

PENGARUH PENGGUNAAN *HYDROGEN FUEL CELL* TERHADAP EMISI GAS BUANG HC DAN CO SERTA DAYA PADA MESIN AVANZA OTOMATIS 2013

Danial Fakhrudin, Widiyanti, Eko Edi Poerwanto
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang (UM)
Jl. Semarang 5, Malang (65145)
E-mail: dafa.rud@gmail.com

Abstrak. Gas HC dan CO yang dikeluarkan oleh kendaraan merupakan permasalahan yang belum tuntas hingga saat ini. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan *hydrogen fuel cell*. *Hydrogen fuel cell* memproduksi hidrogen yang sangat berguna mengurangi kadar emisi gas buang HC dan CO, selain itu gas hidrogen mampu memberikan daya yang lebih besar pada kendaraan. Pada penelitian ini *hydrogen fuel cell* diujicobakan pada mesin Avanza otomatis 2013 untuk mengetahui seberapa besar pengaruhnya. Hasil ujicoba membuktikan bahwa produksi gas HC meningkat sebesar 0,6%, dan produksi gas CO menurun sebesar 9,8%, sementara daya menurun sebesar 0,2%.

Kata Kunci: Gas HC dan CO, *Hydrogen fuel cell*, Daya kendaraan.

Abstract. *HC and CO gases which are released by vehicle is the unsolved problem until today. That problem now can be resolve using hydrogen fuel cell. The hydrogen fuel cell created hydrogen gas which is useful for reducing HC and CO emission gases, moreover hydrogen gas can increase the vehicle's power. On this experiment, hydrogen fuel cell would be tested on engine Avanza automatic type 2013 to know how much the influence. The result of the test showed that HC gas production increase 0,6%, and CO gas production decreased 9,8%, meanwhile the power decreased 0,2%.*

Keyword: *HC and CO gases, Hydrogen fuel cell, Vehicle's power.*

Emisi gas buang yang berasal dari kendaraan mesin merupakan permasalahan yang sering menjadi sorotan publik, karena emisi gas buang mengandung senyawa yang berbahaya bagi kesehatan manusia. Gas buang yang dikeluarkan oleh kendaraan mengandung gas HC (*hydrocarbon*) dan gas CO (*carbonmonoxide*) (Skelton, 1984:119). Kedua gas ini muncul akibat di dalam mesin terjadi pembakaran yang tidak sempurna. Banyak sekali faktor yang mempengaruhi kualitas pembakaran dalam, salah satunya dari segi kualitas bahan bakar. Kualitas bahan bakar dipengaruhi oleh bilangan oktan. Pada bahan bakar bensin, semakin tinggi bilangan oktan, semakin bagus kualitas bensin. Peningkatan bilangan oktan dapat dilakukan dengan penambahan gas hidrogen melalui alat *hydrogen fuel cell*. *Hydrogen fuel cell* memproduksi gas hidrogen dengan biaya lebih murah dari pada teknik produksi hidrogen lain, sebab *hydrogen fuel cell* menggunakan air sebagai sumber penghasil hidrogen, sementara teknik lain membutuhkan bahan yang sulit dijangkau untuk memproduksi gas hidrogen.

Manfaat hidrogen sebagai campuran bahan bakar ini juga didukung oleh penelitian Romit dan Smit (2016) yang berjudul " *Oxy-hydrogen fuel as supplement for gasoline vehicles using dry cell generator*" yang membuktikan bahwa penambahan hidrogen menjadikan efisiensi pembakaran naik dan rata-rata konsentrasi gas CO berkurang hingga 20%. Jarot, dkk (2014) menyimpulkan penambahan HHO

menjadikan emisi gas buang antara lain: gas HC menurun sebesar 47% dan gas CO menurun sebesar 15%, selain itu rata-rata konsumsi bahan bakar spesifik dengan H₂ 3% berkurang sebesar 9,83%. Alat *hydrogen fuel cell* memproduksi hidrogen dengan teknik elektrolisis air. Hidrogen yang terbentuk dari elektrolisis bersifat *zero emission* yang menjadikan gas hidrogen dari elektrolisis banyak diuji-cobakan sebagai pengganti bahan bakar saat ini.

Daya motor merupakan salah satu parameter dalam menentukan performa motor. Daya kerja motor adalah usaha sebuah mesin yang berupa gerakan atau putaran yang menghasilkan kerja per satuan waktu (Hidayat, 2012:32). Gerakan atau putaran mesin berasal dari gaya dorong akibat ledakan bahan bakar yang tersulut oleh listrik statis busi. Daya kerja motor terbagi menjadi dua, yaitu; daya indikator dan daya efektif. Daya indikator adalah daya motor secara teoritis yang belum dipengaruhi oleh kerugian berupa gesekan dan panas seperti gesekan antar piston dengan dinding silinder, piston dengan poros engkol, poros engkol bantalan, dan panas yang diserap oleh dinding silinder. Sedangkan daya efektif, adalah daya motor yang telah dikurangi kerugian-kerugian seperti di atas yang digunakan sebagai penggerak poros

Putaran mesin merupakan salah satu indikator penting dalam mengetahui daya yang dihasilkan oleh sebuah mesin. Nilai putaran mesin berasal dari jumlah putaran dari poros engkol (*crankshaft*) dalam hitungan

menit. Satuan yang digunakan pada putaran mesin adalah RPM. Kepanjangan dari RPM yaitu *revolution per minute*, dalam kasus lain kepanjangan RPM berubah menjadi *rotation per minute*. Meski memiliki singkatan yang sama, namun memiliki arti berbeda.

Hidrokarbon merupakan senyawa organik yang tersusun dari rantai karbon dan hidrogen dan dianggap sebagai penyusun dasar dari semua senyawa organik. Hidrokarbon pada emisi gas buang merupakan jenis hidrokarbon karbosiklik atau dikenal dengan benzena (senyawa aromatik). Penggunaan Benzena sangat dibatasi, karena memiliki potensi menjadi senyawa karsinogen. Senyawa benzena sudah bersifat toksik, namun memiliki sifat karsinogenik lemah (Fessenden & Fessenden, 1982:454). Perubahan benzena menjadi karsinogen kuat ketika benzena berubah menjadi hidrokarbon polisiklik aromatik (HPA). Hidrokarbon ini terbentuk ketika mengalami pembakaran yang tidak sempurna, contohnya saja pada gas buang kendaraan yang masih mengandung gas hidrokarbon polisiklik aromatik dikarenakan terjadi pembakaran tidak sempurna di dalam mesin.

Karbonmonoksida merupakan senyawa kimia yang terdiri atas karbon (C) dan oksigen (O) yang memiliki rumus kimia CO. Gas ini memiliki karakteristik tidak berwarna, tidak berbau, dan tiga persen lebih ringan dari udara. Gas karbonmonoksida terbentuk dari benda yang mengandung unsur karbon yang terbakar namun tidak diimbangi oleh udara yang cukup. Pada lain kasus, gas karbonmonoksida juga dapat terbentuk meski diimbangi dengan udara yang cukup, dikarenakan reaksi unsur karbon dengan oksigen yang timbul dari proses pembakaran, tidak selalu sempurna seperti pada teori-teori yang menjelaskan reaksi kimia pada pembakaran. Alasan mengapa tetap terbentuk gas karbonmonoksida, karena reaksi unsur karbon dengan oksigen untuk membentuk karbon dioksida (CO₂) terlalu lambat, sehingga tidak semua reaksi unsur karbon dengan oksigen membentuk gas CO₂, akan tetapi ada beberapa yang membentuk gas CO (Komarudin, 2013).

Tabel 1 Sifat Kimia dan Fisika Unsur Hidrogen

Hydrogen			
Discovery date	1766		
Discovered by	Henry Cavendish		
Origin of the name	The name is derived from the Greek 'hydro' and 'genes' meaning water forming.		
Allotropes	H ₂		
Fact box			
Group	1	Melting point	-259.16°C, -434.49°F, 13.99 K
Period	1	Boiling point	-252.879°C, -423.182°F, 20.271 K
Block	s	Density (g cm ⁻³)	0.000082
Atomic number	1	Relative atomic mass	1.008
State at 20°C	Gas	Key isotopes	¹ H, ² H
Electron configuration	1s ¹	CAS number	133-74-0
ChemSpider ID	4515872	ChemSpider is a free chemical structure database	

(Sumber: <http://www.rsc.org/periodic-table/element/1/hydrogen>)

Hidrogen merupakan unsur paling sederhana di alam semesta dengan simbol huruf “H” dan memiliki nomor atom 1 pada tabel periodik. Atom hidrogen terdiri atas satu elektron dan satu proton. Hidrogen juga merupakan unsur teringan pada tabel periodik dengan berat standar atom sebesar 1,008.

Hidrogen akan terbakar sendiri pada suhu 585°C, dengan fakta ini campuran hidrogen dengan udara tidak akan mudah terbakar tanpa bantuan pemantik, sementara bensin akan terbakar sendiri pada kisaran suhu 230°C – 480°C, lebih rendah dari pada hidrogen. Ini membuktikan penggunaan hidrogen sebagai campuran bahan bakar dapat menunda terjadinya peristiwa *pre-ignition* yang terjadi akibat waktu pembakaran terlalu cepat.

Tabel 2. Suhu Penyalaan Sendiri Beberapa Bahan Bakar

Fuel	Autoignition Temperature
Hydrogen	1085 °F (585 °C)
Methane	1003 °F (540 °C)
Propane	914 °F (490 °C)
Methanol	725 °F (385 °C)
Gasoline	450 to 900 °F (230 to 480 °C)

(sumber: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/fcm01r0.pdf>.)

Elektrolisis merupakan teknik kimia yang melibatkan reaksi kimia dan arus listrik dimana sebuah sel menggunakan arus listrik agar terjadi sebuah reaksi kimia. (Riyanto, 2012:17). Berkebalikan dengan sel galvanik yang mampu menghasilkan arus listrik dari reaksi kimia, sel elektrolisis membutuhkan energi listrik untuk bekerja karena reaksi kimia tidak terjadi secara spontan. Reaksi ini tidak terjadi secara spontan karena energi yang dibutuhkan untuk reaksi masih tidak mencukupi untuk terjadinya reaksi, sehingga bila dihitung dengan menggunakan rumus nilai potensial sel (E^o_{sel}) akan bernilai negatif. Rumus nilai potensial sel (E^o_{sel}) dapat ditulis dalam persamaan berikut ini:

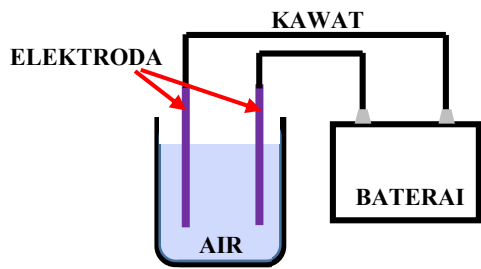
$$E^o_{sel} = E^o_{reduksi} - E^o_{oksidasi}$$

Gambar 1. Rumus Elektrokimia
(Sumber: Riyanto, 2012. *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Yogyakarta. Graha Ilmu.)

Nilai potensial sel merupakan nilai yang mengindikasikan kuat-tidaknya suatu senyawa kimia dalam melakukan suatu reaksi kimia. Bila E^o_{sel} bernilai positif, maka reaksi kimia akan terjadi secara spontan, bila E^o_{sel} bernilai negatif maka reaksi kimia tidak akan terjadi secara spontan. Elektrolisis air bekerja dengan menggunakan energi listrik karena bertujuan untuk memecahkan susunan kimia air. Secara sederhana elektrolisis air terdiri dari: 1) dua elektrode logam inert, 2) yang dihubungkan dengan kawat, 3) dan dialiri arus listrik searah, 4) kemudian dicelupkan ke dalam air.

Dalam proses produksi hidrogen pada *hydrogen fuel cell*, arus listrik dialirkan menuju dua elektroda *stainless steel* agar terjadi reaksi pada air. Reaksi pada elektrolisis air bersifat tidak spontan karena energi yang dibutuhkan untuk terjadi reaksi tidak cukup, selain menggunakan elektroda inert seperti *stainless steel*, air yang digunakan harus bersifat ion agar arus listrik dapat mengalir antara anoda dan katoda. Untuk meng-ionkan air, perlu dicampurkan larutan *sodium hydroxide* (NaOH).

Sodium hydroxide ini dapat disebut sebagai katalis untuk mempercepat reaksi yang terjadi pada air.



Gambar 2. Konstruksi Sederhana Elektrolisis Air

Reaksi pada elektrolisis air dapat dianggap terjadi dengan ditandai gelembung yang terbentuk pada anoda dan katoda ketika dialiri listrik. Gelembung yang terbentuk pada anoda adalah gelembung oksigen, sementara gelembung yang terbentuk pada katoda adalah gelembung hidrogen. Kedua gas ini akan dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar pada kendaraan. Gas hidrogen dimanfaatkan sebagai peningkat nilai oktan bahan bakar dan sebagai pencegah terbentuknya gas hidrokarbon. Gas oksigen digunakan untuk reaksi pembakaran di dalam mesin.

Hydrogen Fuel Cell atau dikenal dengan HHO (*hydrogen-hydrogen-oxygen*) *booster* merupakan alat yang berfungsi untuk memproduksi gas hidrogen yang berguna untuk mengurangi efek negatif gas buang kendaraan, manfaat lainnya yaitu dapat meningkatkan daya kendaraan. *Hydrogen fuel cell* mengurangi emisi gas buang dengan cara memasukkan gas hidrogen ke dalam mesin. Melihat dari karakteristik gas hidrogen yang mempunyai nilai oktan tinggi, penambahan gas hidrogen ke dalam mesin merupakan alternatif yang tepat dalam mengurangi emisi gas buang kendaraan.



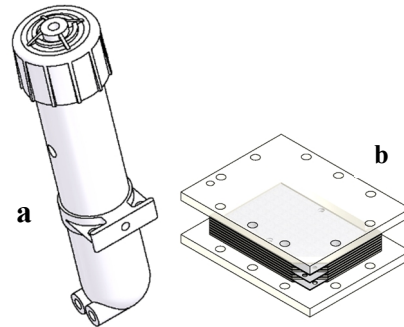
Gambar 3. Hydrogen Fuel Cell

Gas yang dihasilkan oleh *hydrogen fuel cell* tidak hanya murni gas hidrogen saja, terdapat gas oksigen yang turut terbentuk, karena proses produksi gas hidrogen berasal dari pemecahan air dengan teknik elektrolisis. Manfaat penggunaan teknik elektrolisis air dalam memproduksi hidrogen karena teknik ini tidak meninggalkan limbah beracun seperti teknik produksi gas hidrogen lain. Ditambah lagi pembuatan *hydrogen fuel cell* lebih mudah karena bahan yang dipakai dalam pembuatan alat ini mudah dijangkau oleh masyarakat.

Gas hasil produksi *hydrogen fuel cell* juga dikenal dengan gas HHO (*hydrogen-hydrogen-oxygen*) atau *brown's gas*. Gas HHO (*hydrogen-hydrogen-oxygen*) ditemukan oleh inventor Yull Brown (Hurtak & Desiree, :2014:49). Gas

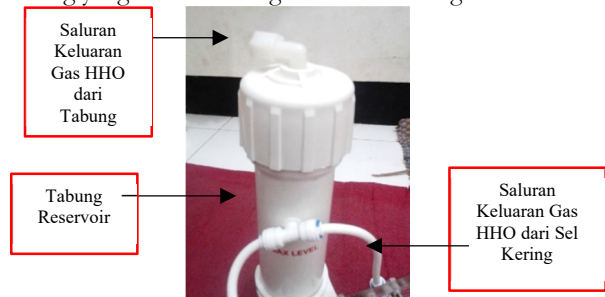
HHO merupakan kombinasi unik antara dua atom hidrogen (H_2) dan satu atom oksigen (O) yang tercipta dari proses elektrolisis. Diatomik hidrogen dan atomik oksigen membentuk ikatan sementara yang bersifat lemah, dan tidak akan kembali membentuk ikatan H_2O (Hurtak & Desiree, 50:2014).

Konstruksi *hydrogen fuel cell* terdiri dari dua komponen utama, yaitu: Tabung reservoir dan sel kering. Tabung reservoir pada *hydrogen fuel cell* berfungsi sebagai wadah air atau tangki air. Tabung reservoir terbuat dari plastik kuat yang memungkinkan mampu di isi dengan air panas.



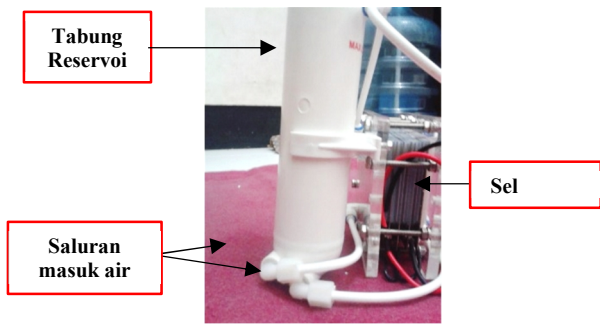
Gambar 4. (a) Bentuk Tabung Reservoir dan (b) Bentuk Sel Kering

Pada tabung reservoir terdapat 3 saluran utama. Posisi saluran tersebut antara lain: 1) Saluran keluarnya gas dari tabung pada penutup tabung reservoir; 2) Saluran keluarnya gas dari sel kering yang berada di sisi tabung; 3) Saluran untuk masuknya air ke dalam sel kering yang terletak di bagian bawah tabung.



Gambar 5. Tabung Reservoir Bagian Atas

Saluran pada penutup tabung reservoir berguna sebagai tempat keluarnya gas hidrogen-oksigen dari *hydrogen fuel cell* menuju saringan udara (*air filter*) kendaraan. Pada saluran bagian sisi tabung, berfungsi sebagai jalur keluarnya gas HHO yang berasal dari sel kering. dan saluran bagian bawah berfungsi sebagai tempat masuknya air menuju sel kering.



Gambar 6. Tabung Reservoir Bagian Bawah

Sel kering pada alat *hydrogen fuel cell* terdiri atas elektroda *stainless steel* dan *seal* berbentuk lembar yang ditumpuk secara bersilangan sebanyak 13 lembar plat logam *stainless steel* dan 14 lembar *seal* karet. Penggunaan *seal* karet selain untuk menahan air di dalam *cell*, *seal* karet dipilih karena memiliki ketahanan terhadap korosi dan bentuknya yang tipis sebab jarak antar plat mempengaruhi produksi hidrogen. Logam *stainless steel* dipilih karena memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi dan korosi. Logam *stainless steel* digunakan sebagai elektroda agar terjadi proses elektrolisis air, sebab logam *stainless steel* memiliki sifat logam *inert* yang memiliki peranan penting dalam proses elektrolisis air.

Air yang digunakan untuk proses elektrolisis harus air murni *aquades*. Penggunaan air bermineral akan menimbulkan korosi pada komponen sel kering dan akan timbul endapan mineral pada elektroda, selain itu efisiensi alat akan menjadi semakin berkurang dan produksi emisi gas buang akan menjadi berlebihan dari sebelumnya. Ketika air pada *hydrogen fuel cell* berkurang, dilakukan pengisian air murni tanpa perlu penambahan larutan NaOH. Penambahan elektrolit atau larutan NaOH dilakukan ketika arus listrik pada *hydrogen fuel cell* menurun. Agar mudah mengetahui ketika arus menurun, saat pemasangan *hydrogen fuel cell* dianjurkan juga memasang *ampere* meter sebagai indikator turunya arus. Rata-rata pengisian air dilakukan saat kendaraan telah menempuh jarak 300 km.

Perawatan *hydrogen fuel cell* dilakukan ketika muncul endapan mineral pada bagian elektroda. Endapan ini muncul karena faktor masih terdapat kandungan mineral pada air meski dalam jumlah sedikit. Faktor lainnya karena pemakaian arus yang melebihi kapasitas *hydrogen fuel cell*. Cara mengatasi endapan yang muncul adalah sebagai berikut.

- Lepas semua sambungan selang *hydrogen fuel cell* untuk membuang airnya.
- Pasang kembali sambungan selang.
- Isi tabung *hydrogen fuel cell* dengan air dan sedikit asam sulfat dengan perbandingan air dengan asam sulfat sebesar 1 liter : 1/6 liter.
- Biarkan *hydrogen fuel cell* selama ± 10 menit, dan hidupkan *hydrogen fuel cell* selama 3 menit sampai air di dalam berwarna hijau
- Lepas semua sambungan selang untuk membuang airnya
- Bilas *hydrogen fuel cell* dengan air bersih
- *Hydrogen fuel cell* siap digunakan kembali

Bila dilihat dari peletakan dari elektrode, *hydrogen fuel cell* dibagi menjadi dua jenis:

Jenis Wet Cell

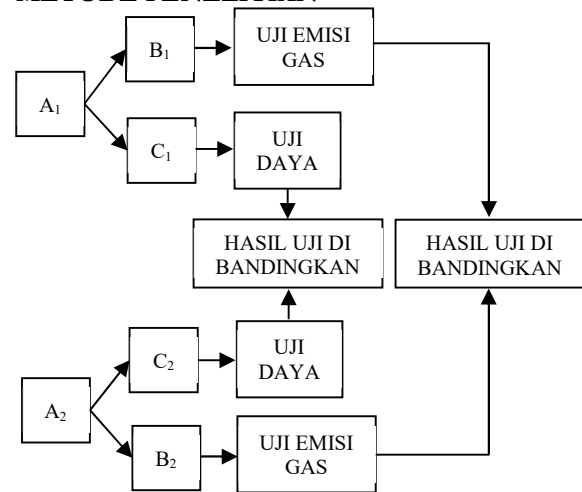
Posisi elektroda *hydrogen fuel cell* jenis ini berada di dalam tangki reservoir. Semua bagian elektroda harus tercelup ke dalam air agar reaksi elektrolisis dapat berjalan. Keunggulan *hydrogen fuel cell* jenis ini adalah konstruksinya tidak rumit dan tidak terlalu memakan tempat. Kelemahan *hydrogen fuel cell* jenis ini pemakaian elektrolit yang lebih banyak. Resiko pemakaian elektrolit banyak akan membuat suhu di dalam sel semakin naik ketika alat bekerja yang mengakibatkan produksi gas menurun.

Jenis Dry Cell

Posisi elektroda *hydrogen fuel cell* jenis *dry cell* ini berada di luar tangki reservoir. Peletakan elektroda di luar tangki karena selain volume air yang dapat ditambah, konstruks sel dapat disesuaikan dengan kondisi tempat, selain itu karena tidak semua permukaan plat tercelup di dalam air, sambungan yang menghubungkan plat dengan baterai tetap terjaga.

Penelitian ini bertujuan antara lain sebagai berikut. (a) Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *hydrogen fuel cell* terhadap kandungan emisi gas buang HC dan CO pada mesin Avanza otomatis 2013 pada berbagai putaran. (b) Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *hydrogen fuel cell* terhadap daya kerja pada mesin Avanza otomatis 2013 pada berbagai putaran.

METODE PENELITIAN



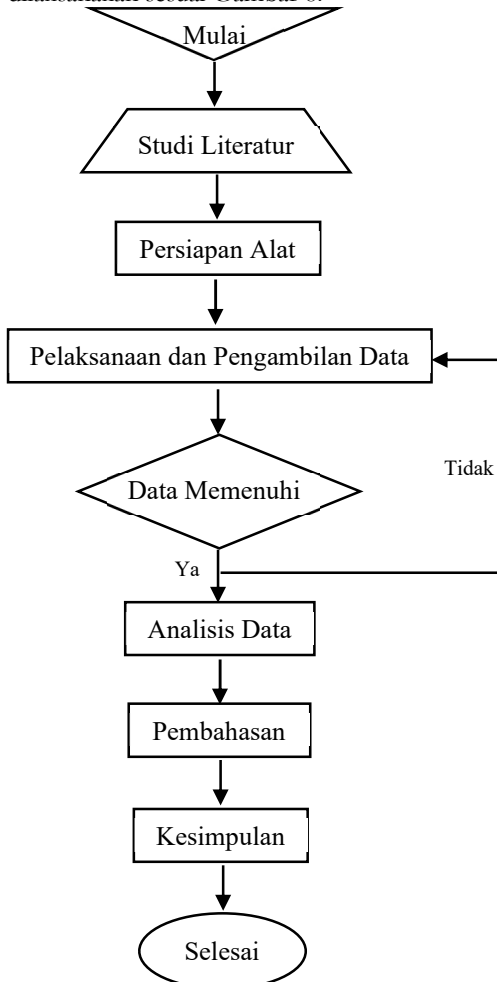
Gambar 7. Desain Penelitian

Keterangan :

- A₁ = Kendaraan jenis bensin standar tanpa perlakuan.
- A₂ = Kendaraan jenis bensin standar dengan terpasang *hydrogen fuel cell*.
- B₁ = Emisi gas buang HC dan CO kendaraan bensin standar tanpa perlakuan.
- B₂ = Emisi gas buang HC dan CO kendaraan bensin standar dengan terpasang *hydrogen fuel cell*.
- C₁ = Daya kendaraan tanpa perlakuan.
- C₂ = Daya kendaraan bensin standar dengan terpasang *hydrogen fuel cell*.

Penelitian ini akan dilaksanakan dengan menggunakan jenis penelitian kuantitatif eksperimen. Pada penelitian ini kelompok eksperimen digantikan dengan

kelompok *treatment* dan kelompok kontrol digantikan dengan kelompok *non-treatment*. Penggantian ini dilakukan karena untuk membedakan objek yang akan diteliti. Kelompok *treatment* pada penelitian ini adalah kendaraan roda empat Avanza otomatis 2013 standar yang dipasang *hydrogen fuel cell*, dan kelompok *non-treatment* pada penelitian ini adalah kendaraan yang sama namun tidak diberi perlakuan. Rancangan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 7. Tahap penelitian secara garis besar akan dilaksanakan sesuai Gambar 8.



Gambar 8. Bagan Alur Pelaksanaan Penelitian

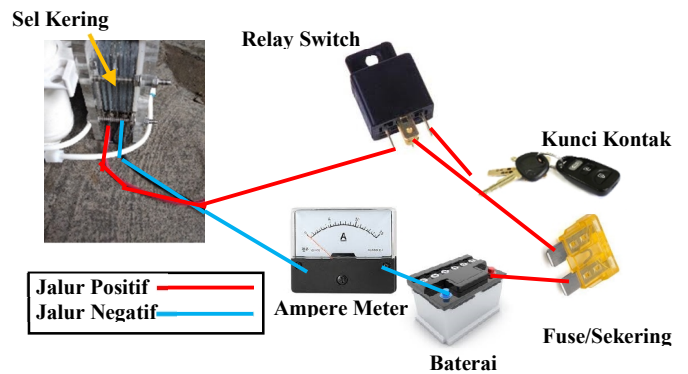
Sebelum dilakukan pengujian, terlebih dahulu mempersiapkan elektrolit untuk alat *hydrogen fuel cell*, berikut ini tahapannya: (a) Menuangkan *aquades* (air suling) ke dalam wadah sebanyak 400 ml. (b) Mencampurkan larutan NaOH sebanyak 1,6 gram ke dalam air suling, kemudian diaduk hingga NaOH larut. (c) Tunggu hingga campuran air suling dan NaOH menjadi dingin. (e) Masukkan campuran air suling-NaOH ke dalam tabung reservoir.

Setelah elektrolit siap, dilanjutkan dengan tahap pemasangan alat *hydrogen fuel cell* pada mesin. Berikut ini tahapannya: (a) Menyambungkan selang output gas dari tabung *hydrogen fuel cell* menuju kotak saringan udara. (b) Menyambungkan kabel positif menuju kutub positif baterai/aki dengan dijumpatani relay on/off dan sekering. Sisa kaki relay on/off dihubungkan dengan kunci kontak. (c) Menyambungkan kabel negatif menuju

kutub negatif baterai/aki dengan dijumpatani *ampere meter*.



Gambar 9. Alur Pemasangan Selang



Gambar 10. Jalur Pemasangan Kabel

Pengujian emisi gas buang menggunakan alat *gas analyzer*. Berikut ini tahapan pengujian:

- Menghidupkan alat *gas analyzer*.
- Mengatur alat *gas analyzer* untuk pengukuran emisi gas buang kendaraan berbahan bakar bensin.
- Menyiapkan pendingin berupa *fan* besar, untuk mendinginkan mesin agar tidak terjadi *overheat*.
- Menghidupkan mesin.
- Memasang selang *gas analyzer* pada knalpot kendaraan.
- Menaikan putaran mesin mulai dari 2000 rpm hingga 5000 rpm, dengan kenaikan 500.
- Melakukan perekaman data pada komputer dan mencetak hasil pengujian.
- Pengujian diulangi hingga lima kali.
- Untuk pengujian pada mesin yang terpasang *hydrogen fuel cell*, tahapan pengujian yang dilakukan sama persis dengan tahapan pengujian pada mesin yang tidak diberi perlakuan, dan pengujian dilakukan lima kali.

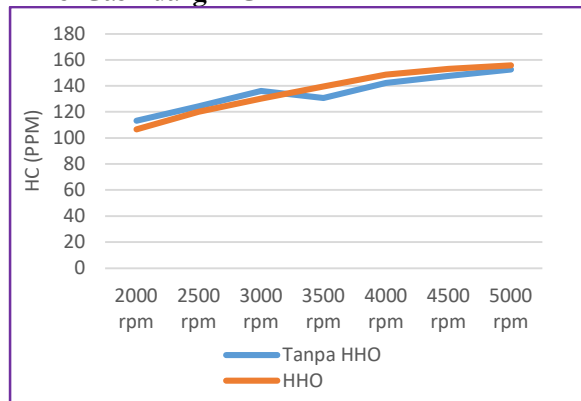
Pengujian daya dilakukan dengan menggunakan alat *dyno-test*. Berikut ini tahapan pengujian:

- Memasang *dyno-test* pada kendaraan dengan memasang sabuk pengikat pada kendaraan.
- Menyiapkan pendingin berupa *fan* besar, untuk mendinginkan mesin agar tidak terjadi *overheat*.
- Menghidupkan kendaraan, dan menaikan putaran mesin mulai dari 2000 rpm hingga 5000 rpm, dengan kenaikan 500.
- Melakukan perekaman data pada komputer dan mencetak hasil pengujian.

- Pengujian diulangi hingga lima kali.
- Untuk pengujian pada mesin yang terpasang *hydrogen fuel cell*, tahapan pengujian dilakukan sama dengan tahapan pengujian pada mesin yang tidak diberi perlakuan, dan pengujian dilakukan lima kali.

PEMBAHASAN

Emisi Gas Buang HC

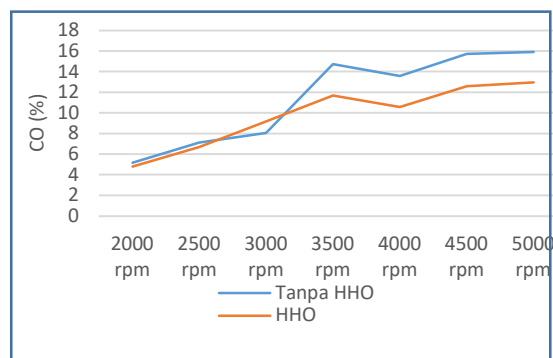


Gambar 11. Nilai Rata-rata HC Tiap Putaran

Pada gambar grafik nilai rata-rata emisi gas buang HC di atas terdapat keanehan pada saat memasuki rpm 3500. Produksi emisi gas buang HC terjadi peningkatan pada mesin uji Avanza otomatis 2013 yang menggunakan *hydrogen fuel cell* sebesar 139,6 ppm, sementara pada mesin uji Avanza otomatis 2013 tanpa perlakuan terjadi penurunan emisi gas buang HC sebesar 130,8 ppm. Emisi gas buang HC meningkat sebanyak 3% dari kondisi awal. Keadaan ini terjadi karena pada mesin uji Avanza otomatis yang menggunakan *hydrogen fuel cell* ketika mesin memasuki putaran tinggi, konsumsi bahan bakar semakin besar, sementara produksi gas hidrogen tidak mampu mengimbangi banyaknya bahan bakar yang masuk ke ruang bakar karena keterbatasan spesifikasi alat, sehingga muncul gas HC lebih banyak akibat beberapa bahan bakar tidak terbakar tuntas (Aisyah, 2012).

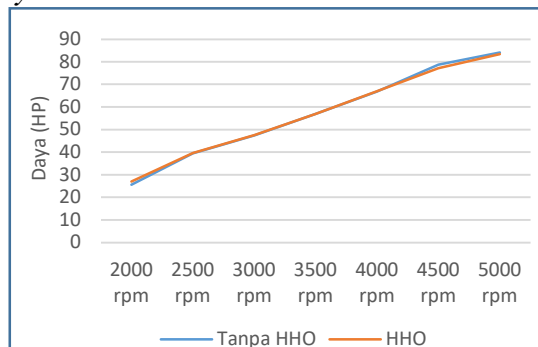
Emisi Gas Buang CO

Pada gambar grafik di atas terdapat kejanggalan pada rpm 3000. Mesin uji Avanza otomatis 2013 yang menggunakan *hydrogen fuel cell* menghasilkan emisi gas buang CO lebih banyak dari pada mesin uji Avanza otomatis 2013 tanpa perlakuan. Emisi gas buang CO yang dihasilkan oleh mesin uji yang menggunakan *hydrogen fuel cell* sebesar 9,16% dan emisi gas buang CO yang dihasilkan oleh mesin uji tanpa perlakuan sebesar 8,04%. Produksi emisi gas buang CO terendah sebesar 4,58%. Pada hasil pengujian emisi gas buang CO mesin uji yang menggunakan *hydrogen fuel cell* terdapat keanehan pada saat memasuki rpm 3000. Keanehan tersebut karena penambahan hidrogen, AFR (*Air-Fuel Ratio*) pada rpm 3000 menjadi tidak ideal membuat pembakaran menjadi tidak sempurna, sehingga produksi gas CO menjadi naik.



Gambar 12. Nilai Rata-rata CO Tiap Putaran

Daya



Gambar 13. Nilai Rata-rata Daya Tiap Putaran

Pada gambar di atas terlihat bahwa daya yang dihasilkan oleh mesin uji yang diberi perlakuan dengan mesin uji yang tidak diberi perlakuan hampir tidak ada perbedaan yang signifikan. Keadaan ini terjadi, karena produksi hidrogen dari *hydrogen fuel cell* tidak dapat mengimbangi berbagai putaran mesin. Pada penelitian oleh Wahyudin dan Harus (2012:5) yang berjudul “Studi Karakteristik Generator Gas HHO *Dry Cell* dan Aplikasinya Pada Kendaraan Bermesin Injeksi 1300 CC” juga mendapatkan hasil uji daya yang tidak signifikan.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang berjudul “Pengaruh Penggunaan *Hydrogen Fuel Cell* terhadap Emisi Gas Buang HC dan CO serta Daya pada Mesin Avanza Otomatis 2013” dapat disimpulkan, pada uji emisi gas buang HC, mesin Avanza otomatis 2013 yang terpasang *hydrogen fuel cell* menghasilkan gas HC sebesar 136,3 ppm. Produksi emisi gas HC mengalami kenaikan sebesar 0,6%. Pada uji emisi gas buang CO, mesin Avanza otomatis 2013 yang terpasang alat *hydrogen fuel cell* menghasilkan gas CO sebesar 9,8%. Produksi emisi gas CO mengalami penurunan sebesar 14,8%. Hasil uji daya pada mesin Avanza otomatis 2013 yang terpasang *hydrogen fuel cell* sebesar 56,9 HP. Daya yang dihasilkan mengalami penurunan sebesar 0,2%.

Saran

Pada hasil penelitian, terjadi penurunan kemampuan pada *hydrogen fuel cell* ketika putaran tinggi. Hal ini disebabkan karena alat tidak mampu memproduksi hidrogen yang lebih banyak ketika mesin memasuki putaran tinggi, maka dari itu perlu dibuat sel lebih dari satu atau bentuk sel yang lebih besar. Perlu uji coba elektroda yang lebih kuat daripada *stainless steel* terutama saat penggunaan katalis kuat yang bersifat asam, sebab masih terjadi korosi saat penggunaan *stainless steel*. Perlu

uji coba dengan katalis lain yang ramah terhadap elektroda logam. Karena penggunaan katalis kuat dapat mampu mengurangi umur penggunaan elektroda. Perlu ditambahkan sensor perekam putaran mesin pada *hydrogen fuel cell* agar alat mampu merespon pada berbagai putaran mesin. Untuk penelitian lebih lanjut perlu memperhitungkan faktor lingkungan, seperti: suhu, kelembapan, dan kandungan berbagai unsur kimia di udara, khususnya oksigen. Perlu dilakukan penelitian pemakaian *hydrogen fuel cell* pada mesin *diesel*.

DAFTAR RUJUKAN

- Aisyah. 2012. *Perbedaan Kadar CO Dan HC Pada Gas Buang Mesin Suzuki Type GC-415 Berdasarkan Variasi Putaran Mesin Dan Jenis Bahan Bakar*. Skripsi tidak diterbitkan: FT UM.
- College of the Desert. 2001. *Hydrogen Fuel Cell and Related Technologies*. US Department of Energy. Dari <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/03/f12/fcm01r0.pdf>. Diakses 22 Agustus 2018.
- Fessenden, R.J., & Joan S. Fessenden. 1982. *Kimia Organik*. Terjemahan Aloysius Hadyana Pudjatomika. Jakarta: Erlangga. Tanpa Tahun.
- Hidayat, W. 2012. *Motor Bensin Modern*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Jarot D. Rahadi, A. A. P. Susastriawan, & Hary Wibowo. 2014. *Pengaruh HHO Terhadap Unjuk Kerja dan Emisi Gas Buang Sepedah Motor 4 Tak 100 CC*. Institut Sains dan Teknologi AKPRIND, E-Jurnal Teknik Mesin Vol. 2 No. 1, ISSN: 2337-9928 dari: <https://journal.akprind.ac.id/index.php/mesin/article/view/139>.
- J.J. Hurtak, & Desiree Hurtak. 2014. *The History And Future of Brown's Gas*. Dari https://www.nexusmagazine.com/products/free-downloads/doc_download/300-the-history-and-future-of-brown-s-gas.
- Komarudin. 2013. *Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Premium, Pertamina Plus Dan LPG Terhadap Emisi Gas Buang Dan Daya Pada Motor Bensin*. Skripsi tidak diterbitkan: FT UM.
- Nag, Romit & Shrivastava, Smit. 2016. *Oxy-hydrogen fuel as supplement for gasoline vehicles using Dry cell Generator*. (Online). 10.13140/RG.2.1.3002.6646 dari: https://www.researchgate.net/publication/301301808_Oxy-hydrogen_fuel_as_supplement_for_gasoline_vehicles_using_Dry_cell_Generator, diakses Maret 2018, 16:54.
- Riyanto. 2013. *Elektrokimia dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Royal Society of Chemistry. Tanpa tahun. *Hydrogen*. Dari <http://www.rsc.org/periodic-table/element/1/hydrogen> diakses 22 Agustus 2018.
- Skelton, L.W. 1984. *The Solar-Hydrogen Energy Economy Beyond The Age Of Fire*. United States of America: Van Nostrand Reinhold Company Inc.
- Wahyudin, I., & Harus L.G. 2012. *Studi Karakteristik Generator Gas HHO Dry Cell dan Aplikasinya Pada Kendaraan Bermesin Injeksi 1300 CC*. ITS, Jurnal Teknik POMITS Vol 1. Dari <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-26115-2110105022-Paper.pdf>.

