

Peningkatan Unjuk Kerja Motor Bensin Empat Langkah dengan Penggunaan Busi Dua Elektrode dan Busi Tiga Elektrode

Rahardjo Tirtoatmodjo, Willyanto

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Slamet Basuki

Alumnus Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Abstrak

Salah satu komponen pendukung dalam sistem pengapian pada motor bakar torak adalah busi. Pengapian dari busi terjadi karena adanya sumber energi listrik untuk menghasilkan energi aktivasi yang digunakan untuk membakar campuran udara dan bahan bakar sehingga menghasilkan tenaga.

Busi sebagai suatu piranti untuk menghasilkan busur api listrik sangat berpengaruh terhadap kesempurnaan proses pembakaran yang terjadi didalam ruang bakar. Kesempurnaan proses pembakaran akan mempengaruhi unjuk kerja dari motor.

Dengan menggunakan busi dua elektrode dan busi tiga elektrode dapat meningkatkan unjuk kerja dari motor pada kondisi optimal khususnya peningkatan Efisiensi Thermis yaitu masing-masing 2,9% dan 3,7%.

Kata kunci: Busi dua elektrode, busi tiga elektrode, energi aktivasi, peningkatan daya, penurunan konsumsi bahan bakar, proses pembakaran.

Abstract

One of supporting components in the ignition system of Spark Ignition Engine is spark plug. Ignition occurs caused by the existence of electric source energy which generates activation energy to ignite the air fuel mixture until produces power.

Spark plug is a component generating the spark highly effected the completeness process in combustion chamber. The completeness of combustion process shall affects the performance of the engine.

By using double electrode spark plug and multi electrode spark plug can increase the performance on optimal condition, particularly increasing of the thermal efficiency each is 2.9% and 3.7%.

Keywords: *double electrode spark plug, multi electrode spark plug, activation energy, increase power, decrease fuel consumption, combustion process.*

1. Pendahuluan

Perkembangan dunia otomotif yang semakin pesat dewasa ini, juga diikuti oleh perkembangan berbagai komponen pendukungnya. Untuk penyempurnaan komponen-komponen mobil banyak inovasi baru yang dikembangkan sebagai peralatan tambahan yang berguna untuk menyempurnakan kemampuan sebuah mobil.

Sistem pengapian memiliki peranan penting dalam proses pembakaran dalam ruang bakar.

Sistem pengapian yang semakin baik maka pembakaran dalam ruang bakar akan semakin sempurna, sehingga kemungkinan adanya campuran bahan bakar dan udara yang tidak terbakar akan semakin kecil.

Dalam sistem pengapian busi memegang peranan penting. Busi berfungsi untuk memercikkan buang api, sehingga dengan disain busi yang lebih baik diharapkan percikan bunga api yang dihasilkan busi akan semakin sempurna. Pada busi konvensional (busi dengan satu elektrode negatif), ada kemungkinan sebagian campuran bahan bakar dan udara yang tidak terbakar karena percikan busur api listrik yang dihasilkannya hanya pada satu arah saja, Dengan desain yang dimiliki oleh busi dua elektrode dan tiga elektrode diharap-

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juli 2000. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 2 Nomor 2 Oktober 2000.

kan percikan busur api listrik yang dihasilkan bukan hanya pada satu arah saja, sehingga energi aktivasi untuk mendukung terjadinya pembakaran yang lebih sempurna lebih besar dibandingkan dengan busi konvensional. Dengan demikian diharapkan daya yang terjadi lebih optimal, efisiensi thermalnya meningkat, konsumsi bahan bakar lebih irit, dan emisi gas buang yang lebih bersih.

2. Alat-Alat Percobaan

2.1 Motor yang diuji

Motor yang diuji sebuah motor daihatsu 3 silinder 4 langkah dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tipe motor	: CB-23
Silinder	: 3, in-line
Diameter x langkah	: 76mm x 73mm
Perbandingan kompresi	: 9,5 :1
Tekanan kompresi	: 12,5 kg/cm ² (pada 350 rpm)
Daya maksimum	: 38 kW pada 5600 rpm
Torsi maksimal	: 75,5 Nm pada 3200 rpm
Putaran idle	: 850 ± 50 rpm

2.2 Dynamometer (jenis Water Brake Dynamometer)

Sebagai alat pengukur unjuk kerja dari motor digunakan dynamometer yang mempunyai spesifikasi sebagai berikut :

Merek	: Zollner
Tipe	: 3 n 19 A
Daya maksimum	: 120 kW
Putaran maksimum	: 7500 rpm
Pengatur beban	: Sluice gate
Jumlah impeller	: 1
Arah putaran rem	: satu arah
Tekanan air inlet minimum	: 2-3 bar
Panjang tuas teoritis	: 0,9549 m

2.3 Busi.

Busi yang dipakai dalam percobaan ini:

- Busi konvensional Bosch super type W8DC.
- Busi dua elektrode Bosch super type F7LDC.
- Busi tiga elektrode Bosch super type F7TJC.

2.4 Exhaust Gas Analyzer.

Alat ini berfungsi untuk menganalisa gas buag dari motor dengan spesifikasi sebagai berikut :

Merek	: Stampex Motor Branch ex Italy
Power Supply	: 220V / 100W – 50Hz
Kemampuan pengukuran :	
CO	: 0 – 9,99% vol
CO ₂	: 0 – 19,98% vol
O ₂	: 0 – 25% vol
HC	: 0 –10000 ppm
λ	: 0,5 – 1,5
Putaran	: 0 – 5000 rpm

3. Teori Dasar

3.1 Perhitungan daya kuda.

Daya yang diukur oleh dynamometer dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$BHP = \frac{2\pi P R N d}{X} \quad (dk)$$

dimana :

BHP	= brake horse power (dk)
P	= gaya aksi dynamometer (Newton)
R	= panjang lengan dynamometer (m)
Nd	= putaran motor (rpm)
X	= faktor pengonversi

$$= 33000 \left(\frac{ft.lb/det}{dk} \right)$$

$$= 4500 \left(\frac{kg.m/det}{dk} \right)$$

$$= 45000 \left(\frac{N.m/det}{dk} \right)$$

3.2 Tekanan Efektif rata-rata (Bmep)

Tekanan efektif rata-rata (*Brake Mean Effective Pressure*) yang merupakan tekanan rata-rata yang bekerja pada piston selama langkah kerja dapat dihitung berdasarkan rumus :

$$b_{mep} = \frac{0,45 N Z}{A L i N d} \quad (kg/cm^2)$$

dimana :

N	= tenaga kuda poros (dk)
A	= luas penampang torak (m ²)
L	= panjang langkah torak (m)
i	= jumlah silinder
Z	= 1 untuk motor 2 langkah 2 untuk motor 4 langkah

3.3 Hubungan BHP dan Bmep

Hubungan antara BHP dan b_{mep} adalah sebagai berikut :

$$BHP = \frac{bmep V_{sil} Np}{X}$$

dimana :

V_{sil} = Volume pergeseran piston

$$= \frac{\pi}{4} D^2 L$$

Np = jumlah langkah kerja permenit

$$= i. Nd/Z$$

3.4 Pemakaian Bahan-Bakar Spesifik (sfc)

Specific fuel consumption adalah jumlah pemakaian bahan bakar yang dikonsumsi oleh motor untuk menghasilkan daya satu dk selama satu jam. Sfc dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Bsfc = \frac{3600 m}{Bhp_t} (\text{kg/HP jam})$$

m = bahan bakar sebanyak 50 ml (kg)

SG bensin = 0,728 (1 atm, 31°C)

p bensin : p air X SG bensin = 999X0,728
= 727,272 kg/m³

V = volume bahan bakar = 50 ml

m = 0,03636363 kg

t = waktu konsumsi 50 ml bahan bakar (dt)

3.5 Efisiensi Thermis.

Effisiensi termis merupakan efisiensi pemanfaatan panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi tenaga mekanis. Dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$\eta = \frac{3000 \cdot 746}{Bsfc \cdot LHV} \times 100\%$$

LHV = *Low Heating Value* (nilai kalor bawah bahan bakar)
= 44.188.064 joule/kg

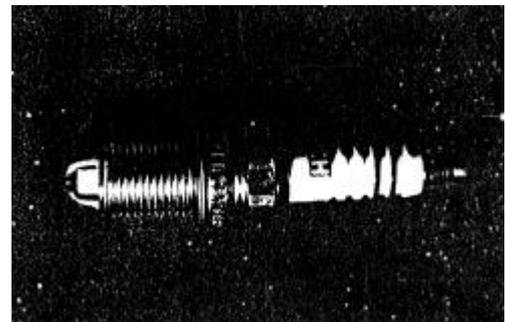
3.6 Busi Konvensional



Gambar 1. Busi Konvensional

Busi konvensional hanya mempunyai satu elektrode positif dan satu elektrode negatif. Besar bunga api yang dihasilkan tergantung jarak antara dua elektrode tersebut. Untuk memperbesar loncatan bunga api dapat dilakukan dengan memperbesar jarak kedua elektrode tersebut tetapi juga harus disediakan tegangan yang relatif lebih tinggi dan hal ini harus menggunakan koil penghasil tegangan yang lebih tinggi. Penyediaan tegangan yang lebih tinggi ini memerlukan energi input yang lebih besar dan menimbulkan masalah pada sistem isolasi.

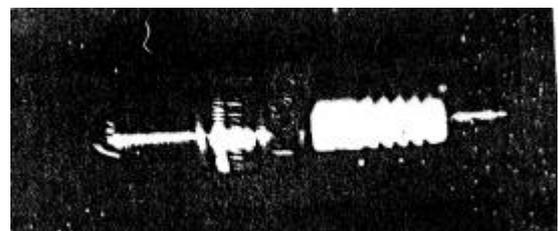
3.7 Busi Dua Elektrode.



Gambar 2. Busi Dua Elektrode

Pada busi dua elektrode banyaknya negatif (*ground electrode*) yang menempel pada *shell* adalah dua elektrode dengan posisi elektrode yang saling berhadapan. Dengan disain geometris tersebut merupakan kelebihan yang dimiliki bila dibandingkan dengan busi konvensional. Sehingga dengan adanya dua elektrode negatif pola busur api listrik yang terjadi tidak hanya satu arah saja, melainkan menjadi dua arah. Dengan demikian campuran bahan bakar dan udara akan lebih cepat terbakar, dan akan mengurangi kemungkinan tidak terbakarnya bahan bakar dan udara.

3.8 Busi Tiga Elektrode



Pada busi tiga elektrode banyaknya elektrode negatif (*ground electrode*) yang menempel pada *shell* adalah tiga elektrode dengan posisi elektrode yang membentuk sudut yang sama. Dengan disain geometris tersebut

merupakan kelebihan yang dimiliki bila dibandingkan dengan busi konvensional. Sehingga dengan adanya tiga elektrode negatif pola busur api listrik yang terjadi tidak hanya satu arah saja, melainkan menjadi tiga arah.

Dengan demikian campuran bahan bakar dan udara akan lebih cepat terbakar, dan akan mengurangi kemungkinan tidak terbakarnya bahan bakar dan udara.

4. Prosedur Percobaan

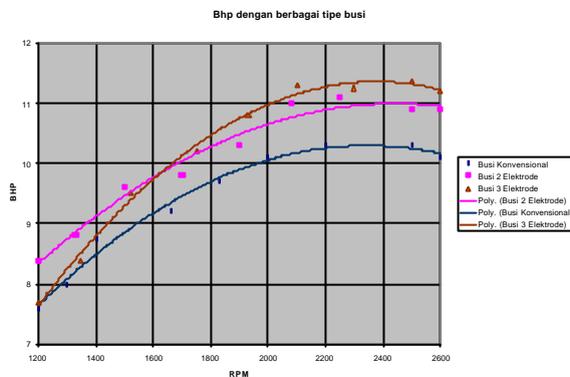
Prosedur yang dilakukan dalam pengambilan data pada pengereman dan putaran berubah:

1. Sebelum menghidupkan motor, melakukan pemeriksaan terlebih dahulu terhadap: minyak pelumas, air pendingin, *blower*, kran pemasukan air, bahan bakar dan semua perlengkapan yang dibutuhkan untuk percobaan.
2. Kemudian menghidupkan motor pada putaran *idlenya* (850 rpm) selama 5 menit agar motor mencapai kondisi kerjanya.
3. Setelah mencapai kondisi kerjanya, kemudian mencari posisi pengapian yang terbaik pada kondisi *idle* dengan menggunakan *timing light* (diperoleh pengapian 10°)
4. Membuka kran pemasukan air ke dynamometer, agar tekanan air masuk sekitar 2,5 bar dan mengatur posisi pengereman 0%.
5. Menaikkan putaran motor hingga 2500 rpm dengan kondisi tanpa beban (0%)
6. Selanjutnya motor mulai dibebani secara bertahap, dengan menaikkan posisi pengereman menjadi 5%, 10%, 15%, 20%, 25% dan 30%. Perubahan posisi pengereman dilakukan setiap konsumsi 50ml bahan bakar. Pengambilan data dilakukan setiap perubahan posisi pengereman.
7. Setelah selesai pengujian, beban pengereman dikembalikan ke posisi 0% dan kemudian putaran dikembalikan ke kondisi putaran *idle*.

5. Hasil Percobaan dan Analisa

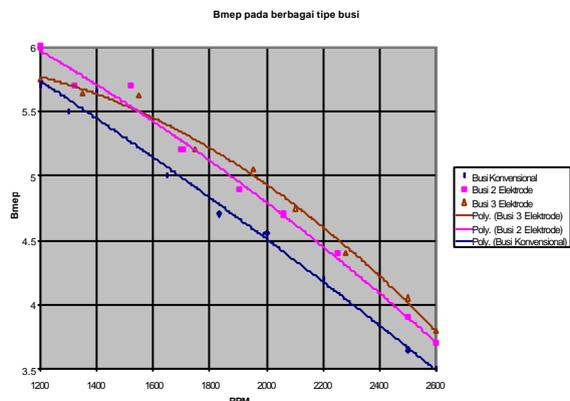
Pada gambar 4 terlihat dengan pemakaian busi yang menggunakan dua dan tiga elektrode (multi elektrode) pada kondisi kerja motor yaitu pada putaran antara 1500 sampai 2500 rpm akan menghasilkan daya kuda yang lebih besar jika dibandingkan dengan busi konvensional. Akan tetapi pada putaran motor

yang rendah, daya kuda yang dihasilkan cenderung menurun. Hal tersebut disebabkan karena pada putaran kerja motor energi aktivasi yang dihasilkan oleh busi yang menggunakan banyak elektrode lebih besar jika dibandingkan dengan busi konvensional, sehingga campuran bahan bakar dan udara akan terbakar habis atau pembakaran berlangsung secara sempurna. Dengan demikian maka daya yang dihasilkan pun lebih optimal. Rata-rata peningkatan daya dari pemakaian busi konvensional ke busi dua elektrode adalah 7,4% dan pemakaian busi konvensional ke busi tiga elektrode adalah 8,9%. Pada peningkatan daya dari busi dua elektrode ke busi tiga elektrode tidak sebesar peningkatan daya dari busi konvensional ke busi tiga elektrode.



Gambar 4. Grafik Bhp Fungsi Putaran dari berbagai Busi

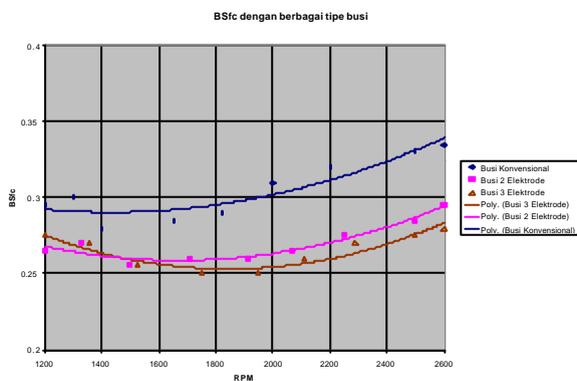
Dari gambar diatas juga dapat dilihat pada busi konvensional daya optimum dicapai apabila motor berputar pada putaran sekitar 2400 dengan pengereman sekitar 5% sedangkan pada busi tiga elektrode daya optimum tercapai apabila motor berputar pada putaran sekitar 2375 rpm dengan posisi pengereman sekitar 5%.



Gambar 5. Grafik Bmep Fungsi Putaran dari Berbagai Tipe Busi

Dari gambar 5 terlihat dengan pemakaian busi yang menggunakan dua dan tiga elektrode pada kondisi kerja motor yaitu pada putaran antara 1500 sampai 2500 rpm akan menghasilkan tekanan pada piston yang lebih besar jika dibandingkan dengan busi konvensional. Akan tetapi pada putaran motor yang rendah (dibawah putaran pada kondisi kerja motor), tekanan yang terjadi pada piston menurun. Hal tersebut disebabkan karena pada putaran kerja motor campuran bahan bakar dan udara akan terbakar habis atau pembakaran berlangsung secara sempurna. Dengan demikian ledakan yang terjadi pada ruang bakar semakin membesar dan akan memberikan tekanan yang optimum pada piston selama langkah kerja. Rata-rata peningkatan tekanan pada piston dari pemakaian busi konvensional ke busi dua elektrode adalah 4,2%, dari pemakaian busi konvensional ke busi tiga elektrode adalah 4,3%.

Dari gambar diatas juga dapat dilihat pada busi konvensional tekanan optimum pada piston tercapai apabila motor berputar pada putaran sekitar 2000 rpm, pada busi dua elektrode tekanan optimum pada piston tercapai apabila motor berputar pada putaran sekitar 2050 rpm, sedangkan pada busi tiga elektrode tekanan optimum yang terjadi pada piston apabila motor berputar sekitar 2100 rpm.



Gambar 6. Grafik Bsfcr fungsi putaran dari berbagai tipe busi.

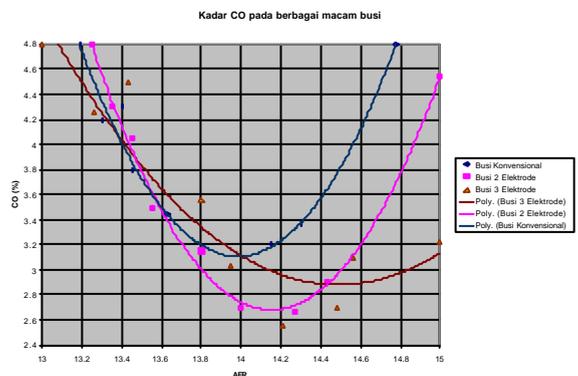
Dari gambar 6 terlihat dengan pemakaian busi yang menggunakan dua dan tiga elektrode pada kondisi kerja motor yaitu pada putran antara 1500 sampai 2500 rpm pemakaian bahan bakar akan menurun (penghematan) jika dibandingkan dengan busi konvensional. Hal tersebut disebabkan karena pada putaran tersebut sebanding dengan daya yang dihasilkan motor. Pada busi konvensional pemakaian bahan bakar yang paling irit terjadi

pada putaran sekitar 1500 rpm, pada busi dua elektrode pemakaian bahan bakar yang paling irit terjadi pada putaran sekitar 1700 rpm, sedangkan pada busi tiga elektrode pemakaian bahan bakar yang paling irit terjadi pada putaran sekitar 1800 rpm. Pada putaran yang melebihi batas putaran optimum pemakaian bahan bakar semakin meningkat, hal ini karena peningkatan putaran tidak diimbangi dengan peningkatan daya motor.



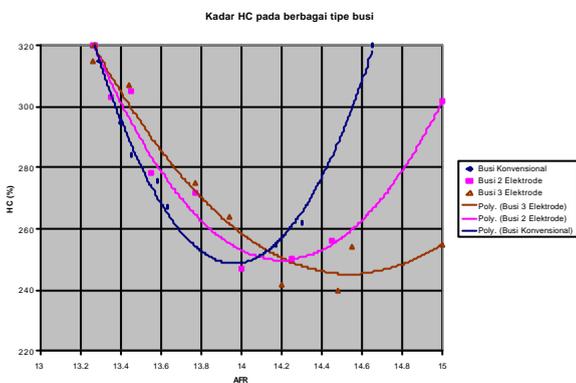
Gambar 7. Grafik Efisiensi Thermis fungsi putaran dari berbagai tipe busi.

Dari gambar 7 terlihat dengan pemakaian busi yang menggunakan dua dan tiga elektrode pada kondisi kerja motor yaitu pada putaran antara 1500 sampai 2500 rpm efisiensi pemanfaatan panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi tenaga mekanis (poros) semakin meningkat jika dibandingkan dengan busi konvensional. Hal tersebut disebabkan karena pada putaran kerja motor campuran bahan bakar dan udara akan terbakar habis atau pembakaran berlangsung secara sempurna. Pada busi konvensional peningkatan maksimum tercapai apabila motor berputar pada putaran sekitar 1550 rpm, pada busi dua elektrode pada putaran sekitar 1700 rpm sedangkan pada busi tiga elektrode pada putaran sekitar 1900 rpm.



Gambar 6. Grafik Kadar CO fungsi AFR dari berbagai tipe busi

Dari gambar 8 terlihat bahwa kadar CO pada pemakaian busi konvensional, busi dua elektrode, dan busi tiga elektrode akan meningkat bila perbandingan massa udara dan massa bahan (AFR) kurang dari rasio *stoichiometri*. Pada busi konvensional kadar CO terendah pada perbandingan massa udara dan massa bahan bakar adalah 13,05 dan kadar CO tertinggi pada perbandingan massa udara dan massa bahan bakar adalah 12,70. Pada busi dua elektrode kadar CO terendah 13,45 dan kadar CO tertinggi pada perbandingan massa udara dan massa bahan bakar adalah 12,72. Sedangkan pada busi tiga elektrode kadar CO terendah pada AFR 13,38 dan tertinggi pada AFR 12,65. Kadar CO juga sangat dipengaruhi oleh turbulensi dalam ruang bakar, bila turbulensinya semakin baik maka kadar CO yang dihasilkan juga semakin rendah.

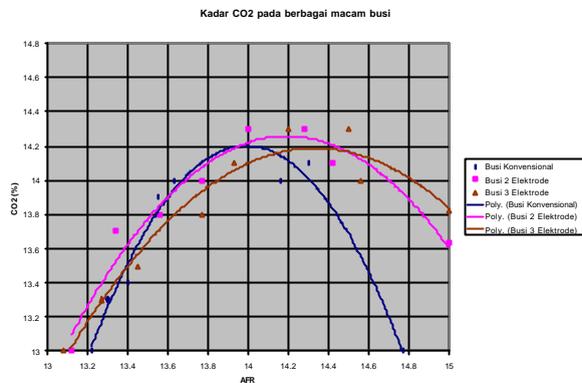


Gambar 9. Grafik kadar HC fungsi AFR dari berbagai tipe busi

Dari gambar 9 dapat dilihat perbandingan kadar gas buang HC pada penggunaan busi konvensional, busi dua elektrode dan busi tiga elektrode. Gas buang HC yaitu pancaran hidrokarbon yang terdapat pada gas buang berbentuk bensin yang tidak terbakar dan hidrokarbon yang sebagian bereaksi dengan oksigen jika campuran udara dan bahan bakar tidak terbakar sempurna didekat dinding silinder antara torak dan silinder, dimana api untuk pembakaran lemah dan suhunya rendah. Hal ini terjadi misalnya bila motor baru saja dihidupkan atau pada saat pemanasan. HC yang keluar tidak hanya pada campuran udara bahan bakar yang kaya, tetapi juga pada campuran udara dan bahan bakar yang miskin.

Dari gambar diatas terlihat juga bahwa kadar HC pada pemakaian busi konvensional, busi dua elektrode, dan busi tiga elektrode cenderung meningkat bila rasio massa udara dan massa bahan bakar kurang dari rasio *stoichiometri* (rasio perbandingan massa udara dan massa bahan bakar secara teoritis). Pada

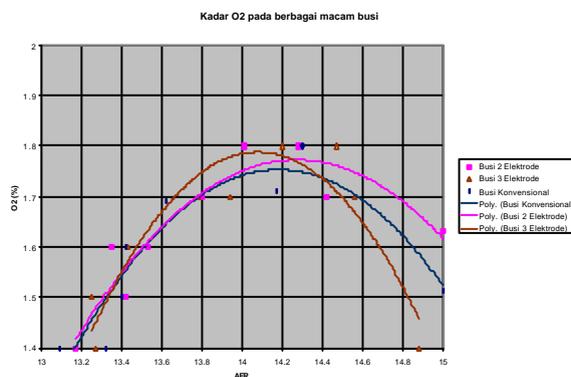
busi konvensional kadar HC terendah pada AFR 13,05 dan kadar HC tertinggi pada AFR 12,9. Pada busi dua elektrode kadar HC terendah pada AFR 13,31 dan kadar HC tertinggi pada AFR 13,06. Pada busi tiga elektrode kadar HC terendah pada AFR 12,65 dan kadar HC tertinggi pada AFR 12,91.



Gambar 10. Grafik kadar CO₂ fungsi AFR dari berbagai tipe busi.

Pada gambar 10 terlihat perbandingan kadar gas buang CO₂ antara pemakaian busi konvensional, busi dua elektrode, dan busi tiga elektrode pada posisi pengapian yang optimum.

Dari gambar 10 terlihat juga bahwa kadar CO₂ pada pemakaian busi konvensional, busi dua elektrode, dan busi tiga elektrode cenderung meningkat apabila perbandingan udara dan bahan bakar semakin mendekati *stoichiometri*. Pada busi konvensional kadar CO₂ tertinggi bila perbandingan massa udara dan bahan bakar adalah 13,07 dan terendah pada rasio massa bahan bakar adalah 12,9. Pada busi dua elektrode kadar CO₂ tertinggi bila perbandingan massa udara dan bahan bakar adalah 13,38 dan terendah pada rasio massa bahan bakar adalah 13,06. Sedangkan pada busi tiga elektrode kadar CO₂ tertinggi bila perbandingan massa udara dan bahan bakar adalah 13,38 dan terendah pada rasio massa bahan bakar adalah 12,91.



Gambar 11. Grafik Kadar O₂ fungsi AFR dari berbagai tipe busi.

Pada gambar 11 terlihat grafik perbandingan kadar gas buang O_2 antara pemakaian busi konvensional, busi dua elektrode dan busi tiga elektrode pada posisi pengapian optimum. Kadar O_2 pada pemakaian busi konvensional, busi dua elektrode, dan busi tiga elektrode. Pada busi konvensional kadar O_2 tertinggi pada perbandingan massa udara dan massa bahan bakar adalah 13,13 dan terendahnya pada 13,05. Pada busi dua elektrode kadar O_2 tertinggi pada perbandingan massa udara dan massa bahan bakar adalah 13,45 dan terendahnya pada 13,24. Sedangkan pada busi tiga elektrode kadar O_2 tertinggi pada perbandingan massa udara dan massa bahan bakar adalah 13,28 dan terendahnya pada 12,91.

6. Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

- Peningkatan performa pada kondisi optimal dari penggunaan busi konvensional ke busi dua elektrode yaitu peningkatan daya kuda 8%, peningkatan efisiensi termis 2,9% dan penghematan bahan bakar 11,9%.
- Peningkatan performa pada kondisi optimal dari penggunaan busi konvensional ke busi tiga elektrode yaitu peningkatan daya kuda 10,6%, peningkatan efisiensi termis 3,7% dan penghematan bahan bakar 12,9%.
- Dari data dapat disimpulkan bahwa penggunaan busi dua elektrode dan busi tiga elektrode akan nampak peningkatan performa pada putaran 1500 rpm – 2500 rpm (pada perjalanan luar kota).
- Secara umum dapat dikatakan bahwa pada putaran yang relatif rendah maka penggunaan busi konvensional sudah cukup karena walaupun energi aktivasinya relatif lebih rendah sudah cukup untuk membakar campuran udara dan bahan bakar.
- Pada penggunaan kendaraan ke luar kota dimana umumnya motor bekerja pada putaran tinggi, maka penggunaan busi konvensional yang memberikan energi aktivasi yang kecil akan memberikan rambatan penyalaan yang lambat sehingga perlu pemajuan saat penyalaan dan akhirnya akan mengakibatkan kerja negatif yang relatif besar.
- Penggunaan busi dua elektrode dan tiga elektrode akan meningkatkan energi aktivasi yang akan mempercepat proses pembakaran dan akan menurunkan kerja

negatif mengingat pemajuan penyalaan yang dibutuhkan relatif lebih kecil.

6.2 Saran

- Dari data gas buang yang diperoleh sebaiknya penggunaan busi dua elektrode dan busi tiga elektrode digunakan dalam perjalanan luar kota, karena gas CO yang dihasilkan cukup besar, sehingga dapat dinetralisasi oleh udara bebas.

Daftar Pustaka

1. Crouse W.H., *Automotive Electric Equipment*, USA: McGrawHill Book Company Inc. 1958.
2. Schwaller AE., *Motor Automotive Mechanics*, New York : Delmar Publisher Inc. 1988.
3. Basuki S., *Perbandingan Penggunaan Busi Konvensional, Busi Elektrode Ganda dan Busi Mutu Elektrode Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah*, Skripsi, Jurusan Teknik Mesin UK. Petra, 1999.
4. Bosch, Robert, *Automotive Electric/Electric Systems*. Stuttgart: Robert Bosch GmbH. Postfach 50, D-7000, 1988.
5. Heywood, J.B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*. Singapore: McGraw Hill, 1988.
6. Tirtoatmodjo, R., *Penggerak Mula*. Universitas Kristen Petra, 1996.
7. H. Berenschot, *Benzinemotoren*. Netherland: Vam-Voorschoten Publisher Inc. 1980.
8. Young AP and Griffiths, *Automobile Electricity and Electronics Equipment-9th edition*. England : Butler and Tanner Ltd, Frome, Somerset. 1980.
9. Santini Al., *Automotive Electricity and Electronics*. New York: Delmar Publisher Inc. 1998.
10. Kristanto, P., *Sistem Pengaturan dan Pengukuran*. Universitas Kristen Petra, 1997.
11. Tiroatmodjo, R., *Teknik Pembakaran dan Bahan Bakar*, Universitas Kristen Petra, 1995.
12. Pujawan, N., *Ekonomi Teknik*. Jakarta : PT. Candimas Metropole, 1996.