran motor terhadap efisiensi

Peningkatan efisiensi sebanyak dua pertiga disebabkan oleh peningkatan pola pembakaran bahan bakar yang lebih menguntungkan, sementara sepertiga lainnya disebabkan oleh laju resirkulasi gas buang melalui perlambatan pembukaan katup buang (Dimopoulos *et al.* 2007). Peningkatan arus listrik juga dapat berdampak pada efisiensi proses pembangkitan hidrogen. Arus yang lebih tinggi dapat mengakibatkan peningkatan pemanasan elektroda, yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi dan penurunan produksi hidrogen dari waktu ke waktu. Hal ini dapat dikurangi melalui penggunaan bahan dengan ketahanan tinggi terhadap korosi dan keausan, serta pendinginan dan perawatan elektroda yang tepat. Pengaruh peningkatan arus listrik pada kualitas hidrogen yang dihasilkan juga dapat menjadi perhatian, karena arus yang lebih tinggi dapat meningkatkan produksi pengotor seperti hidrogen peroksida, yang dapat mengurangi kemurnian hidrogen yang dihasilkan dan berpotensi memengaruhi kinerjanya sebagai bahan bakar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil pengujian yang dilakukan pada motor bensin menggunakan generator elektrolisis hidrogen menghasilkan kinerja yang cukup baik. Pencampuran udara dan gas yang disuplai ke ruang pembakaran mampu meningkatkan kinerja motor bensin. Di mana daya efektif motor mencapai 18,21% pada putaran 4000 rpm, menurunkan pemakaian bahan bakar sebesar 15,34% (di putaran 3500 rpm), serta meningkatkan efisiensi thermal 17,36% (di putaran 4000 rpm).

Saran

Perlunya dilakukan penelitian serupa yang dapat melakukan pengukuran jumlah konsentrasi gas yang dihasilkan generator elektrolisis hidrogen, sehingga penelitian ke depan mampu mendesainnya sesuai kebutuhan kapasitas motor bensin. Adanya simulasi awal menggunakan perangkat lunak untuk memprediksi efek penggunaan gas oksihidrogen sebagai

campuran bahan bakar pada motor bensin akan membantu aplikasi alat generator elektrolisis hidrogen.

REFERENSI

- Baltacioglu, M. K., Arat, H. T., Özcanli, M., Aydin, K. (2016). Experimental comparison of pure hydrogen and HHO (hydroxy) enriched biodiesel (B10) fuel in a commercial diesel engine. *Int. J. Hydrogen Energy*, 41(19): 8347–8353
- De Silva, S., Senevirathne, L., Warnasooriya, T. (2015). HHO generator – An approach to increase fuel efficiency in spark ignition engines. *European Journal of Advance in Engineering and Technology*, 15: 1–7.
- Dhananjay B., Jay O., Bhavin H., Guarang A. (2015). An experimental analysis of S.I engine performance with HHO as a fuel, *International Journal of Engineering Research & Technology*, 4: 608–615.
- Dimopoulos, P., Rechsteiner, C., Soltic, P., Laemmle, C., Boulouchos, K. (2007). Increase of passenger car engine efficiency with low engine-out emissions using hydrogen–natural gas mixtures: A thermodynamic analysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(14): 3073–3083.
- Ji, C.W., & Wang, S.F. (2009). Effect of hydrogen addition on the idle performance of a spark ignited gasoline engine at stoichiometric condition. *Int J Hydrogen Energy*, 34(18): 7823–7834.
- Karagöz, Y., Yuca, N., Sandalcı, T., Dalkılıç, A.S. (2015). Effect of hydrogen and oxygen addition as a mixture on emissions and performance characteristics of a gasoline engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(28): 8750–8760.
- Ma, F.H., Wang, Y., Liu, H.Q., Li, Y., Wang, J.J., Ding, S.F. (2008). Effects of hydrogen addition on cycle-by-cycle variations in a lean burn natural gas spark-ignition engine. *Int J Hydrogen Energy*, 33(2): 823–831.
- Sharma, D., Pathak, D.K., Chhikara, K. (2015). Performance Analysis of a four stroke multi-cylinder spark ignition engine powered by a hydroxy gas booster. *Journal of Aeronautical and Automotive Engineering*, 2: 11–15.
- 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.
- Yilmaz, A.C., Uludamar, E., Aydin, K. (2010). Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignition engines. *Internation Journal of Hydrogen Energy*, 35: 11366–11372.