

## ANALISA SISTEM BAHAN BAKAR INJEKSI PADA MESIN BENSIN MENGGUNAKAN SCAN TOOLS DAN GAS ANALYZER

Septa Pamungkas

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Mercubuana, Jakarta

**Abstrak** -- Dalam hal perbaikan kendaraan mesin modern banyak sekali fenomena kendaraan lama dikerjakan dibengkel karena permasalahan yang cukup komplek. Terkadang permasalahan belum tentu terbaca langsung oleh scan tools sehingga diperlukan analisa lebih lanjut. Penelitian dilakukan dalam upaya menemukan permasalahan yang tidak di deteksi oleh scan tools dan perlu analisa lebih lanjut. Dalam periode 2013-2014 didapat 3 kendaraan yang mengalami masalah tetapi tidak menimbulkan kode masalah yaitu Mercedes E 280 tahun 2008, BMW 745i tahun 2002 dan BMW 730 tahun 1996. Ketiganya mempunyai permasalahan yang hampir sama yaitu gangguan pada putaran idle. Pada Mercedes E 280 dianalisa menggunakan scan tools menunjukkan pengukuran laju massa udara 23,3 kg/h padahal pada kondisi mesin normal seharusnya 14,2 kg/h. Setelah di hitung hal ini menyebabkan  $\lambda = 1,79$  atau 79% lebih banyak, hal ini dikarenakan pengukur laju massa udaranya rusak. Pada mobil BMW 745i dianalisa menggunakan gas analyzer menunjukkan  $\lambda = 1,291$  dan untuk BMW 730i  $\lambda = 1,192$  yang disebabkan oleh kebocoran udara pada sistem pemasukan udara. Kesimpulannya beberapa permasalahan yang terjadi dan tidak menunjukkan kode kesalahan adalah permasalahan yang disebabkan karena pengukur laju massa udara dan kebocoran udara pada sistem pemasukan udara. Permasalahan ini timbul karena ada koreksi yang di lakukan oleh ECM setelah mendapat masukan dari oksigen sensor.

### 1. PENDAHULUAN

Saat ini kemajuan dalam bidang otomotif kian berkembang. Berbagai terobosan-terobosan dikembangkan serta diupayakan guna menciptakan sebuah mesin yang memiliki kemampuan yang besar dengan efisiensi yang tinggi dan juga ramah lingkungan untuk berbagai keperluan transportasi yang terus meningkat.

Salah satu alat transportasi yang banyak menjadi pilihan adalah mobil. Saat ini mobil telah menjadi lebih penting, mobil telah menjadi faktor penting dalam "kualitas hidup". Mobil berfungsi sebagai alat mobilitas pribadi, kadang-kadang menjadi status sosial bagi pemiliknya. Penggunaan mobil pribadi mungkin dirasakan lebih praktis dan efisien dari pada alat transportasi lainnya. Tetapi disisi lain penggunaan mobil memberikan pengaruh yang negatif terhadap konsumsi energi dan pencemaran gas pembakaran terhadap lingkungan sekitar. Guna meminimalisasikan penggunaan bahan bakar dan mengurangi kadar gas buang (emisi) yang dihasilkan oleh mesin mobil, industri-industri otomotif berusaha mengoptimalkan fungsi dari sistem kendaraan terutama pada sistem pencampuran bahan bakar dan udara yaitu dengan sistem bahan bakar injeksi.

Sistem bahan bakar injeksi merupakan salah satu sistem yang berfungsi untuk mensuplai campuran bahan bakar dan udara yang tepat kedalam silinder guna terjadinya pembakaran didalam mesin. Pembakaran terjadi karena tiga

komponen yang bereaksi, yaitu bahan bakar, oksigen dan panas. Jika salah satu komponen tersebut tidak ada maka tidak akan timbul reaksi pembakaran. Dengan menggunakan sistem bahan bakar injeksi diharapkan dapat menjamin perbandingan bahan bakar dan udara (*air fuel ratio*) yang baik ke mesin.

Perlu disadari juga bahwa merk kendaraan di dunia ini ada sangat banyak, dari dan tentu saja mempunyai teknologi sistem injeksi yang berbeda-beda, seperti *Electronic Fuel Injection (EFI)* dari Toyota dan Daihatsu, *Multi Point Injection (MPI)* dari Audi, PGM-FI dari Honda, *Motronic* dari BMW, dll. Dewasa ini, sistem bahan bakar injeksi di integrasikan dalam satu sistem dengan sistem pengapian, dan sekarang lebih sering di sebut *Engine Management System*.

*Engine Management System* dibagi ke dalam tiga sistem, yaitu sistem kontrol elektronik (*electronic control sistem*), sistem bahan bakar (*fuel system*), dan sistem pemasukan udara (*Air Induction System*). Dengan cukup banyaknya komponen sensor dan aktuator cukup sulit untuk dapat mendiagnosa kendaraan. Walaupun sudah banyak beredar peralatan diagnosa *scan tools* yang terjangkau, kadang kala tidak terlalu membantu apabila kita tidak dapat mengoptimalkannya. Banyak orang beranggapan dengan adanya *scan tools* permasalahan di kendaraan akan teratasi dengan mudah. *Scan tools* hanyalah alat bantu untuk menampilkan data yang disimpan dalam *control*

*modul*, tanpa memahami bagaimana sistem injeksi ini bekerja, teknisi belum tentu bisa menggunakan untuk mencari permasalahannya. Kurangnya pengetahuan dan panduan untuk mengoptimalkan *scan tools* ini yang menyebabkan diagnosa terkadang kurang tepat. Kadang kala teknisi hanya mengandalkan kebiasaan mencoba ganti komponen karena kode kesalahan yang ditunjukkan *scan tool*. Hal ini kemungkinan akan menimbulkan masalah baru apabila ternyata komponen tersebut tidak mengalami kerusakan, terlebih lagi komponen-komponen sistem bahan bakar injeksi relatif cukup mahal.

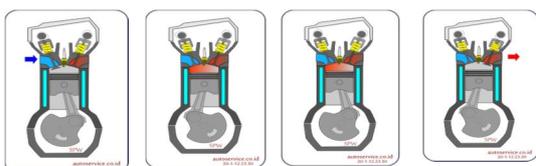
Sebagai contoh kasus mobil BMW 745i E65 N62 tahun 2002 mengalami masalah ketika mesin dingin terasa pincang, apabila sudah dinyalakan kurang lebih 10 menit dihidupkan, mesin normal, masuk ke bengkel pada September 2012 dan permasalahan ditemukan Januari 2013 dikarenakan permasalahan kebocoran udara yang tidak dapat dideteksi oleh *scan tools*.

Kasus ke dua adalah pada Mercedes E280 (W211) tahun 2008 dengan keluhan mesin pincang ketika masuk gigi. Ketika di periksa menggunakan *scantools* tidak menunjukkan kode kesalahan (*fault code*), selanjutnya dilakukan servis dan beberapa pemeriksaan yang lain yang cukup panjang, setelah dibaca data aktual menunjukkan sebuah keanehan pada salah satu data, sehingga dengan pengalaman membaca data yang dimiliki dapat memutuskan penggantian barang tersebut.

Dengan kompleksnya permasalahan yang ada pada mesin injeksi, kadang kala terdapat permasalahan mesin yang tidak dapat dideteksi oleh *scan tool*, umumnya adalah kerusakan mekanis atau karena kerusakan komponen belum terlalu parah. Untuk itu teknisi dapat menggunakan patokan dari hasil pembakaran. Gas hasil pembakaran dapat dibaca oleh *Gas Analyzer*, dari hasil pembacaan kita dapat mengerucutkan masalah yang ada sampai menemukan permasalahan yang sebenarnya.

## 2. DASAR TEORI

Mesin 4 Langkah Adalah mesin yang melakukan dua kali putaran poros engkol atau 4 kali langkah bolak balik piston untuk menghasilkan 1 kali usaha. Adapun siklus kerjanya adalah



Gambar Siklus Kerja 4 Tak

### 1. Langkah Hisap

Langkah hisap adalah langkah dimana campuran bahan bakar dan udara dihisap ke dalam silinder. Proses yang terjadi pada saat langkah hisap adalah katup buang tertutup, katup hisap terbuka, Piston bergerak dari Titik Mati Atas (TMA) ke Titik Mati Bawah (TMB). Gerakan torak menyebabkan ruang didalam silinder menjadi vakum, sehingga campuran bahan bakar dan udara masuk kedalam silinder.

### 2. Langkah Kompresi

Langkah kompresi adalah langkah dimana campuran bahan bakar dan udara dikompresikan atau ditekan di dalam silinder. Proses yang terjadi pada langkah kompresi adalah kedua katup tertutup, piston bergerak dari Titik Mati Bawah (TMB) ke Titik Mati Atas (TMA). Karena gerakan piston maka volume ruang bakar akan mengecil sehingga tekanan dan 39amper39ture campuran bahan bakar dan udara didalam silinder naik.

### 3. Langkah Usaha

Langkah usaha adalah langkah yang dihasilkannya kerja dari 39amper pembakaran campuran bahan bakar dan udara di dalam silinder. Posisi kedua katup tertutup, beberapa derajat sebelum TMA, spark plug akan memercikan bunga api sehingga campuran udara dan bahan bakar akan terbakar. Terjadinya pembakaran menyebabkan gas didalam silinder mengembang, tekanan dan 39amper39ture naik. Tekanan pembakaran mendorong piston bergerak ke TMB, gerakan inilah yang menjadi tenaga motor.

### Sistem Bahan Bakar Injeksi

Dibanding dengan karburator, *Engine Management System* mempunyai keuntungan sebagai berikut:

#### 1. Memungkinkan pembentukan campuran yang homogen pada setiap silinder

Oleh karena setiap silinder mempunyai satu injektor yang tepat dikontrol oleh ECM yang sesuai dengan putaran mesin dan perubahan beban, hal ini memungkinkan distribusi bahan bakar kesetiap silinder akan homogen. Selanjutnya perbandingan bahan bakar dan udara dapat dikontrol dengan mudah oleh ECM dengan merubah waktu bekerjanya injektor (*fuel injection duration*). Untuk ulasan ini, campuran

bahan bakar dan udara yang didistribusikan keseluruh silinder sama dan membentuk perbandingan bahan bakar dan udara optimal, kejadian di atas ini juga akan menguntungkan aspek emission control dan kemampuan tenaga mesin.

## 2. Perbandingan bahan bakar dan udara diperoleh pada setiap rpm mesin

Dengan sistem bahan bakar injeksi, pengiriman campuran bahan bakar dan udara akan berlangsung terus menerus dengan tepat dan pengiriman tersebut tidak tergantung pada kecepatan putaran mesin dan beban. Inilah yang merupakan keuntungan dari aspek *emission control* dan penghematan bahan bakar.

## 3. Respon yang baik sesuai dengan perubahan throttle

Dengan menggunakan sistem bahan bakar injeksi, masing-masing injektor dipasangkan didekat silinder, dan bahan bakar ditekan dengan tekanan 2-3 kg/cm<sup>2</sup> lebih tinggi dari tekanan intake manifold dan karena bahan bakar injeksi melalui lubang kecil sehingga mudah membentuk kabut. Oleh karena itu, volume bahan bakar yang diinjeksi secara serentak berubah dengan perubahan volume udara masuk sesuai dengan membukanya dan menutupnya throttle valve. Singkatnya, respon yang baik sesuai dengan perubahan posisi pedal akselerasi.

## 4. Koreksi campuran bahan bakar dan udara

Kemampuan untuk menghidupkan mesin pada temperatur rendah lebih baik, dikarenakan adanya informasi dari sensor temperatur air yang kemudian diolah oleh ECM sehingga ECM akan menyempatkan bahan bakar lebih lama.

Selama desakselerasi dan rpm tinggi sampai throttle tertutup volume udara yang masuk akan dikurangi dan kevacuman didalam intake manifold akan menjadi besar. Pada sistem bahan bakar injeksi saat *throttle valve* mulai menutup bahan bakar yang diinjeksi dihentikan sementara sampai batas rpm tertentu sehingga mengurangi konsumsi bahan bakar.

## 5. Efisiensi pemasukan campuran bahan bakar dan udara

Pada *Engine Management System* akan selalu digunakan tekanan bahan bakar sebesar 2-3 kg/cm<sup>2</sup> akan diperoleh pengaliran yang baik sehingga tidak diperlukan venturi. Juga manifold dapat dibuat lebih besar sehingga inersia udara

masuk dapat digunakan memasukkan campuran bahan bakar udara lebih banyak.

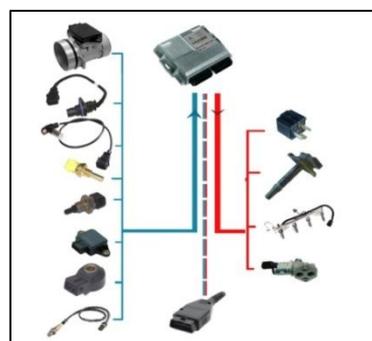
## 6. Pembakaran lebih tepat dan sempurna

Sistem pengapian juga diatur oleh ECM, Sensor mengirimkan beban mesin dan putaran mesin untuk memberi informasi *basic ignition timing point*.

## Sistem Bahan Bakar Injeksi Elektronik

Sistem Kontrol Elektronik terdiri dari beberapa sensor, yang mendeteksi beberapa kondisi mesin: ECM berfungsi untuk mengkalkulasi volume injeksi (lamanya injeksi) sesuai dengan signal-signal (data) dari sensor-sensor dan aktuator-aktuator, yang mengontrol injeksi bahan bakar berdasarkan signal-signal ECM.

Sensor-sensor ini mendeteksi volume udara masuk, beban mesin, temperatur udara dan pendingin, akselerasi/penurunan kecepatan (decelaration), dan mengirimkan signal-signal ke ECM. Kemudian ECM menentukan lamanya injeksi yang tepat dan mengirimkan signal ke injektor-injektor. Injektor-injektor menginjeksikan bahan bakar ke *intake manifold* sesuai dengan signal ini. Volume injeksi tergantung dari lamanya signal ECM. Blok diagram dari *electronic control system* dapat dilihat dari gambar dibawah.



Gambar 20. Engine Management System

Bagian ini menjelaskan beberapa komponen dan signal-signal,

- Sensor Pengukur Udara (MAP atau MAF)
- *Crankshaft Position Sensor*
- *Camshaft Position Sensor*
- *Water Temperatur Sensor*
- *Intake Air Temperatur Sensor*
- *Throttle Position Sensor*
- *Knock Sensor*
- *Lamda Sensor*

Berikut ini adalah fungsi dan kemampuan scan tools:

### 1. Membaca Kode kesalahan

Setiap komponen sensor dan actuator mengirimkan signal ke ECU dan ECU akan memproses kembali sinal tersebut sebagai indikasi bahwa komponen berjalan dengan baik. Apabila ada malfungsi dari komponen karena ada signal yang tidak sesuai, maka ECU akan mencatatnya didalam ROM dan akan menyalakan lampu *check engine*, dan membuat kode kesalahan. Kode kesalahan ini dapat di akses menggunakan scan tools

### 2. Menghapus kode kesalahan

Setelah melakukan proses perbaikan terhadap kerusakan, maka perlu menghapus kode kesalahan, agar ECM mengetahui bahwa sensor sudah beroperasi dengan baik.

### 3. Membaca Data Aktual

Data aktual adalah data yang ditampilkan oleh scanner tentang semua data komponen yang sedang berjalan. Contohnya adalah tampilan suhu mesin, putaran mesin, timing pengapian, dan lain-lain.

### 4. Actuation Test

*Actuation test* adalah proses untuk memerintah actuator melalui scan tools seperti membuka injector, dan komponen actuator yang lain, untuk memeriksa fungsional komponen

### 5. Workshop Support

*Workshop support* adalah menu proses untuk melakukan penyetulan kembali ke kondisi setelan pabrik, misalkan putaran idle, timing pengapian.

### 6. Adaptation

*Adaptation* adalah menu proses merubah nilai-nilai operasi dalam ECM, hal ini diperlukan apabila kondisi keausan komponen terjadi, atau terjadi penggantian komponen system lain seperti penggantian kunci, atau *instrument cluster*

### Gas Analyzer

*Gas analyzer* adalah peralatan yang mengukur kadar campuran gas buang pada kendaraan. Umumnya yang beredar di pasaran adalah *fourgas analyzer*, yaitu untuk mendeteksi CO, CO<sub>2</sub>, HC, dan O<sub>2</sub>. dan juga dapat menunjukkan λ.

### Parameter Unjuk Kerja Mesin

Pada motor bakar mempunyai unjuk kerja mesin yang berbeda-beda. Hal ini tergantung dari faktor yang bersangkutan dengan spesifikasi motor bakar torak itu sendiri, seperti; volume silinder, susunan silinder, panjang langkah torak (stroke),

sistem bahan bakar dan udara, sampai dengan kondisi lingkungan bahan bakar yang digunakan. Dalam evaluasi unjuk kerja mesin terdapat beberapa parameter utama yang perlu diperhatikan yang merupakan pengaruh dari kondisi. Parameter unjuk kerja mesin tersebut diantaranya:

1. Torsi
2. Daya mesin efektif
3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

### Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

*Specific Fuel Consumption* adalah jumlah pemakaian bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin yang menghasilkan daya satu dk selama satu jam. Sfc dapat dihitung dengan menggunakan rumus [3]:

$$Sfc = \frac{M_f}{W} \quad (2.2)$$

Dimana :

Sfc : Specific Fuel Consumption (kg/hp detik)

M<sub>f</sub> : Massa bahan bakar yang di konsumsi (kg) selama 1 jam

W : Luaran Daya (hp) atau BHP

Dalam sistem bahan bakar injeksi elektronik, bahan bakar disemprotkan melalui injektor dalam waktu tertentu di setiap langkah hisap ke masing-masing silinder. Dengan mengetahui sfc dan W maka akan dapat dicari ukuran injektor, hal tersebut dapat dicari dengan rumus [4]:

Fuel injector size (lbs/h) =

$$\frac{\text{Maksimum Horse Power} \times \text{BSFC}}{\text{number of injector} \times \text{Maximum fuel injector duty cycle}}$$

Dapat ditulis dengan

$$mf = \frac{W \cdot sfc}{n \cdot M} \quad (2.3)$$

dimana

mf: laju aliran bahan bakar (lbm/h)

W: Daya maksimum pada sebuah mesin (hp)

Sfc : Specific Fuel Consumption (lbm/hph)

Dalam hal ini sfc menggunakan 0,45-0,60 lbm/hph (0,2041166 – 0,2721554 kg/hph). Menggunakan 0,45-0,50 lbm/hph apabila mesin tanpa turbo, dan menggunakan 0,6 lbm/hph apabila mesin dengan turbocharger.

n: Jumlah injektor pada mesin

M : *Duty cycle* injektor yaitu lamanya waktu injeksi dibanding dengan tersedianya waktu (1 siklus 4 langkah) yang di nyatakan dalam persen. Menurut percobaan dari graham bell, *duty cycle* injektor (M) pada saat daya maksimum sekitar 60-70%.

“However, it will often be found during dynotesting that an engine will make best power with correctly phased sequential injection when duty cycle is 60-70%” [1].

### Campuran Udara dan Bahan Bakar untuk Mesin dengan Sistem Bahan Bakar Injeksi Elektronik

Pada sistem injeksi bahan bakar elektronik campuran udara dan bahan bakar diatur sekitar  $\lambda = 1$ , “Manifold-injection gasoline engine develop their maximum power output at 5...15% air deficiency ( $\lambda = 0,95...0,85$ ), and their lowest fuel consumption at 10...20% excess air ( $\lambda = 1,1...1,2$ .” [4]: hal 40. Hal tersebut dapat dilakukan dengan pengontrolan sistem umpan balik (*closed-loop*) “The air-fuel ratio can be maintained precisely at  $\lambda=1$  by means of lamda closed-loop control” [2]: hal 95) yang mana gas buang akan diukur oleh sensor dan selanjutnya ECM akan mengkoreksi penyemprotan bahan bakar sehingga dihasilkan  $\lambda=1$ . Untuk mencari campuran udara dan bahan bakar dapat menggunakan rumus [3]:

$$AFR = \frac{m_a}{m_f} \quad (2.4)$$

dimana

AFR : perbandingan udara dan bahan bakar

$m_a$  : laju alir massa udara (kg/s)

$m_f$  : laju alir massa bakar (kg/s)

Prosedur pengujian kendaraan dilakukan di bengkel Auto Service. Pengujian ini dilakukan untuk menganalisa kendaraan dengan sistem bahan bakar injeksi dengan *Scan Tools* atau *Gas Analyzer*.

### Pengujian Mesin Normal

Pengujian pertama menggunakan *Scan Tools* pada mesin normal yaitu pada Mercedes E 280 tahun 2008:

- Pasang *Scan tools* pada kendaraan
- Masuk ke masing-masing kendaraan dengan tepat
- Baca data aktual seperti pada saat mesin mengalami masalah yaitu idle dan posisi selektor transmisi pada posisi D (*drive*).

### Pengujian Mesin Bermasalah

Pengujian dengan *Scan Tools* atau *gas analyzer* pada kendaraan yang bermasalah yaitu pada mobil Mercedes, BMW dan BMW

Langkah pemeriksaan yang dilakukan adalah :

- Memeriksa keluhan
- Melakukan pemeriksaan dengan *Scan Tools*, untuk melihat apakah ada kode kesalahan (*fault code*)
- Karena tidak ada kode kesalahan maka dilanjutkan pemeriksaan data aktual
- Melihat data aktual dan membandingkan dengan yang seharusnya
- Selanjutnya apabila belum dapat mengambil kesimpulan, periksa dengan alat uji emisi.
- Membandingkan dengan data yang seharusnya dan mengambil kesimpulan.

Dalam hal emisi karena sudah ada spesifikasi standar, lebih baik di bandingkan dengan spesifikasi standar

### Hasil Pengujian Mobil Normal

4.1.1 Hasil Pemeriksaan pada Mercedes E280 tahun 2008 dengan kondisi mesin normal dan putaran idle

Tabel 4. Aktual data Mercedes E280 kondisi normal pada saat roda gigi transmisi posisi drive

No	Putaran Mesin (rpm)	Laju Udara (kg/h)	Waktu Injeksi (s)
1	612	14,2	0,0029
2	620	14,3	0,0030
3	612	14,2	0,0029
4	620	14,2	0,0030

### 4.2 Hasil Pemeriksaan pada mobil bermasalah menggunakan *Scan Tools* atau *Gas Analyzer*

4.2.1 Hasil Pemeriksaan pada Mercedes E280 tahun 2008 dengan kondisi mesin bermasalah, menurut keluhan pelanggan yaitu : Mesin pincang ketika idle setelah beberapa lama dan pada posisi roda gigi transmisi drive.

Tabel 5. Aktual data Mercedes E280 kondisi bermasalah

No	Putaran Mesin (rpm)	Laju udara (kg/h)	Waktu Injeksi (s)
1	614	23,3	0,0030
2	620	24,2	0,0032
3	614	23,3	0,0030
4	620	24,2	0,0032

4.2.2 Hasil Pemeriksaan pada BMW 745i E65 N62 tahun 2002 dengan kondisi mesin bermasalah, menurut keluhan pelanggan yaitu : Ketika dingin mesin pincang, kalau sudah kurang lebih 10 menit, mesin normal.

Pada mesin ini ketika diperiksa menggunakan *scan tools* tidak menunjukkan adanya kode kesalahan (*fault code*) dan ketika di baca data aktual tidak menunjukkan data. Sehingga dilanjutkan dengan pemeriksaan dengan gas analyzer

Tabel 6. Hasil Uji Emisi BMW 745i

No	Putaran mesin	CO %	HC ppm	CO <sub>2</sub> %	O <sup>2</sup> %	Λ
1	600 rpm	0,17	323	4,0	6,34	>1,3
2	600 rpm	0,42	565	5,7	3,38	1,288
3	600 rpm	0,21	421	4,5	4,25	1,291

4.2.3 Hasil Pemeriksaan pada BMW 730i E38 M60 tahun 1996 dengan kondisi mesin bermasalah, menurut keluhan pelanggan yaitu : Ketika dingin mesin pincang dan asap knalpot pedih dimata. Dalam kasus ini pemeriksaan langsung menggunakan *gas analyzer*

Tabel 7. Hasil Uji Emisi BMW 730i

No	Putaran Mesin	CO %	HC Ppm	CO <sub>2</sub> %	O <sub>2</sub> %	Λ
1	600 rpm	1,687	1168	11,38	5,98	1,192
2	600 rpm	0,299	925	10,71	5,40	1,261
3	600 rpm	0,296	756	10,78	5,43	1,273
4	600 rpm	0,260	1380	9,79	7,28	1,373

### 4.3 Perhitungan

Perhitungan untuk kendaraan Mercedes E280 tahun 2008 dengan kondisi mesin normal dan transmisi masuk gigi drive.

Pada sistem injeksi bahan bakar elektronik campuran udara dan bahan bakar diatur sekitar  $\lambda = 1$ , “ *Manifold-injection gasoline engine develop their maximum power output at 5...15% air deficiency ( $\lambda = 0,95...0,85$ ), and their lowest fuel consumption at 10...20% excess air ( $\lambda = 1,1...1,2$ ).*” [4].

Diketahui kendaraan Mercedes E 280 tahun 2008 pada putaran idle adalah 612 rpm dan pengukuran laju massa udara menunjukkan 14,2 kg/h dan lamanya injeksi bahan bakar setiap siklus adalah 0,0029 s maka dapat dicari perbandingan campuran udara dan bahan bakar.

Perhitungan kemampuan maksimum injektor menyemprotkan bahan bakar berdasarkan rumus 2.3 yaitu diketahui

$$W = 228 \text{ Hp pada putaran mesin } 6000 \text{ rpm}$$

$$Sfc = 0,45-0,5 \text{ lbs/Hp.h untuk mesin normal } 0,6 \text{ lbs/Hp.h untuk mesin dengan turbo}$$

$$n = 6 \text{ silinder}$$

$$M = 60\%$$

Menurut percobaan dari graham bell, *duty cycle* injektor (M) pada saat daya maksimum sekitar 60-70%. Maka dapat dihitung kemampuan injektor mengalirkan bahan bakar dalam 1 detik adalah

$$mf = \frac{228 \text{ hp} \times 0,5 \frac{\text{lbm}}{\text{hp.h}}}{6 \times 0,6}$$

$$mf = 31,67 \text{ lbm/h}$$

diketahui 1 lbm = 0,453 kg jadi

$$mf = 31,67 \text{ lbm/h} \times 0,453 = 14,36375 \text{ kg/h}$$

Jadi kemampuan injektor dalam menyemprotkan bahan bakar pada tekanan spesifikasi adalah 14,36375 kg/h = 3,98993 g/s.

Apabila putaran mesin 612 rpm dengan lama penyemprotan bahan bakar setiap siklus kerja mesin adalah 0,0029 detik maka massa bahan bakar yang disemprotkan adalah

$$3,98993 \text{ g/s} \times 0,0029 = 0,01157 \text{ g}$$

Berikutnya untuk mengetahui massa udara adalah mengetahui berapa banyak siklus per silinder yang terjadi pada mesin.

$$N^* = \frac{\text{putaran /detik}}{\text{dua}}, \text{ untuk mesin 4 langkah}$$

Jadi dengan putaran mesin 612 rpm jumlah siklus per silindernya adalah

$$N^* = \frac{612}{2 \times 60} = 5.1 \text{ siklus 4 langkah dalam 1 detik.}$$

Dan selanjutnya harus dicari berapa lama langkah hisap yang dilakukan

$$t = \frac{1}{5.1} = 0,196 \text{ s dalam 1 siklus 4 langkah}$$

$$t \text{ hisap} = 0,196 \text{ s} : 4 = 0,049 \text{ s}$$

seperti diketahui pengukuran laju massa udara yang terukur dalam 14,2 kg/h maka harus dicari banyaknya udara yang dihisap dalam 0,049 s

diketahui

$$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$$

$$\text{Maka } (14,2 \times 1000) : 3600 = 3,94 \text{ g/s}$$

Dan untuk 1 langkah hisap dapat dihitung

$$3,94 \text{ g/s} \times 0,049 \text{ s} = 0,193355 \text{ g}$$

Jadi perbandingan bahan bakar dan udara menurut rumus 2.4 dapat dihitung, yaitu

$$AFR = \frac{0,01157g}{0,193 \ 3 \ 55g} = \frac{1}{16,71}$$

$$\lambda = \frac{16,71}{14,7} = 1,14$$

Tabel 8. Hasil perhitungan  $\lambda$  dari mesin mercedes E280 dengan kondisi normal

No	Putaran Mesin (rpm)	Laju Udara (kg/h)	Waktu Injeksi (s)	$\lambda$
1	612	14,2	0,0029	1,14
2	620	14,3	0,0030	1.09
3	612	14,2	0,0029	1.14
4	620	14,2	0,0030	1.08

Tabel 9. Hasil perhitungan  $\lambda$  dari mesin mercedes E280 dengan kondisi bermasalah

No	Putaran Mesin (rpm)	Laju Udara (kg/h)	Waktu Injeksi (s)	$\lambda$
1	614	23,3	0,0030	1,79
2	620	24,2	0,0032	1,73
3	614	23,3	0,0030	1,79
4	620	24,2	0,0032	1,73

Jadi  $\lambda$  pada mesin bermasalah =1,79 atau 79 % lebih banyak dari teoritis dan campuran sangat kurus. Hal ini akan dibaca oleh oksigen sensor yang terdapat di saluran buang yang berfungsi untuk membaca kadar oksigen yang terdapat pada gas buang. Karena oksigen 80% lebih banyak maka informasi di kirimkan ke ECM dalam bentuk tegangan. Selanjutnya ECM akan mengkoreksi lamanya injeksi bahan bakar menjadi lebih lama. Hanya saja koreksi ini dibatasi untuk putaran idle adalah 0,001-0,003 detik (didapat dari data aktual yang ditampilkan *scan tools Star Diagnose Mercedes*). Apabila dilihat lamanya injeksi bahan bakar pada mobil Mercedes E280 yang bermasalah ini sudah 0,003 detik. Jadi tidak mungkin ditambah 80% lebih lama menjadi sekitar 0,0054 detik. Hal ini yang menyebabkan putaran mesin pada saat idle dan selektor pada posisi D bermasalah. Penyebabnya adalah input dari pengukur udara (*Air Mass Sensor*) yang salah. Karena dalam hal ini mesin Mercedes E 280 sudah menggunakan sistem injeksi elektronik tipe *Motronic* yang di buat oleh BOSCH dan menggunakan pengukur udara (*Air Mass Sensor*) tipe *hot film* maka sudah tidak memungkinkan dilakukannya penyetelan baik secara manual maupun dengan merubah program

ECM. Setelah pengukur udara (*Air Mass Sensor*) diganti, mobil ini kembali normal

#### 4.4 Analisa Hasil Uji Emisi Gas Buang

Pada sistem injeksi bahan bakar elektronik campuran udara dan bahan bakar diatur sekitar  $\lambda = 1$ , "*Manifold-injection gasoline engine develop their maximum power output at 5...15% air deficiency ( $\lambda = 0,95...0,85$ ), and their lowest fuel consumption at 10...20% excess air ( $\lambda = 1,1...1,2$ ).*" [4].

Secara teoritis perbandingan udara dan bahan bakar adalah 14,7:1

Dan dalam diagnosa dengan *gas analyzer* , perlu dengan bantuan pertanyaan yang meliputi :

- Apa keluhannya
- Kejadian /pembacaan emisi pada putaran berapa
- Kemungkinan komponen yang menyebabkan kasus emisi

##### 4.4.1 BMW 745i

Tabel 10. Hasil pengukuran emisi dibandingkan standart pada BMW 745i

Pembacaan	Standar	Bermasalah	Keterangan
CO (%)	0,2	0,17-0,42	Relatif sama
HC (ppm)	100	323 – 421	Naik
CO2 (%)	14,5 – 16	4,0 - 5,7	Turun
O2 (%)	0,1 - 0,5	3,38 - 6,34	Naik
$\lambda$	1.0	1,291 - 1,300	Kurus

$$\lambda = \frac{AFR \text{ Sebenarnya}}{\text{Campuran Teoritis}} =$$

$$1,291 = \frac{AFR \text{ Sebenarnya}}{14,7} =$$

$$AFR = 1,2 \times 14,7 = 18,98$$

Pada mobil BMW 745i N62

- Keluhanya adalah  
Ketika dingin mesin pincang, kalau sudah kurang lebih 10 menit, mesin normal.
- Pemeriksaan dilakukan pada saat idle sesuai keluhan
- Kemungkinan komponen yang menyebabkannya adalah :  
Apabila dilihat dari kasus diatas terlihat  $\lambda$  lebih dari 1,2 itu berarti campuran kurus (kekurangan udara) dan ketika  $\lambda$  lebih dari 1,2 apabila dilihat dari grafik hubungan AFR maka
  - CO akan cenderung sama atau turun sedikit
  - HC Cenderung naik
  - CO2 akan mengecil
  - O2 akan naik

Hal ini dapat disebabkan oleh kebocoran udara pada saluran udara masuk. Dan hal ini tidak dapat terdeteksi oleh ECU sehingga tidak dapat menimbulkan kode kesalahan (*fault code*).

Pemeriksaan kebocoran udara dapat dilakukan dengan menyemprotkan cairan *carb cleaner* yang ke setiap bagian sistem pemasukan. Apabila terdapat kebocoran ditandai dengan penunjukan emisi akan mendekati normal (CO, HC, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, λ).

Pada BMW 745i kebocoran udara dikarenakan lemahnya pegas pada *Crankcase Venting System* yang berfungsi untuk ventilasi udara dari ruang poros engkol ke saluran masuk udara sehingga terjadi penambahan udara palsu ke dalam sistem injeksi elektronik yang tidak di baca oleh pengukur udara. Hasil pembakaran di baca oleh sensor oksigen yang mengukur kadar oksigen dari emisi gas buang dalam hal ini menunjukkan 80% lebih banyak, sehingga ECM menerima dua informasi yang berbeda yang menyebabkan permasalahan terjadi

#### 4.4.2 BMW 730i

Tabel 11. Hasil pengukuran emisi dibandingkan standart pada BMW 730i

Pembacaan	Standar	Bermasalah	Keterangan
CO (%)	0,5 – 1,5	0,260 – 1,687	Relatif sama
HC (ppm)	100	756 – 1168	Naik
CO <sub>2</sub> (%)	14,5 – 16	9,79 – 11,38	Turun
O <sub>2</sub> (%)	0,1 - 0,5	5, 40 – 7,28	Naik
λ	0,97-1,03	1,192 – 1,373	Kurus

$$\lambda = \frac{AFR \text{ Sebenarnya}}{\text{Campuran Teoritis}} =$$

$$1,192 = \frac{AFR \text{ Sebenarnya}}{14,7} =$$

$$AFR = 1,2 \times 14,7 = 17,52$$

1. Keluhan pada BMW 745i N62 adalah Ketika dingin mesin pincang, dan asap knalpot pedih dimata
2. Pemeriksaan dilakukan pada saat idle sesuai keluhan
3. Kemungkinan komponen yang menyebabkannya adalah :  
Apabila dilihat dari kasus diatas terlihat λ sekitar 1,2 itu berarti campuran kurus (kekurangan udara) dan ketika λ sekitar 1,2 apabila dilihat dari grafik hubungan AFR maka
  - a. CO akan cenderung sama atau turun sedikit
  - b. HC Cenderung naik
  - c. CO<sub>2</sub> akan mengecil
  - d. O<sub>2</sub> akan naik

Pada BMW 730i kebocoran terletak pada saluran masuk udara yang terbuat dari plastik. Secara kasus mirip dengan mobil BMW 745i diatas, tetapi penyebab masalahnya berbeda.

#### 5.1 Kesimpulan

1. Permasalahan pada kendaraan dengan sistem bahan bakar injeksi yang tidak dapat dideteksi oleh *scan tool* dalam penelitian ini dikarenakan penyimpangan masukan dari sensor pemasukan udara, putaran mesin dan waktu penyemprotan bahan bakar.. Hal ini dapat dianalisa dengan membandingkan data yang ditampilkan *scan tools* dan *gas analyzer* antara mesin normal dan mesin bermasalah.
2. Horst Bauer, 2004. *Gasoline-Engine Management*, Robert Bosch Gmbh, Germany
3. Loekman Satibi, Irfan Purnawan dan Lisa Nazifah, 2013. *Mesin Penggerak Utama (Prime Mover)*, raha Ilmu, Yogyakarta

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Graham Bell, 1998. *Four Stroke Performing Tuning*, Hynerss Publishing, Sparkford, California
2. Robert G. Wagoner, 2012. *Turbocharging Normally Aspirated Endines on a Budget*, Lulu Enterprises.Inc, USA