

# Analisis Performa Mesin Menggunakan Bahan Bakar Hybrid Hydrogen – Solar pada Mesin Diesel Ford Escort 1.8

Afdhalash Ramadhan M. Ranahedy<sup>a,\*</sup>, Andi Husni Sitepu<sup>a</sup>, Baharuddin<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia*

\*Email: ramadhanafdalash@gmail.com

---

## Abstrak

Krisis energi mendorong peneliti dan akademisi untuk berinovasi menemukan sumber energi alternatif pengganti yang relatif lebih murah tanpa mencemari lingkungan disekitarnya dan meningkatkan performa mesin. Salah bahan bakar alternatif yang berhasil ditumai adalah gas brown, diberi nama seperti penemunya Yull Brown pada tahun 1974. Dengan memasukkan gas HHO ke dalam mesin, maka akan mempengaruhi rasio campuran bahan bakar dan udara (AFR) mesin yang kemudian mengakibatkan terjadinya perubahan pada performa mesin. Dengan menggunakan sensor flowmeter untuk mengukur jumlah gas HHO, udara, dan bahan bakar yang masuk kedalam mesin, untuk mengetahui komposisi AFR diruang bakar, dan menggunakan load cell dan weight censer untuk mengukur torsi dan break horse power yang dihasilkan mesin dengan bahan bakar hybrid solar-HHO. Setelah dilakukan penelitian dengan penambahan gas HHO ke dalam mesin, gas HHO diproduksi menggunakan generator HHO yang dialiri arus bertegangan 0 A, 5 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A dan 30 A dimana semakin besar arus generator maka semakin banyak gas HHO yang diproduksi yang dimasukkan ke dalam mesin. Maka pada putaran 1000 rpm sampai 2000 rpm mesin, menghasilkan maka nilai fuel consumption semakin menurun dengan semakin besarnya jumlah gas HHO yang diproduksi, nilai torsi semakin besar, nilai break horse power meningkat, dan nilai specific fuel consumption mengalami penurunan, Hal ini membuktikan bahwa dengan menggunakan arus sebesar 30 pada generator gas HHO menghasilkan performa mesin yang paling maksimal selama penelitian dilihat dari peningkatan torsi dan break horse power terbesar, serta penurunan fuel consumption dan specific fuel consumption.

*Kata Kunci : Performa mesin, AFR, gas HHO, torsi, BHP, FC, SFC*

---

## 1. Pendahuluan

Dalam dunia otomotif, penggunaan gas HHO digunakan untuk meningkatkan performa mesin, dengan karakteristik gas HHO yang memiliki energi thermal yang tinggi sehingga dengan ditambahkan gas HHO ke mesin dapat meningkatkan potensi energi thermal dari campuran udara dan bahan sehingga energi thermal yang dihasilkan meningkat sehingga energi mekanik yang dihasilkan oleh mesin pun juga meningkat. Dengan penambahan gas HHO pada ruang bakar maka mempengaruhi rasio campuran bahan bakar dan udara atau AFR (air fuel ratio) campuran tersebut harus dalam keadaan yang mudah terbakar agar dapat menghasilkan efisiensi tenaga mesin yang optimal. Menurut teori Stocionetric menyatakan bahwa untuk membakar 1 gram bensin dengan sempurna diperlukan 14,7 gram oksigen. Dengan kata lain, perbandingan campuran yang ideal 1:14,7 [1].

Mesin diesel termasuk kedalam jenis mesin kalor, yaitu mesin yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik atau yang mengubah energi termal menjadi energi mekanik. Energi itu sendiri

dapat diperoleh dengan proses pembakaran. Di dalam motor diesel terdapat torak yang mempergunakan beberapa silinder yang di dalamnya terdapat torak yang bergerak bolak-balik (translasi). Gerak bolak-balik tersebut adalah proses dari mesin untuk mengubah bahan bakar menjadi daya yang biasa disebut dengan langkah, langkah tersebut merupakan proses mengubah bahan bakar menjadi daya [2].

Pada motor diesel yang di hisap oleh torak dan dimasukkan kedalam ruang bakar hanya udara, yang selanjutnya udara tersebut dikompresikan sampai mencapai suhu dan tekanan yang tinggi. Beberapa saat sebelum torak mencapai titik mati atas (TMA) bahan bakar solar diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Dengan suhu dan tekanan udara dalam silinder yang cukup tinggi maka partikel-partikel bahan bakar akan menyala dengan sendirinya sehingga membentuk proses pembakaran. Agar bahan bakar solar dapat terbakar sendiri, maka diperlukan rasio kompresi 15-22 dan suhu udara kompresi kira-kira 600°C [3].

## 2. Literatur

### 2.1. Mesin Diesel

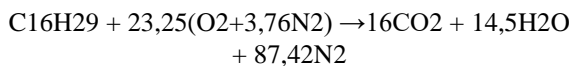
Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen diiringi kenaikan panas dan nyala. Pada pembakaran dalam silinder motor, pembentukan panas itulah yang dibutuhkan. Hasil reaksi kimia dibuang sebagai asap, dan tenaga panas itu selanjutnya akan diubah menjadi tenaga mekanis [4].

Proses pembakaran yang tertulis dalam jurnal Machmud Syahril, Untoro Budi Suro dan Leydon Sitorus sangat berpengaruh untuk torsi dan daya, dimana percikan yang terlalu cepat atau terlalu lambat dalam siklus mesin sangat mempengaruhi performa mesin, menimbulkan getaran yang berlebihan, dan bahkan merusak mesin. Timing pengapian juga mempengaruhi umur mesin, konsumsi bahan bakar, dan tenaga mesin. Timing pengapian untuk proses pembakaran yang sesuai pada mesin akan juga berpengaruh maksimal pada proses pembakaran yang dihasilkan di dalam silinder yaitu untuk menghasilkan torsi kemampuan mesin yang maksimum [5].

### 2.2. AFR (Air Fuel Ratio)

Campuran antara udara dan bahan bakar biasa dinamai "AFR", AFR adalah campuran bahan bakar dan udara yang masuk kedalam ruang bakar yang kemudian terbakar dan menghasilkan energi, campuran tersebut harus dalam keadaan yang mudah terbakar agar dapat menghasilkan efisiensi tenaga mesin yang optimal, maka rasio perbandingan AFR dalam satuan berat harus memiliki rasio 14,7 : 1 atau yang biasa disebut dengan Stoichiometric, artinya campuran memiliki perbandingan 14,7 kg udara dan 1 kg bahan bakar atau 9000 liter udara dan 1 liter bahan bakar atau 9000 : 1 jika dalam satuan volume. Untuk mendapatkan nilai rasio perbandingan udara dan bahan bakar solar tersebut dilakukan perhitungan AFR yang didapatkan dari reaksi standar pembakaran solar (C16H29) dengan udara.

Reaksi pembakaran stoikiometrik dari C16H29 dan udara yaitu sebagai berikut:



Air Fuel Ratio Stoichiometric :

$$\begin{aligned} \text{AFR}_s &= \frac{(28,9\text{kg/kmol})(23,25(1+3,76))}{\left(\frac{221\text{kg}}{\text{kmol}}\right)(1\text{ kmol})} \\ &= 14,47 \text{ kg udara/kg bahan bakar} \end{aligned} \quad (1)$$

Maka perbandingan dari berat minimum udara terhadap berat bahan bakar dinamai perbandingan campuran stoikiometrik (Rstokiometrik) atau perbandingan campuran teoritis atau perbandingan campuran sempurna kimia. Sedangkan perbandingan campuran terhadap perbandingan campuran stoikiometrik dinamai perbandingan udara, yaitu:

$$R_{\text{perbandingan}} = \frac{m_{\text{udara}}}{m_{\text{bahan bakar}}} \quad (2)$$

dimana,

$$m = \rho \times V \quad (3)$$

dimana,

$m$	=	Massa/berat (gram)
$\rho$	=	Massa jenis (g/ml)
$\rho_{\text{udara}}$	=	1,17 g/l
$\rho_{\text{gas HHO}}$	=	0,000491 g/ml
$\rho_{\text{solar}}$	=	0,832 g/ml
$V$	=	Volume (ml)

Sesuai dengan persamaan 2 didapatkan air fuel ration stoichiometric (AFRS) langkah selanjutnya untuk Untuk mengetahui apakah AFRaktual adalah AFR ideal adalah jika nilai equivalent ratio sebesar satu (1), AFR miskin jika nilai equivalent ratio satu persen kurang dari AFR ideal (0,99) dan AFR kaya jika nilai equivalent ratio lebih besar satu persen dari satu (1,01). Dengan menggunakan data AFRaktual dan menggunakan persamaan equivalent ratio:

$$\lambda = \text{AFR}_s / \text{AFR}_{\text{aktual}} \quad (4)$$

dimana,

$\lambda$	=	Equivalent ratio.
$\text{AFR}_s$	=	14,47
$\text{AFR}_{\text{aktual}}$	=	Rasio campuran konsumsi rata-rata gas HHO-udara dan konsumsi rata-rata bahan bakar.

### 2.3. Torsi

Gaya tekan putar pada bagian yang berputar disebut torsi, sepeda motor digerakkan oleh torsi dari crankshaft [6]. Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya [7]. Satuan torsi biasanya dinyatakan dalam N.m (Newton meter). Adapun perumusannya adalah sebagai berikut :

$$T = F \times r \quad (5)$$

dimana,

$$\begin{aligned} T &= \text{torsi (N.m)} \\ F &= \text{gaya (N)} \\ r &= \text{jarak benda ke pusat rotasi (m)} \end{aligned}$$

#### 2.4. Daya

Daya adalah besarnya kerja motor persatuan waktu [1]. Satuan daya yaitu hp (horse power). Daya pada sepeda motor dapat diukur dengan menggunakan alat dynamometer, sehingga untuk menghitung daya poros dapat diketahui dengan menggunakan rumus :

$$P = \frac{2 \times \pi \times N \times T}{75 \times 60} \quad (6)$$

dimana,

$$\begin{aligned} P &= \text{Daya poros (hp)} \\ T &= \text{Torsi (N.m)} \\ N &= \text{Putaran mesin (rpm)} \end{aligned}$$

#### 2.5. Fuel Consumption

Fuel consumption (konsumsi bahan bakar) di dapatkan dengan membagi jumlah volume bahan bakar yang dikonsumsi selama waktu konsumsi, maka digunakan persamaan seperti dibawah ini.

$$FC = \frac{V_f \times 3600}{1000} [L/h] \quad (7)$$

dimana,

$$\begin{aligned} FC &= \text{Fuel Consumption (L/h)} \\ V_f &= \text{Volume konsumsi (mL)} \end{aligned}$$

#### 2.6. Specific Fuel Consumption

Dengan menggunakan data fuel consumption yang dibagikan dengan BHP didapatkan nilai bahan bakar spesifik atau specific fuel consumption yang berguna untuk mengetahui berapa bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan satu daya kuda (HP). Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai SFC adalah sebagai berikut :

$$SFC = \frac{FC}{BHP} [L/HP.h] \quad (8)$$

dimana,

$$\begin{aligned} SFC &= \text{Specific Fuel Consumption (L/HP.h)} \\ FC &= \text{Fuel Consumption (L/h)} \\ BHP &= \text{Brake Horse Power (HP)} \end{aligned}$$

#### 2.7. Generator HHO (Hidrogen Hidrogen Oksida)

Gas HHO atau Brown gas adalah gas hasil dari proses pemecahan air murni (H<sub>2</sub>O) dengan proses elektrolisis. Gas yang dihasilkan dari proses

elektrolisis air tersebut adalah gas Hidrogen dan Oksigen, dengan komposisi 2 Hidrogen dan 1 Oksigen (gas HHO). Proses Elektrolisis adalah suatu proses untuk memisahkan senyawa kimia menjadi unsur-unsurnya dengan memberikan arus listrik pada elektrodanya. Pada proses elektrolisis air, gas hidrogen akan tertarik ke elektroda negatif (katoda) dan gas oksigen akan tertarik ke elektroda positif (anoda) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> [8].

Generator gas HHO tersusun atas 2 komponen dasar, yaitu tabung generator yang terdiri atas tabung, sepasang elektroda dan elektrolit dan sumber tenaganya yang berupa baterai ataupun aki. Generator ini bekerja dengan prinsip elektrolisa air.

### 3. Metode

#### 3.1. Mesin

Mesin yang akan dinilai karakteristik performanya dengan menggunakan kombinasi bahan bakar solar dan gas HHO, memiliki spesifikasi seperti berikut:

Tabel 1. Spesifikasi mesin

Merek	Ford escort 1.8
Tipe mesin	Diesel
Tipe bahan bakar	Bahan bakar diesel
Horsepower Net	44 kW/ 60 PS/ 59 HP (DIN)/ 4800
Torque Net	110 N.m/ 81ft-lb/ 2500
	4,2/ 5,6/ 6 (5,3) l/100 km
Konsumsi bahan bakar	67,3/ 50,4/ 47,1 (53,6) mpg (imp)
	56/ 42/ 39,2 (44,2) mpg (U.S.)
	23,8/ 17,9/ 16,7 (19) km/l
Dimensi mesin	4036 mm x 1692 mm x 1395 mm
Jumlah silinder	4



Gambar 1. Mesin Diesel Ford Escort 1.8

#### 3.2. Volumetric fuel flow measurement system (pompa bahan bakar)

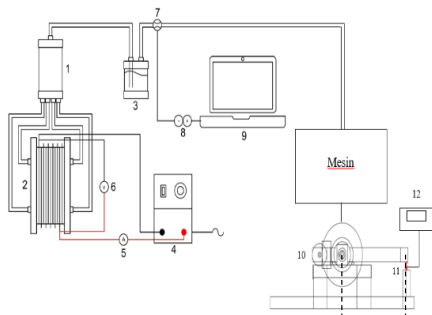
Sebuah alat untuk mengukur jumlah bahan bakar yang masuk kedalam mesin dan menjaga aliran bahan bakar agar tetap konstan dengan spesifikasi seperti dibawah ini :

- Jenis penghitung aliran : Pelton wheel type
- Jumlah yang Diliran : 4.2 sampai 96 l/min
- Pengulangan aliran :  $\pm 0.1\%$
- Tekanan yang dialirkan : hingga 6 bar
- Inlet Bahan bakar : 0 sampai 1.0 barg positive
- Daya yang Diperlukan : 12v DC



Gambar 2. Volumetric fuel flow measurement system

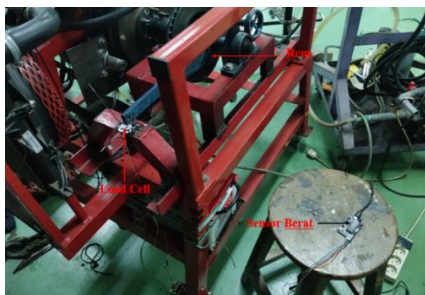
### 3.3. Instalasi Penelitian



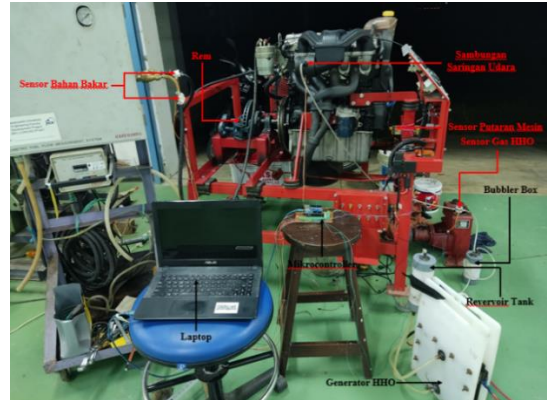
Gambar 3. Diagram instalasi

Keterangan :

1. Reservoir Tank
2. Generator HHO Tipe Dry Cell
3. Bubble Box
4. DC Power Supply
5. Ammeter
6. Voltmeter
7. Sensor FlowMeter
8. Arduino
9. Laptopx
10. Rem
11. Load Cell



Gambar 4. Instalasi penelitian



Gambar 5. Instalasi sensor berat dan rem

Keterangan :

1. Generator HHO: Alat yang berfungsi untuk menghasilkan gas HHO.
2. Bubbler Box: berfungsi untuk memfilter hasil elektrolisis dengan menggunakan air sebagai media filter.
3. Reservoir Tank: wadah yang berfungsi untuk menampung larutan elektrolit yang digunakan selama proses elektrolisis.
4. Sambungan Saringan Udara: digunakan sebagai dudukan sensor udara yang masuk ke dalam mesin.
5. Sensor Gas HHO: digunakan sebagai alat untuk mengukur laju aliran gas HHO.
6. Sensor Putaran Mesin: digunakan untuk mengukur putaran (RPM) mesin selama penelitian
7. Mikrocontroller: berfungsi sebagai pengendali dan pembaca hasil kalibrasi dari sensor.
8. Laptop: digunakan untuk menampilkan hasil pembacaan sensor flow meter, sensor putaran mesin, sensor bahan bakar, dan sensor udara yang terhubung dengan menggunakan mikrocontroller.
9. Sensor Bahan Bakar: berfungsi untuk menghitung jumlah aliran bahan bakar yang masuk ke dalam mesin
10. Rem: alat untuk mengerem (memberhentikan) mesin untuk menghitung torsi yang diberikan mesin saat putaran mesin tertentu.
11. Load Cell: untuk mengukur berat tekanan yang diberikan rem untuk menghentikan mesin.
12. Sensor Berat: sebagai alat untuk membaca hasil berat yang di berikan kepada load cell dan mengkalibrasi load cell selama penelitian.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Laju Produksi Gas HHO

Pada tahap awal penelitian, dilakukan percobaan dengan dengan meningkatkan besar arus yang diberikan ke generator HHO dimana pada dilakukan percobaan sebanyak tiga kali. Dari penelitian tersebut

diperoleh tabel volume konsumsi rata-rata gas HHO pada setiap arus generator seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Volume konsumsi rata-rata gas HHO pada setiap arus generator

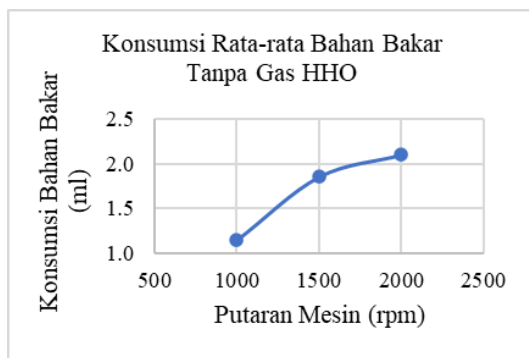
Arus (A)	Laju rata-rata Produksi gas HHO (ml)
5 A	1,50
10 A	3,82
15 A	6,13
20 A	8,45
25 A	9,735
30 A	11,02

#### 4.2. Laju Komsumsi Bahan Bakar

Laju konsumsi bahan bakar adalah laju konsumsi rata-rata bahan bakar yang dikonsumsi mesin pada tiap rpm. Pengukuran dilakukan melalui gelas ukur dan sensor flowmeter yang dipasang pada outlet Volumetric fuel flow measurement system (pompa bahan bakar) yang masuk ke saringan bahan bakar dan overflow outlet saringan, dari hasil pembacaan gelas dan sensor. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran pada konsumsi rata-rata bahan bakar tanpa gas HHO dan dengan menggunakan gas HHO.

Tabel 3. Laju konsumsi bahan tanpa gas HHO

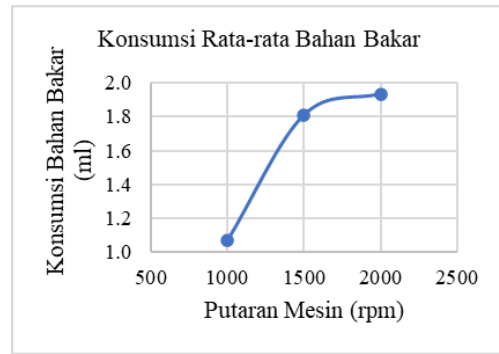
Putaran mesin (rpm)	Laju Konsumsi Bahan Bakar (ml)
1000	1,143
1500	1,854
2000	2,101



Gambar 6. Konsumsi rata-rata bahan bakar tanpa gas HHO

Tabel 4. Konsumsi bahan bakar dengan gas HHO

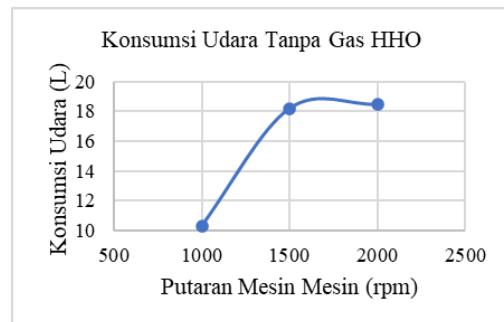
Arus (A)	Laju Konsumsi Bahan Bakar (ml)		
	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm
0	1,143	1,854	2,101
5	1,113	1,838	2,029
10	1,084	1,823	1,958
15	1,054	1,807	1,886
20	1,042	1,790	1,863
25	1,037	1,782	1,854
30	1,031	1,774	1,845
Rata-rata	1,072	1,810	1,934



Gambar 7. Konsumsi rata-rata bahan bakar

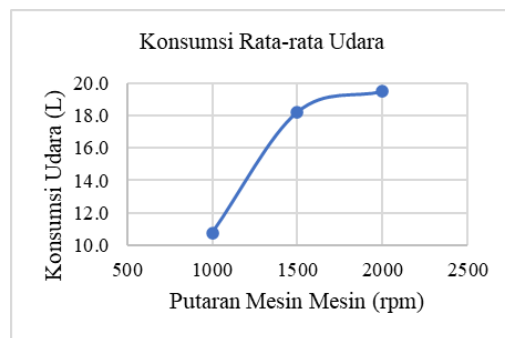
#### 4.3. Laju Komsumsi Udara

Hasil pengukuran konsumsi rata-rata udara untuk pembakaran diperoleh dengan membuat sambungan saringan udara yang didalamnya terdapat sensor untuk mengukur jumlah udara yang masuk ke dalam mesin yang berbentuk baling-baling yang mengukur jumlah udara yang masuk dengan banyaknya jumlah baling-baling tersebut berputar, maka hasil pembacaan sensor didapatkan. Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran pada konsumsi rata-rata udara tanpa gas HHO dan dengan menggunakan gas HHO.



Gambar 8. Grafik konsumsi udara tanpa gas HHO

Dari grafik diatas (Gambar 8) konsumsi udara pada 1500 rpm tanpa gas HHO meningkat menjadi 1817 l dari 1031 pada 1000 rpm. Pada saat 2000 rpm konsumsi udaranya 1845 l atau yang tidak jauh berbeda pada saat 1500 rpm.



Gambar 9. Konsumsi rata-rata udara

Dari grafik konsumsi udara diatas, dapat dilihat bahwa laju konsumsi rata-rata udara pada 1000 rpm dan 1500 rpm memiliki nilai konstan dan pada 2000 rpm nilai konsumsi rata-rata konsumsi udara tidak konstan, ini dikarenakan putaran mesin yang tidak konstan tepat pada 2000 rpm.

4.4. Rasio Perbandingan gas HHO dan Udara

Dengan menggunakan data dari produksi rata-rata gas HHO (Tabel 2) dan konsumsi rata-rata udara dengan menggunakan Persamaan 3, maka diperoleh berat komsumsi gas HHO seperti terlihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 5. Berat konsumsi rata-rata gas HHO dan konsumsi berat udara rata-rata untuk pembakaran pada setiap arus generator

Arus (A)	Berat gas HHO dan Udara yang digunakan (g)					
	1000 rpm		1500 rpm		2000 rpm	
	Udara (g)	HHO (g)	Udara (g)	HHO (g)	Udara (g)	HHO (g)
0	12,065	0	21,260	0	21,584	0
5	12,131	0,74 X 10 <sup>-3</sup>	21,266	0,74 X 10 <sup>-3</sup>	21,692	0,74 X 10 <sup>-3</sup>
10	12,195	1,88 X 10 <sup>-3</sup>	21,272	1,88 X 10 <sup>-3</sup>	21,798	1,88 X 10 <sup>-3</sup>
15	12,260	3,01 X 10 <sup>-3</sup>	21,278	3,01 X 10 <sup>-3</sup>	21,906	3,01 X 10 <sup>-3</sup>
20	13,019	4,15 X 10 <sup>-3</sup>	21,695	4,15 X 10 <sup>-3</sup>	23,895	4,15 X 10 <sup>-3</sup>
25	13,195	4,78 X 10 <sup>-3</sup>	21,410	4,78 X 10 <sup>-3</sup>	24,241	4,78 X 10 <sup>-3</sup>
30	13,372	5,41 X 10 <sup>-3</sup>	21,123	5,41 X 10 <sup>-3</sup>	24,588	5,41 X 10 <sup>-3</sup>

Setelah didapatkan data berat konsumsi rata-rata gas HHO dan berat konsumsi rata-rata udara untuk pembakaran didapatkan maka rasio perbandingan seperti berikut :

Tabel 6. Rasio konsumsi rata-rata gas HHO dan konsumsi udara

Arus (A)	Rasio Perbandingan HHO dan Udara yang digunakan (g)					
	1000 rpm		1500 rpm		2000 rpm	
	Udara (g)	HHO (g)	Udara (g)	HHO (g)	Udara (g)	HHO (g)
5	16382	1	28874	1	29453	1
10	6468	1	11341	1	11622	1
15	4052	1	7070	1	7278	1
20	3783	1	6566	1	6766	1
25	2958	1	5229	1	5759	1
30	2724	1	4479	1	5071	1

Berdasarkan Tabel 6 rasio perbandingan udara dan gas HHO pada 1000 rpm berkisar dari 272432 sampai 1637882, pada 1500 rpm nilainya berkisar 447938 sampai 2865852, dan pada 2000 rpm 507165 sampai 2945282, dari data tersebut terlihat bahwa semakin besar arus generator HHO maka rasio perbandingannya pun akan semakin mengecil.

4.5. Rasio Perbandingan Gas HHO dan Bahan Bakar

Setelah mendapatkan konsumsi rata-rata bahan bakar dari Tabel 4 dan menggunakan perhitungan dengan menggunakan Persamaan 3 didapatkan berat komsumsi bahan bakar:

Tabel 7. Berat konsumsi bahan bakar

Arus (A)	Berat Konsumsi rata-rata Bahan Bakar (g)		
	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm
0	0,95	1,54	1,75
5	0,93	1,53	1,69
10	0,90	1,52	1,63
15	0,88	1,50	1,57
20	0,87	1,49	1,55
25	0,86	1,48	1,54
30	0,86	1,48	1,54
Rata - rata	0,89	1,51	1,61

Dengan didaptkannya massa konsumsi rata-rata gas HHO-udara (Tabel 6) dan massa konsumsi rata-rata bahan bakar (Tabel 7), maka dengan menggunakan Persamaan 2 diperoleh AFR<sub>actual</sub> sebagai berikut :

Tabel 8. Air fuel ratio aktual (AFRaktual)

Arus (A)	Rasio Perbandingan Bahan Bakar dan Udara-HHO					
	1000 rpm		1500 rpm		2000 rpm	
	Solar	HHO-Udara	Solar	HHO-Udara	Solar	HHO-Udara
0	1	12,70	1	13,80	1	12,35
5	1	13,05	1	13,80	1	12,85
10	1	13,55	1	13,78	1	13,38
15	1	13,93	1	13,86	1	13,96
20	1	14,97	1	14,56	1	15,41
25	1	15,35	1	14,47	1	15,72
30	1	15,55	1	14,27	1	16,01

Dari grafik AFRaktual didapatkan terjadi kenaikan presentasi Udara-HHO dengan meningkat besarnya tegangan arus yang diberikan ke generator HHO pada tiap putaran mesin yang dilakukan saat melakukan penelitian, dengan putaran mesin 1000 rpm, 1500 rpm, dan 2000 rpm nilai AFRaktual berkisar dari 12,70 sampai 16,01. Selanjutnya dengan membandingkan nilai AFRstokio dengan nilai

AFR<sub>aktual</sub>, didapatkan nilai equivalent ratio, nilai ini digunakan untuk menilai apakah AFR yang digunakan saat penelitian termasuk ke dalam AFR ideal apa bila nilainya sama dengan satu, AFR kaya jika nilai perbandingan (equivalent ratio) satu persen lebih dari satu (lebih dari 1,01), Atau AFR miskin jika nilai perbandingan satu persen kurang dari satu (kurang dari 0,99) maka dengan menggunakan Persamaan 4 untuk mendapatkan nilai equivalent ratio seperti berikut :

Tabel 9. Equivalent ratio

Arus (A)	Equivalent Ratio		
	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm
0	0,88	0,95	0,85
5	0,90	0,95	0,89
10	0,94	0,95	0,92
15	0,96	0,96	0,96
20	1,03	1,01	1,07
25	1,06	1,00	1,09
30	1,07	0,99	1,10

Dari Tabel 9 nilai equivalent rasio dapat kita lihat nilai equivalent ratio berkisar dari 0,85 sampai 1,10, dimana dari data tabel diatas didapatkan pada putaran mesin 1000 rpm, 1500 rpm, dan 2000 rpm dengan menggunakan arus generator gas HHO dari 0 A, 5 A, 10 A, dan 15 A menghasilkan AFR yang miskin (kekurangan bahan bakar) yang menyebabkan peningkatan suhu mesin yang cepat. Sedangkan dengan arus 20 A, 25 A, dan 30 A pada 1500 rpm menghasilkan AFR yang ideal menghasilkan kinerja mesin yang optimal, dan pada putaran 1000 rpm dan 2000 rpm menghasilkan AFR yang kaya (terlalu banyak bahan bakar) menyebabkan mesin menjadi boros bahan bakar.

Dengan produksi rata-rata gas HHO seperti pada Tabel 6, dan konsumsi rata-rata bahan bakar pada Tabel 7, serta dengan laju konsumsi udara pada Tabel 2, menghasilkan AFR<sub>aktual</sub> seperti pada Tabel 8 menghasilkan performa mesin dengan konsumsi bahan bakar (FC), torsi, *break horse power* (BHP), dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC)

#### 4.6. Torsi Mesin

Dengan produksi rata-rata gas HHO seperti pada Tabel 6, dan konsumsi rata-rata bahan bakar pada Tabel 7, serta dengan laju konsumsi udara, menghasilkan AFR<sub>aktual</sub> seperti pada Tabel 8 menghasilkan performa mesin dengan data berat tekanan rem dan torsi yang diukur 0,36 m dari pusat poros rem pada putaran 1000 rpm, 1500 rpm, dan 2000 rpm dengan tegangan arus generator HHO 0 A, 16 A, 20 A, 30 A didapatkan data tekanan rem yang diambil dengan cara meyambungkan rem dengan poros mesin yang kemudian digunakan untuk menghentikan mesin dengan cara memutar baut pada tuas rem yang mengencangkan cakram rem yang

melambatkan laju mesin sampai sesaat sebelum mesin mati. Pada saat baut pada tuas rem dikencangkan maka tuas rem tersebut akan menekan load cell yang tersambung weight sensor yang menampilkan data berat tekanan yang diberikan mesin.

Tabel 10. Berat tekanan rem

Arus (A)	Berat Tekanan Rem (Kg)		
	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm
0	10,5	13,09	22,68
5	11,25	13,53	23,59
10	12	13,97	24,51
15	12,75	14,41	25,42
20	14,6	16,4	29,8
25	15,35	17,05	31,3
30	16,1	17,7	32,8
Rata-rata	13,22	15,16	27,16

Dari tabel diatas didapatkan berat tekanan rem meningkat dengan bertambahnya putaran mesin dan makin besarnya arus yang diberikan ke generator HHO.. Dengan penginjeksian gas HHO dengan generator gas HHO dialiri arus dengan tegangan 0 A, 5 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A, dan 30 A berat tekanan yang rem semakin meningkat dengan makin besarnya arus tegangan generator pada tiap putaran mesin, dimana peningkatan berat tekanan rem paling besar terjadi pada tegangan 30 A yaitu dengan pada 1000 rpm berat tekanan rem meningkat sebesar 53,3 % dari 10,5 Kg menjadi 16,1 Kg, pada putaran 1500 rpm meningkat sebesar 35,2% dari 13,09 Kg menjadi 17,7 Kg, dan pada putaran 2000 rpm meningkat sebesar 44,6% dari 22,68 Kg menjadi 32,8 Kg.

Dengan menggunakan Perasamaan 5 pada Tabel 10 didapatkan data torsi seperti berikut :

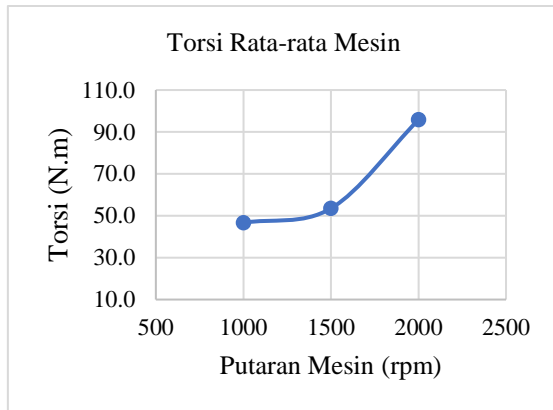
Tabel 11. Torsi mesin

Arus (A)	Torsi (N.m)		
	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm
0	37,04	46,18	80,02
5	39,69	47,74	83,23
10	42,34	49,29	86,45
15	44,98	50,85	89,67
20	51,51	57,86	105,13
25	54,15	60,15	110,43
30	56,8	62,45	115,72
Rata-rata	46,64	53,50	95,81

Berdasarkan Gambar 10, didapatkan torsi meningkat dengan bertambahnya putaran mesin dan makin besarnya arus yang diberikan ke generator HHO. Dengan penginjeksian gas HHO dengan generator gas HHO dialiri arus dengan tegangan 0 A, 5 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A, dan 30 A torsi mesin semakin meningkat dengan makin besarnya arus



tegangan generator pada tiap putaran mesin, dimana peningkatan torsi paling besar terjadi pada tegangan 30 A yaitu dengan pada 1000 rpm torsi meningkat sebesar 53,3 % dari 37,04 N.m menjadi 56,80 N.m, pada putaran 1500 rpm meningkat sebesar 35,2% dari 46,18 N.m menjadi 62,45 N.m, dan pada putaran 2000 rpm meningkat sebesar 44,6% dari 80,02 N.m menjadi 115,72 N.m.



Gambar 10. Torsi rata-rata mesin

#### 4.7. Fuel Consumption

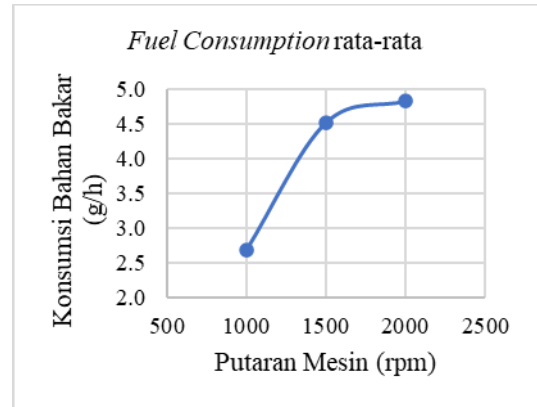
Fuel consumption (konsumsi bahan bakar) adalah jumlah bahan bakar perjam yang digunakan oleh mesin, maka untuk mendapatkan fuel consumption yang digunakan oleh mesin, dengan melakukan perhitungan dari data yang didapatkan pada tabel dengan menggunakan Persamaan 7 seperti berikut :

Tabel 12. Fuel consumption

Arus (A)	Fule Consumption (L/h)		
	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm
0	4,115	6,674	7,564
5	4,007	6,617	7,304
10	3,902	6,563	7,049
15	3,794	6,505	6,790
20	3,751	6,444	6,707
25	3,733	6,415	6,674
30	3,712	6,386	6,642
Rata-rata	3,859	6,515	6,961

Berdasarkan data dan grafik di Gambar 11 dapatkan FC meningkat seiring bertambah besarnya putaran mesin. Dengan penginjeksian gas HHO dengan generator gas HHO dialiri arus dengan tegangan 0 A, 5 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A, dan 30 A FC semakin menurun dengan makin besarnya arus tegangan generator pada tiap putaran mesin, dimana penurunan konsumsi bahan bakar paling besar terjadi pada tegangan 30 A yaitu dengan pada 1000 rpm konsumsi bahan bakar mengalami penurunan sebesar

9,8 % dari 4,115 L/h menjadi 3,712 L/h, pada putaran 1500 rpm penurunan sebesar 4,3% dari 6,674 L/h menjadi 6,386 L/h, dan pada putaran 2000 rpm penurunan sebesar 12,2% dari 7,564 L/h menjadi 6,642 L/h.



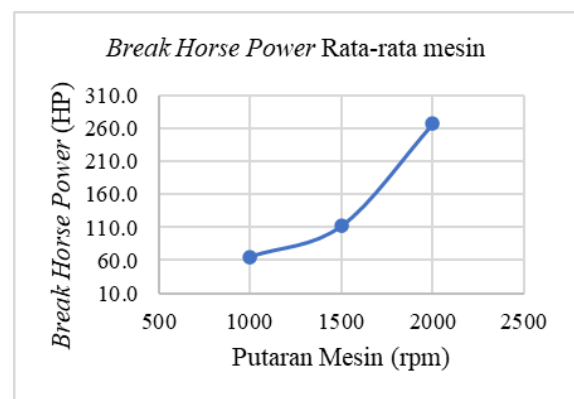
Gambar 11. Fuel consumption (FC) rata-rata

#### 4.8. Brake Horse Power (BHP)

Dengan didapatnya nilai torsi dari Tabel 11, maka untuk mendapatkan nilai BHP perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan Persamaan 6, maka perhitungan tersebut dapat ditampilkan seperti berikut :

Tabel 13. Break horse power

Arus (A)	Break Horse Power (hp)		
	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm
0	51,69	96,67	223,34
5	55,39	99,94	232,30
10	59,09	103,18	241,29
15	62,77	106,45	250,28
20	71,89	121,12	293,43
25	75,57	125,91	308,22
30	79,27	130,73	322,99
Rata-rata	65,09	112,00	267,41



Gambar 12. Grafik BHP pada tiap arus generator HHO



Berdasarkan pada grafik perbandingan diatas (Gambar 12) didapatkan BHP meningkat dengan bertambahnya putaran mesin dan makin besarnya arus yang diberikan ke generator HHO. Dengan penginjeksian gas HHO dengan generator gas HHO dialiri arus dengan tegangan 0 A, 5 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A, dan 30 A BHP mesin semakin meningkat dengan makin besarnya arus tegangan generator pada tiap putaran mesin, dimana peningkatan BHP paling besar terjadi pada tegangan 30 A yaitu dengan pada 1000 rpm BHP meningkat sebesar 53,3 % dari 51,69 hp menjadi 79,27 hp, pada putaran 1500 rpm meningkat sebesar 35,2% dari 96,67 hp menjadi 130,73 hp , dan pada putaran 2000 rpm meningkat sebesar 44,6% dari 223,34 hp menjadi 322,99 hp.

4.9. Specific Fuel Consumption (SFC)

Dengan menggunakan data fuel consumption (Tabel 12) yang dibagikan dengan BHP (Tabel 13) penelitian untuk mendapatkan nilai bahan bakar specific atau specific fuel consumption untuk mengetahui berapa bahan bakar yang diperlukan untuk mesin untuk berkerja selama penelitian perlu dilakukan perhitungan untuk mengubah satuan break horse power yang digunakan dengan menggunakan data pada Tabel 14.

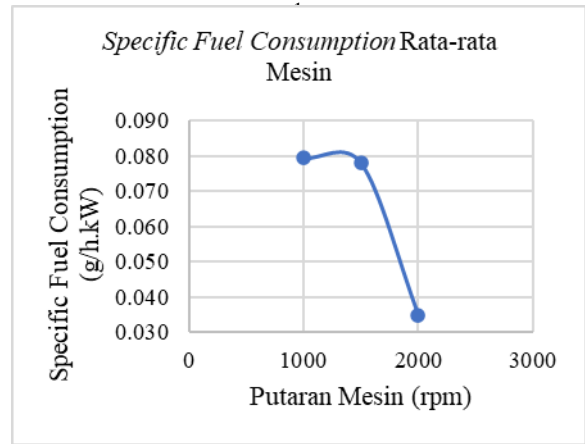
Tabel 14. break horse power dengan satuan kW

Arus (A)	Break Horse Power (kW)		
	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm
0	38,55	72,09	166,55
5	41,30	74,52	173,23
10	44,06	76,94	179,93
15	46,81	79,38	186,63
20	53,60	90,32	218,81
25	56,35	93,89	229,84
30	59,11	97,48	240,85
Rata-rata	48,54	83,52	199,41

Dengan didaapatnya data BHP dengan satuan kW diatas (Tabel 14) dan data fuel consumption pada Tabel 12 dengan menggunakan Persamaan 8 maka didapatkan perhitungan seperti dibawah ini :

Tabel 15. Specific fuel consumption

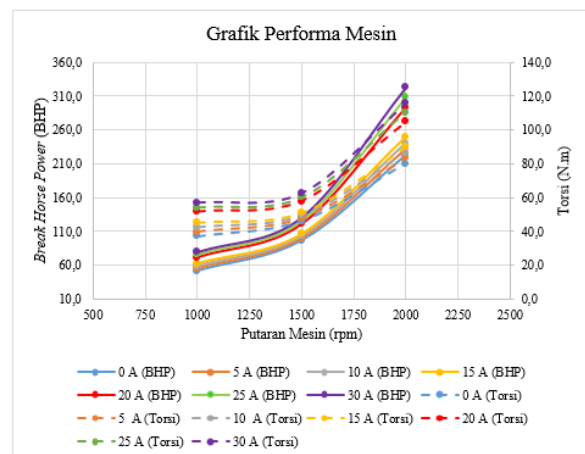
Arus (A)	Specific fuel consumption (L/h.kW)		
	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm
0	0,107	0,093	0,045
5	0,097	0,089	0,042
10	0,089	0,085	0,039
15	0,081	0,082	0,036
20	0,070	0,071	0,031
25	0,066	0,068	0,029
30	0,063	0,066	0,028
Rata-rata	0,080	0,078	0,035



Gambar 13. Grafik specific fuel consumption rata-rata

Berdasarkan pada grafik diatas (Gambar 13), SFC mesin mengalami penurunan dengan meningkatnya rasio campuran gas HHO, dari grafik didapatkan bahwa SFC mengalami penurunan dengan meningkatnya putaran mesin dari 1000 rpm ke 2000 rpm, dengan nilai SFC terendah terjadi pada 2000 rpm dengan nilai rata-rata SFC sebesar 0,028 dan nilai SFC terbesar terjadi pada 1000 rpm dengan nilai rata-rata SFC sebesar 0,107.

Dari data – data penelitian yang didapatkan performa mesin bisa kita lihat dengan membandingkan grafik daya mesin dengan torsi mesin. Dengan keterbatasan alat penelitian saat pengambilan data, maka didapatkan grafik perbandingan antara performa saat penelitian dengan data torsi penelitian dan BHP penelitian . Didapatkan grafik perbandingan performa mesin seperti berikut :



Gambar 14. Grafik performa mesin pada saat penelitian

Dari grafik diatas didapatkan torsi brosure dengan torsi mesin pada 2000 rpm dengan torsi sebesar 102,4 N.m dan BHP sebesar 285,81 hp, sedangkan pada penelitian dengan 2000 rpm dengan menggunakan generator gas HHO yang dialiri arus sebesar 30 A nilai

torsi yang didapatkan sebesar 115,72 N.m dan BHP sebesar 322,99 hp. Nilai torsi meningkat sebesar 44,6% dari 80,02 N.m menjadi 115,72 N.m) dan BHP sebesar 322,99 hp.

Dengan besar arus generator gas HHO yang berbeda pada setiap putaran mesin bertujuan untuk memprediksi dengan besar arus berapakah yang harus digunakan generator gas HHO untuk mendapatkan torsi, fuel consumption (FC), break horse power (BHP), dan specific fuel consumption (SFC) yang optimal.

## 5. Kesimpulan

Pengujian tentang performa mesin dengan menggunakan variasi campuran rasio bahan bakar dan gas HHO pada mesin Ford Escort 1.8, menghasilkan hal-hal sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan arus sebesar 0 A, 5 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A, dan 30 A pada generator gas HHO. Dari data penelitian didapatkan bahwa dengan makin besarnya arus yang diberikan ke generator gas HHO maka makin besar jumlah gas HHO yang diproduksi, dimana dengan menggunakan arus sebesar 30 A menghasilkan produksi gas HHO terbanyak.
2. Dengan produksi gas HHO yang menggunakan arus sebesar 0 A, 5 A, 10 A, 15 A, 20 A, 25 A, dan 30 A menghasilkan :
  - Dengan penambahan gas HHO kedalam mesin menghasilkan nilai AFR aktual mesin yang berkisar antara 12,35 sampai 16,01. Perbandingan konsumsi rata-rata gas HHO-udara dan bahan bakar solar yang menghasilkan equivalent ratio berkisar dari 0,85 sampai 1,11, yang menunjukkan bahwa terjadi tiga jenis campuran.
  - Fuel consumption (FC) dan specific fuel consumption (SFC) semakin menurun, sedangkan torsi mesin dan break horse power (BHP) semakin meningkat dengan seiring

meningkatnya arus yang diberikan ke generator gas HHO atau semakin banyaknya gas HHO yang dimasukkan ke dalam mesin

3. Semakin besar arus yang diberikan ke generator gas HHO maka makin banyak jumlah gas HHO yang diproduksi untuk dimasukkan ke dalam mesin. Dengan putaran mesin 1000 rpm sampai 2000 rpm, maka nilai fuel consumption semakin menurun, nilai torsi semakin besar, nilai break horse power meningkat, dan nilai SFC mengalami penurunan. Hal ini dapat dilihat pada saat penelitian dengan menggunakan arus terbesar pada generator gas HHO yaitu 30 A menghasilkan performa mesin paling maksimal.

## Referensi

- [1] Arends, BPM dan H. Berenschot. 1980. Motor Bensin. Jakarta: Erlangga.
- [2] Andrelov, T. (2013). Penggunaan Gas HHO dan Uji Kinerjanya Pada Traktor Tangan. Bogor Agricultural University.
- [3] Setyadi, F V. 2000. Pengaruh Temperatur Dan Tekanan Udara Masuk Pada Motor Diesel Tipe 4 JA 1 Terhadap Unjuk Kerja, Surabaya: Fakultas Teknik Universitas Kristen Petra.
- [4] Suyatno, Agus. 2010. "Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Dengan Radiator Sebagai Upaya Meningkatkan Kinerja Mesin Bensin". Jurnal Jurusan Teknik Mesin PROTON Universitas Widyagama Malang Vol. 2 No. 2 (23 – 27).
- [5] Machmud, Syahril., Untoro Budi Suro dan Leydon Sitorus. 2013. "Pengaruh Variasi Unjuk Derajat Pengapian Terhadap Kerja Mesin". Jurnal Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Janabadra Yogyakarta Vol. 3 No.1 (58-64).
- [6] Jama, Jalius dan Wagino. 2008. Teknik Sepeda Motor Jilid 1. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- [7] Raharjo, Winarno dan Karnowo. 2008. *Mesin Konversi Energi*. Universitas Negeri Semarang: Semarang.
- [8] Fahrudin, A., & Sidoarjo, U. M. (2018). Pengaruh Jarak Antar Plat Pada Generator HHO Model Wet Cell Terhadap Debit dan Efisiensi ( Effect of Plates Gap of Wet Cells HHO Generator to The Flowrate and Efficiency ) Pengaruh Jarak Antar Plat Pada Generator HHO Model Wet Cell Terhadap Debit dan Efis. Jurnal Saintek, December 2015.