

ANALISIS FUEL ECONOMY PADA MESIN 4 SILINDER 16 KATUP 1800 CC YANG MENGGUNAKAN SISTEM ELEKTROLISIS AIR DENGAN CATU DAYA TERSENDIRI

Donny Montreano*¹, dan Fachrudin**

*) Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jakarta

***) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik UPN "Veteran" Jakarta

Jl. RS. Fatmawati Pondok Labu Jakarta Selatan - 12450

Telp. 021 75817114

Abstract

It is known from previous studies that the hydroxy as additive, can reduce fuel requirements ranging from 20% -50% without changing the vehicle's basic engine system. A lot of research on Brown's gas which usually do not use an independent power supply to produce brown gas, but taken from the alternator that result in reduced power because the alternator overload the machine work. This research uses, the ECU and adding a standalone power source or an additional battery. This study aims to measure the degree of influence that advanced and retard ignition against the torque value when the combustion chamber drained 1 liter per minute of HHO and also measure the fuel economy. Vehicles used for this measurement is the Mercedes C180 in 1995. The result is, the presence of brown gas generating differences 2.44 Nm of torque on a retarded ignition. Then on the degree of actual ignition, brown gas generating differences of 1.08 Nm. Fuel economy is best achieved by the degree of actual ignition conditions using brown gas as far as 10.1 km/L compared with no use of brown gas that is 9.6 Km/ L.

Key Words: brown gas, fuel economy, hydrogen

PENDAHULUAN

Pada bulan November 2014, Pemerintah menaikkan harga bensin premium menjadi Rp 8500 per liter. Kebijakan ini akan mengakibatkan naiknya biaya operasional bagi perusahaan dan bagi individu pada umumnya. Oleh karena itu, pemilik kendaraan bermotor melakukan berbagai cara untuk menekan biaya bahan bakar tersebut, mulai dari gaya mengemudi sampai mencoba berbagai bahan bakar alternatif seperti bahan bakar gas, nabati, maupun mengkombinasikan bahan bakar alternatif dengan bahan bakar yang masyarakat pakai yaitu bensin dan solar. Pada kondisi harga minyak bumi tertentu, bahan bakar alternatif tersebut memerlukan biaya yang lebih besar untuk memproduksinya dari pada bahan bakar bensin dan solar.

Ada suatu zat yang sudah puluhan tahun menjadi topik hangat dikalangan ilmuwan. Zat ini biasa disebut suplemen bahan bakar dan suatu hari dapat dikatakan bahan bakar apabila telah menggunakan 100 %, sama halnya dengan bio ethanol yang hanya menjadi suplemen untuk bensin premium. Zat yang disebut Hydroxy ini adalah suatu unsur yang terdiri dari unsur Hidrogen dan Oksigen yang keduanya tidak saling berikatan. Meskipun ethanol pernah menjadi bahan bakar utama pada beberapa dekade yang lalu, namun bahan bakar alternatif tersebut memerlukan biaya dan waktu yang lebih besar untuk memproduksinya dari pada zat hidroxy atau HHO.

Telah diketahui dari penelitian sebelumnya bahwa hydroxy sebagai *additive*, mampu mereduksi kebutuhan bahan bakar mulai dari 20%-50% tanpa mengubah sistem mesin kendaraan pada prinsipnya. Telah banyak penelitian tentang gas *Brown* yang pada umumnya menggunakan alternator sebagai catudayanya. Beberapa penelitian tentang sistem *brown* gas pada kendaraan bermotor tidak membahas tentang keekonomisan sistem tersebut melainkan hanya membahas tentang pengurangan konsumsi bahan bakar. Meskipun secara logika bahwa keuntungan pemakaian sistem tersebut akan

1 Kontak Person : Donny Montreano

Prodi Teknik Industri, FT UPN "Veteran" Jakarta

Telp. 021 75817114

menuntun kita pada berkurangnya biaya bahan bakar.

Disamping itu, penelitian tersebut dalam sistem brown gas, tidak menggunakan catu daya yang mandiri untuk memproduksi brown gas, tetapi mengambil dari alternator yang berakibat berkurangnya tenaga kendaraan karena alternator membebani putaran mesin.

Penelitian ini bermaksud untuk mengembangkan suatu sistem *brown gas* yang berbeda, yaitu menambahkan perangkat ECU dan menambahkan catu daya mandiri atau aki tambahan. Penambahan aki tersebut bertujuan untuk menghilangkan beban yang tadinya di alternator, untuk mensuplai listrik ke sistem *brown gas* terdahulu, yang diteliti oleh institusi pendidikan bahkan sampai sistem brown gas yang telah dikomersialisasikan.

Penelitian ini mencoba untuk mencari metode yang lebih lengkap untuk mendapatkan peningkatan *fuel economy* yang lebih besar dari penelitian sebelumnya oleh Dül ger and Özçelik, tahun 2000, yaitu sebesar 43% atau setara 16.66 Km/L tanpa mengubah spesifikasi mesin pada kendaraan Volvo 940. Perbedaan antara penelitian ini dan sebelumnya adalah adanya penambahan aki yang khusus untuk sistem *brown gas* dan menambahkan ECU rakitan untuk memanipulasi waktu pengapian.

Waktu pengapian pada *gasoline internal combustion*, umumnya terjadi mulai 10 sampai 40 derajat sebelum titik mati atas. Secara logika, pengapian harus terjadi tepat pada titik mati atas, namun faktanya semua kendaraan memulai pengapian sebelum titik mati atas. Hal ini disebabkan oleh kecepatan pembakaran bensin lebih lambat dari pada kecepatan gerak piston ke titik mati atas. Adanya zat *Hydroxy* di dalam ruang pembakaran dapat mempercepat pembakaran dalam ruang piston karena zat tersebut memiliki kecepatan bakar lebih dari pada bensin. Untuk itu piston harus lebih cepat sampai ke titik mati atas sebelum *Hydroxy* meledak yang dipicu pengapian. Namun kecepatan gerakan piston dalam *round per minute* dikendalikan oleh pengendara melalui bukaan throttle. Sehingga lebih mungkin untuk mengendalikan waktu pengapian dari pada mengendalikan piston. Oleh sebab itu sangat penting untuk melakukan manipulasi waktu pengapian agar tidak terjadi *power down* yang disebabkan pengapian terlalu dini.

Beberapa studi telah menunjukkan bahwa *meretrofit* mesin berbahan bakar bensin atau diesel atau mesin mobil dengan memakai tambahan sistem *brown gas*, didukung oleh sistem listrik dari mesin, secara signifikan dapat meningkatkan emisi mesin, performa dan efisiensi bahan bakar. Penelitian-penelitian tersebut membuktikan bahwa unsur hydrogen mampu menambah kecepatan pembakaran, mampu membakar dengan kondisi lean, dan mampu mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi karena jarak pendinginan api dari pembakaran hidrokarbon dalam silinder.

Institut Teknologi Surabaya merupakan institusi pendidikan yang giat meneliti HHO untuk kendaraan bermotor. Namun semua penelitiannya tidak menggunakan aki yang terpisah, melainkan menggunakan alternator yang terpasang di mesin mobil sebagai catu daya sistem *brown gas*. Diketahui bahwa *cell electroliser*, yang dirancang peneliti dari ITS, membutuhkan energi sekitar 93.6 watt setara 0.12 HP untuk menghasilkan HHO 0.3 L per menit (Guntur, Laksana 2010). Lalu pembangkit HHO oleh Erri Gunawan, 2012, membutuhkan energi 796 watt setara 1.06 HP. Di bawah ini merupakan penelitian-penelitian dari akademisi tentang penggunaan HHO pada mobil di Turki.

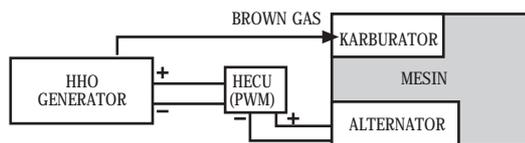
Eksperimental oleh Dul ger dan Ozcelik mempelajari perbaikan ekonomi bahan bakar dengan alat penghasil gas hidrogen yang dapat dipasang pada kendaraan yang berbeda dari berbagai jenis dan ukuran mesin. Hasil pengujian dalam kondisi lalu lintas kota menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar untuk Volvo 940 turun menjadi 6 l / 100 km dari 10,5 l / 100 km, pengurangan 43% dalam konsumsi bahan bakar. Dan 36% untuk Mercedes 280 (Dül ger and Özçelik, 2000)

Tabel 1. Hasil Fuel Economy

Kocaeli University Electrolysis Test Results	
Vehicle	% Increase Fuel Economy
1993 Volvo 940	42,9
1996 Mercedes 280	36,4
1992 Fiat Kartal	26,3
1992 Fiat Dogan	33 ,3

Sumber: Dulger and Ozcelik, 2000

Sistem HHO ini memproduksi 20L / jam atau setara 333 ml / menit dan diuji pada empat kendaraan, konsumsi bahan bakar dan emisi telah diukur. Tabel 1 menampilkan hasil untuk tes ini. Hal ini menunjukkan bahwa menggunakan sistem ini untuk menambahkan *brown gas* ke mesin meningkatkan ekonomi bahan bakar sebesar 25-40%. Emisi, untuk mobil ini, juga diuji dan berkurang dari antara 40-50% tergantung pada jenis mesin. Tidak ada pengurangan yang nyata dalam kinerja kendaraan ini. (Dül ger and Özçelik, 2000).



Gambar 1. Sistem HHO + HECU (Ali Can Yilmaz, 2010)

Fuel Economy kendaraan bermotor adalah sebuah istilah yang mewakili hubungan antara jarak yang ditempuh dan sejumlah bahan bakar yang digunakan untuk menempuh perjalanan tersebut, di Amerika dan Inggris, hubungan tersebut menggunakan MPG sebagai satuannya. Namun terjadi “kebingungan” karena di Inggris, MPG lebih besar 20%. Beberapa negara seperti Belanda, Denmark, negara latin dan asia seperti India, Jepang dan Korea, menggunakan sistem metric atau Km/L. Istilah lain yang memiliki definisi yang sama namun lebih akurat ialah, *Fuel consumption*.

Studi yang dilakukan Ali Can Yilmaz, tahun 2010, memproduksi gas hidroksi (HHO) yang dihasilkan oleh proses elektrolisis elektrolit yang berbeda (KOH (aq), NaOH (aq), NaCl (aq)) dengan berbagai desain elektroda dalam reaktor plexiglass anti bocor (*generator hidrogen*). Hydroxy gas digunakan sebagai bahan bakar tambahan dalam empat silinder, empat langkah, mesin *Compression Ignition* tanpa modifikasi apapun dan tanpa perlu tangki penyimpanan. Dampaknya pada emisi gas buang dan karakteristik performa mesin yang diselidiki. Percobaan menunjukkan bahwa laju aliran HHO konstan pada kecepatan mesin rendah (di bawah kecepatan kritis 1.750 rpm untuk penelitian eksperimental ini), ternyata kelebihan sistem HHO menjadi kerugian untuk torsi mesin, karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC) dan emisi bahan bakar spesifik Konsumsi (SFC). Penyelidikan menunjukkan bahwa laju alir HHO harus berkurang dalam kaitannya dengan kecepatan mesin di bawah 1.750 rpm karena waktu pembukaan panjang intake manifold pada kecepatan rendah. Pembukaan tersebut menyebabkan banyaknya volume hydroxy dalam silinder yang mencegah udara yang akan diambil ke dalam ruang pembakaran dan akibatnya, penurunan efisiensi volumetrik tak terelakkan. Efisiensi volumetrik mempengaruhi penurunan efisiensi pembakaran yang memiliki efek negatif pada torsi mesin dan emisi gas buang. Oleh karena itu, unit kontrol elektronik hidroksi (HECU) dirancang dan diproduksi untuk mengurangi laju aliran HHO dengan mengurangi tegangan dan arus secara otomatis dengan pemrograman data logger untuk mengkompensasi kekurangan gas HHO pada SFC, torsi mesin dan emisi gas buang di bawah kecepatan mesin 1.750 rpm. Laju aliran gas HHO diukur dengan menggunakan berbagai jumlah KOH, NaOH, NaCl (katalis). Katalis ini ditambahkan ke dalam air untuk mengurangi ikatan hidrogen dan oksigen, dan NaOH dipastikan sebagai katalis yang paling tepat. Teramati bahwa jika molalitas NaOH dalam larutan melebihi 1% massa, arus listrik dipasok dari baterai meningkat secara dramatis karena pengurangan terlalu banyak hambatan listrik. Selain sistem HHO ke mesin tanpa modifikasi mengakibatkan peningkatan output torsi mesin dengan rata-rata 19,1%, mengurangi emisi CO rata-rata sebesar 13,5%, emisi HC sebesar rata-rata 5% dan SFC dengan rata-rata 14%.

Tabel 2. Karakteristik Gas Hidrogen

Properties	Diesel	Unleaded gasoline	Hydrogen
Autoignition temperature (K)	530	533-733	858
Minimum ignition energy (mJ)	-	0.24	0.02
Flammability limits (volume % in air)	0.7-5	1.4-7.6	4-75
Stoichiometric air-fuel ratio on mass basis	14.5	14.6	34.3
Limits of flammability (equivalence ratio)	-	0.7-3.8	0.1-7.1
Density at 15 °C and 1.01 bar (kg/m ³)	833-881	721-785	0.0838
Net heating value (MJ/kg)	42.5	43.9	119.93
Flame velocity (cm/s)	30	37-43	265-325
Quenching gap in NTP air (cm)	-	0.2	0.064
Diffusivity in air (cm ² /s)	-	0.08	0.63
Research octane number	30	92-98	130
Motor octane number	-	80-90	-

Sumber: Ali Can Yilmaz, 2010

Hidrogen memiliki karakter pembakaran cepat, batas pembakaran yang lebar dan membutuhkan energy kecil untuk pengapian. Karakter tersebut dapat mengurangi emisi khususnya, methane dan karbon monoksida. Keiritan bahan bakar dan efisiensi termal dapat diperbaiki dengan penambahan hidrogen. Efisiensi termal pada penambahan hidrogen pada liquid natural gas dijelaskan lebih rinci dalam penelitian Fanhua Ma et al, (2007). Penambahan hydrogen untuk mesin pembakaran dalam adalah cara yang efektif untuk memperbaiki kecepatan bakar, dengan kecepatan laminar sejauh 2.9 m/s pada hydrogen melawan kecepatan laminar methane sejauh 0.38 m/s. Hal ini dapat memperbaiki siklus demi siklus yang bervariasi, yang secara relative disebabkan oleh kondisi lean pada mesin bahan bakar LNG.

METODE PENELITIAN



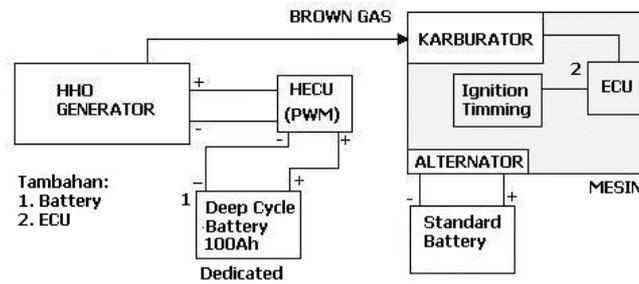
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Studi Literatur

Langkah pertama adalah mempelajari tentang bagaimana efek HHO terhadap performansi kendaraan khususnya *specific fuel consumption* di beberapa literatur baik dari jurnal internasional maupun forum-forum di internet. Langkah kedua adalah mempelajari diagram sistem yang utuh yang dipasang pada kendaraan. Langkah ketiga adalah mempelajari sistem pembangkit hidrogen mulai dari teoritis elektrolisis faraday sampai material yang digunakan untuk pembangkitan hidrogen oksigen.

Merakit dan Memasang

Langkah pertama adalah menyiapkan plat stainless steel ukuran 15cm x 9cm x 0.8mm sebanyak 16 plat. Lalu membuat lubang dengan bor sebanyak 4 titik berdiameter 6mm pada tiap sudut yang diperuntukkan pemasangan baut plastik sepanjang 6 cm. Menumpuk 16 plat yang dengan memberi ring karet atau plastik pada tiap lubang agar semua plat tidak saling sentuh. Merapatkan dan mengencangkan plat tersebut dengan baut dan mur. Memasang kabel pada plat baris pertama sebagai kutub positif dan memasang pada plat baris terakhir sebagai kutub negatif. Memasukkan barisan plat tersebut beserta larutan elektrolit NaOH sejumlah 1% dari berat air ke dalam container plastik transparan yang kedap udara. Container tersebut dipasang pada bagasi kendaraan mobil. Kabel positif dan negatif dari *cell electroliser* dihubungkan ke PWM dan PWM tersebut dihubungkan ke sesuai kutub Aki. Aki yang digunakan adalah aki jenis *deep cycle* yang memiliki kemampuan daya hantar arus lebih dari 20A per jam.



Gambar 3. Usulan Sistem Brown Gas

Pengambilan Data

Pengambilan data terdiri dari 2 bagian. Pertama adalah pengambilan data torsi, *ignition timing*, debit bensin dan emisi gas buang di atas *dynotest* di PT Kathulistiwa Suryanusa sebanyak 6 kali yang dituangkan dalam bentuk tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Langkah Pengambilan Data

	Normal	HHO
Derajat <i>Retard</i>	1	2
Derajat <i>Aktual</i>	3	4
Derajat <i>Advanced</i>	5	6

Data volume bensin diukur dengan alat yang sama yaitu ECU. Pengambilan data yang kedua adalah biaya-biaya yang ditimbulkan pada sistem HHO.

Analisis Data

Objek yang akan dianalisis adalah *fuel economy* dari kendaraan yang menggunakan sistem HHO dan tidak menggunakan sistem HHO. Bab ini tidak melakukan perbandingan terhadap sistem lain pada penelitian terdahulu karena kondisi jalan tidak dideskripsikan, juga tidak membandingkan disain HHO dan arus listrik yang dikonsumsi sampai perbedaan mesin yang digunakan untuk eksperimen ini. Langkah terakhir adalah memutuskan layak atau tidaknya sistem ini dengan metode perbandingan sederhana, apakah layak untuk meneruskan investasi membeli teknologi HHO.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Gas HHO

Sistem HHO pada penelitian ini menggunakan rancangan yang telah dibangun menghasilkan 1 L per menit. Berbeda jauh dengan penelitian Alican Yilmaz (2010) yang menghasilkan 5 L per menit. Sehingga dalam penelitian ini ada hal yang harus dibatasi yaitu tidak mengharapkan terjadinya over dosis gas HHO yang ditandai dengan penurunan torsi jika dibandingkan dengan keadaan normal.



Gambar 4. Buih di dalam Air

Dugaan sementara sebab-sebab rendahnya produktifitas gas adalah luas permukaan *container* $22.8 \times 16 = 364.8 \text{ cm}^2$ kurang memadai untuk melepas buih menjadi gas. Hal ini ditandai dengan

adanya penumpukan buih di dalam air yang semakin lama semakin tebal, artinya gas tersebut mengantri di dalam air. Jika luas permukaan *container* memadai maka sangat dimungkinkan bagi buih yang mengantri air tersebut untuk segera melepaskan gas. Namun hal sebaliknya terjadi pada penelitian Ali Can Yilmaz (2010) bahwa *container* berbentuk silinder yang dipakai memiliki luas 226.98 cm² tersebut justru menghasilkan gas lebih banyak sampai 5 L per menit.

Gambar 4 menunjukkan hasil uji coba yang memiliki kecenderungan yang sama dengan penelitian ini bahwa gas yang diproduksi tidak dapat mencapai 5 L per menit meskipun secara logis dengan plat yang terdiri dari 30 lembar dan arus 34 Ampere seharusnya dapat melebihi hasil dari penelitian terdahulu atau minimal sama. Berdasarkan fakta-fakta saat ini yang menunjukkan perbedaan mencolok baik konsumsi energi sampai luas permukaan maka kemungkinan penelitian Ali Can Yilmaz (2010) kurang dapat dipertanggungjawabkan.

Torsi, Tenaga, AFR dan Fuel Economy

Data torsi, tenaga, AFR dan *Fuel Economy* diambil sesuai dengan urutan yang telah ditetapkan di metode penelitian. Torsi yang pertama diambil tanpa mengaktifkan sistem HHO dan kendaraan uji menggunakan derajat pengapian *Retard*.

Torsi yang ke 2 diambil ketika kendaraan uji menggunakan mengaktifkan sistem HHO. Torsi ke 3 menggunakan derajat pengapian Aktual namun kali ini tidak mengaktifkan sistem HHO. Langkah ke 4 menggunakan derajat pengapian Aktual pada sistem HHO yang aktif. Langkah ke 5 dijelaskan derajat pengapian. Hasil secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini.

Tabel 4. Hasil Torsi Maksimum

	Tanpa HHO	Dengan HHO
Derajat <i>Retard</i>	80.7 lb ft	82.5 lb ft
Derajat <i>Aktual</i>	83.8 lb ft	84.6 lb ft
Derajat <i>Advanced</i>	81.5 lb ft	82.2 lb ft

Torsi terbesar terdapat pada Derajat Aktual yang memakai HHO. Torsi paling rendah terdapat pada Derajat *Retard* tanpa HHO. Perbedaan torsi antara Derajat *Retard* dan Derajat Aktual yang mana keduanya menggunakan HHO, sebesar $84.6 - 82.5 = 2.1$ lb ft (2.84 Nm). Torsi pada Derajat *Advanced* cenderung lebih stabil karena memiliki perbedaan sebesar 0.7 lb ft artinya sistem HHO hanya membuat perubahan lebih kecil dari Derajat Aktual yang sebesar 0.8 lb ft (1.08 Nm). Perbedaan paling besar ada pada Derajat *Retard* sebesar 1.8 lb ft (2.44 Nm) yang artinya sistem HHO membuat perubahan terbesar dibanding pengapian Aktual dan *Advanced*. Namun Derajat *Retard* memiliki kelemahan yaitu menghasilkan torsi paling kecil ketika tidak memakai sistem HHO. Pada kondisi memakai HHO, Torsi Derajat *Retard* lebih lemah dari torsi Derajat Aktual, kemungkinan besar karena gas HHO yang masuk kurang sesuai dengan Derajat *Retard*, sehingga dugaan sementara adalah jika gas HHO yang masuk lebih banyak maka sistem HHO ini dapat memperbesar perbedaan torsi antara memakai HHO dan tidak memakai HHO. Pada tabel 5, tenaga maksimum terdapat pada kondisi Derajat *Retard* dan memakai HHO, jadi fakta tersebut menguatkan bahwa dengan menambah gas HHO maka torsi dan tenaga dapat melebihi Derajat Aktual

Tabel 5. Hasil Tenaga Maksimum

	Tanpa HHO	Dengan HHO
Derajat <i>Retard</i>	79.1 lb ft	82.3 lb ft
Derajat <i>Aktual</i>	80.4 lb ft	80.9 lb ft
Derajat <i>Advanced</i>	79.2 lb ft	80.3 lb ft

Penghitungan *fuel economy* dibantu dengan bantuan software *TunerStudio* yang didownload secara gratis. Software tersebut membutuhkan parameter *injector flow rate* CC/min, *pulsewidth* dan *openwidth*, serta *squirts* per detik yang mana semua itu disediakan oleh ECU MegaSquirt™ yang telah terpasang pada kendaraan uji. Pada dasarnya informasi akhir yang muncul adalah jumlah

bensin dalam satuan CC, yang digunakan untuk menggerakkan mobil sejauh 2.22 km di ulang sampai 4x. Dalam menempuh 2.22 km, *fuel economy* terbesar ada pada Derajat Aktual dengan HHO, membakar rata-rata 217 cc bensin yaitu setara 10.1 km/liter. Jika tanpa HHO, kendaraan tersebut mengkonsumsi rata-rata 229 cc bensin yaitu setara 9.69 Km/liter. Perbedaan konsumsi tersebut senilai 5.1% yang dibulatkan menjadi 5%.

Tabel 6. Hasil *Fuel Economy*

	Tanpa HHO	Dengan HHO	Perbedaan
Derajat <i>Retard</i>	9,5 Km/l	9.7 Km/l	2.1%
Derajat <i>Aktual</i>	9.6 Km/l	10.1 Km/l	5.1%
Derajat <i>Advanced</i>	9.6 Km/l	10 Km/l	4.1%

Derajat Perapian

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa campuran yang miskin dan derajat pengapian dimundurkan, maka NOx dapat di kurangi sampai lebih kecil dari kondisi pembakaran yang normal (Jingding, 1998). Penelitian ini membandingkan *Timing Ignition* atau yang lebih populer disebut derajat pengapian yang terdiri dari derajat *Retard* di ECU kendaraan dan derajat secara Aktual yang diambil dari website <http://www.useasydocs.com/theory/spktable.htm> dengan cara memasukkan parameter seperti diameter piston, jenis bensin, kevakuman, tipe 2 katup atau 4 katup per silinder dan seterusnya sesuai dengan kondisi kendaraan uji coba.

Tabel 7. Derajat Perapian Sebelum TMA

Derajat <i>Retard</i>	5	7	9	11	14	16	18	19	22	23	23	23
Derajat <i>Aktual</i>	5	10	12	14	16	18	20	22	24	26	26	26
Derajat <i>Advanced</i>	8	13	15	17	19	21	23	26	28	29	29	29
RPM x 100	7	8	11	14	17	20	23	25	28	31	34	55

Langkah ke 5 atau Derajat *Advanced* pada tabel 7, adalah mencoba derajat pengapian yang dimajukan 3 derajat mulai dari kondisi derajat pengapian Aktual. Artinya derajat pengapian akan di majukan 3 kali berturut-turut sampai mendapat torsi lebih besar dari sebelumnya namun hasil dyno menunjukkan hal yang sebaliknya. Hal ini ditandai pula dengan bunyi knocking (ngelitik) mulai dari putaran 2500 RPM. Akhirnya uji coba hanya sampai 1 kali memajukan 3 derajat karena mengantisipasi kerusakan mesin yang ditandai bunyi knocking. Dibawah ini merupakan grafik 3 jenis derajat pengapian.

Derajat tersebut di atas diambil pada saat load atau beban kerja lebih dari 100 KPa yang diukur dengan sensor *Manifold Absolute Pressure* (MAP). Nilai ini didapat ketika pedal gas diinjak lebih dalam, biasanya dalam keadaan berakselerasi untuk pindah gigi atau pun menyalip kendaraan didepannya.

Perbandingan Investasi

Proses menilai Kelayakan investasi adalah membandingkan nilai pendapatan antar 2 alternatif atau lebih dalam waktu periode tertentu. Pada penelitian ini terdapat 2 alternatif yaitu: 1. Pendapatan dari investasi di bank; 2. Pendapatan dari investasi pada alat penghemat bahan bakar sistem HHO.

Dibawah ini adalah tabel daftar komponen, dimensi, harga dan umur pakai pada sistem HHO:

Tabel 8. Spesifikasi Komponen

No.	Komponen	Dimensi	Umur Pakai	Harga (Rp)
1	Container Lock n Lock	22.8 x 16 x 11.57	10 tahun	88.000
2	316L Stainless steel 15 plat	15 x 9 x 0.8	5 tahun	350.000
3	Distiled Water	4 liter	3 bulan	32.000
4	NaOH	0.5 Kg	-	5.000
5	PWM made in Thailand	12-24V 30A	-	400.000
6	Battery VRLA Panasonic	12V, 100A	7 tahun	2.100.000
7	ECU MegaSquirtTM	16 x 10 x 6	-	6.500.000
8	Kabel dan port	3 meter	-	50.000
Total				9.525.000

Investasi sistem HHO ini akan layak jika penghematan melebihi bunga deposito bank tertinggi 2014 yaitu 9.8% oleh bank Mayora (<http://pusatdata.kontan.co.id/bungadeposito/>). Agar penghematan melebihi bunga deposito maka pendapatan dari investasi ini tiap bulan harus melebihi pendapatan dari bunga deposito. Langkah yang termudah adalah menentukan dahulu pendapatan dari bunga deposito di akhir tahun seandainya menginvestasikan modalnya di bank setelah itu menentukan pendapatan dari penanaman modal tadi investasi ke sistem HHO. Pendapatan dari bunga deposito berasal dari harga investasi alat x bunga deposito sebagai berikut:

$$\text{Rp } 9.525.000 \times 9.8\% = \text{Rp } 933.450 \text{ per tahun} \dots\dots\dots (1)$$

Pendapatan dari investasi ke sistem HHO adalah sebagai berikut:

$$\text{Jumlah pembayaran bahan bakar per tahun} \times 1.05 \dots\dots\dots (2)$$

Berdasarkan tabel 6 tentang *Fuel Economy*, maka penghematan terbesar terjadi pada spark timing Aktual sebesar 5%. Agar nilai pendapatan dari investasi dapat mengimbangi nilai pendapatan dari bunga deposito maka pembelian bahan bakar harus senilai seperti pada persamaan (4) dibawah ini:

$$\text{Pendapatan dari investasi} \times 5\% = \text{Rp } 933.450 \text{ per tahun} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Pendapatan dari investasi} = \text{Rp } 18.571.000 \text{ per tahun} \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan (4) menjelaskan bahwa jika kita mengeluarkan uang bahan bakar sejumlah Rp 18.571.000 per tahun, dan dengan mengaplikasikan sistem HHO, maka pengeluaran uang untuk bahan bakar hanya Rp 17.637.550 karena terjadi penghematan 5%. Maka kedua alternatif tersebut bernilai sama jika pembelian bahan bakar senilai Rp 50.879 per hari selama 365 hari. Jika dikonversi kedalam liter dengan harga bahan bakar saat penelitian ini ditulis maka konsumsi per hari adalah = 5.9 Liter. Sebagai contoh jika kendaraan tersebut adalah Kijang Innova 2.0 Matic yang memiliki fuel economy 9.5 km/l (<http://test.autobild.co.id/read/2014/06/24/10831/50/14/Last-Car-Running-2014-Toyota-Kijang-Innova-2.0-G>), maka Kijang tersebut akan menempuh perjalanan 56 km per hari. Maka kepada pemilik Kijang yang perjalanan per harinya kurang dari 56 km ataupun kurang dari 5.9 L ataupun kurang dari Rp 50.879 per hari, tidak disarankan untuk menginvestasikan ke sistem HHO.

Faktor Yang Mempengaruhi Kelayakan Sistem HHO

Faktor-faktor yang mempengaruhi kelayakan namun tetap dapat dikontrol, seperti yang dijelaskan pada bab 3 adalah, produksi gas HHO, jarak tempuh perjalanan, konsumsi bahan- bakar kendaraan dan harga sistem HHO. Kemudian faktor yang tidak dapat dikontrol adalah bunga deposito dan harga bahan bakar.

Sistem HHO dikatakan layak apabila menambah produksi gas HHO, konsumsi bahan bakar dan jarak perjalanan serta kondisi harga BBM meningkat, lalu dilain pihak harga alat diturunkan, kondisi bunga deposito sedang turun.

Komponen Biaya Terbesar

Sistem HHO sulit untuk menjangkau kendaraan yang memiliki fuel economy lebih dari 9.5 Km/L karena fakta di lapangan hanya beberapa kendaraan yang mengkonsumsi dibawah 9.5 Km/L. Namun sistem HHO ini bisa menjangkau kendaraan di atas 9.5 Km/ L apabila harga total sistem ini ditekan.

Penekanan harga yang signifikan dan sangat mungkin dilakukan adalah mengganti komponen biaya terbesar yaitu komponen ECU MegaSquirt™ yang senilai Rp 4.400.000 belum termasuk pasang. Komponen ini dapat diganti dengan Arduino yang senilai Rp 400.000. Namun kendala selanjutnya adalah harus membuat program dari nol. Jika asumsi komponen ECU tersebut memiliki harga siap pakai Rp 1.400.000 maka terjadi pengurangan harga sebesar Rp. 5.100.000, sehingga harga total menjadi Rp 4.425.000.

Hasil persamaan (1) akan berubah menjadi persamaan (5) seperti di bawah ini: $4.425.000 \times 9.8\% = \text{Rp } 433.650$ per tahun (5). Hasil persamaan (4) akan berubah menjadi persamaan (6) seperti di bawah ini: $= \text{Rp } 8.673.000$ (6), dan $\text{Rp } 8.673.000 - \text{Rp } 639.450 = \text{Rp } 8.239.350$ (7)

Persamaan (5) menjelaskan, jika memakai sistem HHO yang sudah ditekan harga komponennya, maka sistem HHO harus menghasilkan keuntungan sejumlah Rp 433.650 setara dengan keuntungan investasi di bank. Agar memiliki keuntungan yang sama dengan jumlah tersebut maka biaya bahan bakar harus sama dengan persamaan (6).

Biaya bahan bakar seperti persamaan (6) harus dikonversi ke dalam bentuk jarak tempuh agar lebih jelas dalam menentukan cakupan kendaraan yang layak menggunakan sistem HHO ini, maka Rp 8.673.000 per tahun setara dengan 1020 Liter bensin premium per 365 hari atau setara 2.7 liter per hari.

Asumsi Jarak Tempuh

Tabel 9 ini merupakan jenis kendaraan beserta data jarak tempuh dalam kota jika minimal mengkonsumsi 2.7 liter per hari.

Tabel 9. Minimal Jarak Tempuh

No.	Nama Kendaraan	Tahun	Fuel Economy Km/liter	Jarak Tempuh Km
1	Toyota Avanza		9,53	25,7
2	Toyota Yaris Matic 1.5 L	2010	13,1	35,3
3	Kijang Inova		8,3	22,4
4	Camry Matic 2,5 L	2010	11,1	29,9
5	Daihatsu Xenia Li		11,3	30,5
6	Nissan Livina		10,3	27,8
7	Nissan March	2013	15,3	41,3
8	Honda Jazz Matic 1.5 L	2013	13,1	35,3
9	Mercedes C.180 Manual 1.8 L	1995	10,2	27,5
10	Peugeot 405 Matic 2.0 L	1995	8,91	24
11	BMW 318 Matic 1.8 L		9,31	25,1

Jarak tempuh di bawah ini merupakan hasil perkalian *fuel economy* dengan konsumsi 2.7 L yang disederhanakan yang artinya tidak mempertimbangkan faktor seperti kondisi mesin, ukuran ban, jumlah penumpang dan kemacetan lalu lintas. Jadi bagi pengendara mobil tersebut di atas yang mengkonsumsi bensin premium per hari lebih dari 2.7 L ataupun menempuh perjalanan per hari lebih dari tersebut di atas (dengan asumsi lalu lintas lancar tanpa berhenti) maka disarankan untuk menginvestasikan ke sistem HHO karena akan menghasilkan imbal balik yang lebih daripada investasi ke bank.

Propinsi Yang Membutuhkan Sistem HHO

Menurut surat kabar republika.co.id, harga bensin premium di seluruh pulau di Indonesia adalah tidak sama. Harga termahal ada di pulau Sabu, Nusa Tenggara Timur, sebelum kenaikan harga BBM adalah Rp 35000 lalu setelah kenaikan harga, menjadi Rp 50.000 per liter. Di tempat lainnya, harga BBM di Selat Panjang, Kabupaten Meranti, Riau naik dari Rp 8000 per liter menjadi Rp 10 ribu per liter. Harga di pelosok lain di Riau diperkirakan akan jauh lebih mahal, Yulinar (40), seorang warga di Sintang, Kalimantan Barat mengatakan harga BBM di sana naik dari Rp 9000 per liter menjadi Rp 12 ribu per liter (republika.co.id, 18 November 2014).

SIMPULAN

Sistem HHO menghasilkan perbedaan torsi antara Derajat Retard 3^0 sebelum TMA dibandingkan Derajat Aktual sebesar 2.84 Nm, lebih besar dari Derajat Aktual.

Sistem HHO pada Derajat Aktual ini mampu memberi perubahan jarak tempuh pada kendaraan uji sebesar 5 % dari 9.6 Km/L ke 10.1 Km/L.

Berdasar metode perbandingan sederhana maka sistem HHO ini layak secara ekonomis jika dipakai oleh kendaraan yang rutinitasnya mengkonsumsi lebih dari 2.7 liter bensin per hari dengan harga Rp 8500 per liter.

DAFTAR PUSTAKA

- Asad U and Wattoo M. 2003. Hydrogen as a Fuel Supplement in a CNG Operated Vehicle Using a Simple On Board Hydrogen Generation System ASME: Proceedings of IMECE 2003. IMECE2003-41391
- Bari S and Esmaeil M. 2010. Effect of H₂/O₂ addition in increasing the thermal efficiency of a diesel engine. *Fuel*, (89) (2010) 378-383
- Bauer C and Forest T. 2001. Effect of Hydrogen Addition on the Performance of Methane-Fueled Vehicles. Part I: Effect on S.I. Engine performance. *Int Journal Hydrogen Energy* (26) (2001) 55-70
- Chaiwongsa P, et al. 2009. Effective Hydrogen Generator Testing for on-site small engine. *Physics Procedia* (2) (2009) 93-100
- Cassidy J. 1977. Emissions and Total Energy Consumption of a Multicylinder Piston Engine Running On Gasoline and a Hydrogen-Gasoline Mixture. NASA Technical Note TN D-8487
- Eckman C. 2010. Plasma Orbital Expansion of the Electrons in Water. *Proceedings of the NPA*
- Park, et al. 2005. Vitrification of municipal solid waste incinerator fly ash using Brown's Gas. *Energy & Fuels* (19) (2005) 258-262
- Wall. Jacob, 2010. An Assessment of the Fuel Economy Claims Made for the Hydro Assist Fuel Cell (HAFC) System
- Wang J, et al. 2007. Combustion Behaviors of a Direct-Injection Engine Operating on Various Fractions of Natural Gas-Hydrogen Blends. *Int Journal Hydrogen Energy* (32) (2007) 3555-3564
- Yilmaz, Ali Can et al. 2010. Effect of hydroxy (HHO) gas addition on performance and exhaust emissions in compression ignited engines, *Int J Hydrogen Energy* 2010.
- Z. Dulger e K.R. Ozcelik, 2000. Fuel economy improvement by on board electrolytic hydrogen production, *INT J Hydrogen Energy*, 25(9), 2000, pp. 895-897