



Artikel

Mengenal Lebih Dekat

Oxygen Sensor



Aku Bisa!
seri Ototronik

Rosyid W. Zatmiko

DISCLAIMER

Artikel ini bukan murni karangan penulis. Isi dalam artikel ini merupakan gabungan beberapa materi dari literatur/referensi relevan yang tercantum dalam daftar pustaka. Silakan menggunakan artikel ini sebaik-baiknya dalam rangka menambah ilmu dan wawasan. Artikel ini jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kami menerima kritik dan saran yang membangun. Terima kasih atas perhatiannya.

Rosyid W. Zاتمiko

roshyuza46@gmail.com

rosyidwz.wordpress.com

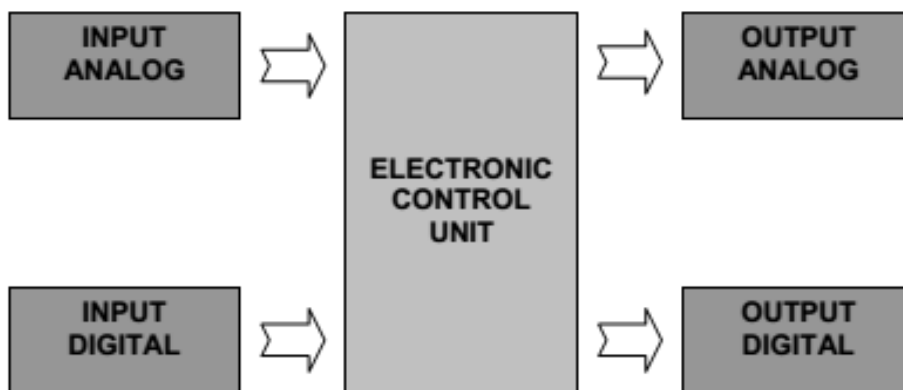
Tahun 2014 – tidak dipublikasikan.

A. Pengertian Sistem Injeksi Elektronik

Sistem injeksi elektronik atau *electronic fuel injection (EFI)* adalah sistem kontrol bahan bakar yang dikembangkan dari sistem bahan bakar konvensional yakni sistem karburator. Sistem injeksi elektronik adalah sebuah sistem penyemprotan bahan bakar yang dikontrol secara elektronik untuk mendapatkan nilai campuran bahan bakar dan udara yang sesuai dengan keadaan dan kebutuhan mesin, sehingga didapatkan daya motor yang optimal dan gas buang yang ramah lingkungan serta penggunaan bahan bakar yang efisien. EFI dipakai oleh merek Toyota, sedangkan merek lain mempunyai nama yang berbeda misalnya PGM-FI (*Programmed Fuel Injection*) pada Honda, EPI (*Electronic Petrol Injection*) pada Suzuki, EGI (*Electronic Gasoline Injection*) pada Mazda, *Jetronik* oleh Bosch, Multec (*Multi Technology*) pada General Motor dan lain sebagainya akan tetapi prinsip kerja dari semua sistem tersebut adalah sama.

Sistem yang digunakan pada *electronic fuel injection* terbagi atas sensor-sensor dan *actuator*. Sensor merupakan komponen informan atau pemberi informasi tentang kondisi mesin yang berkaitan dengan penentuan jumlah bahan bakar yang harus diinjeksikan pada mesin. Pemberian sinyal dapat berupa sinyal analog maupun digital. Sensor yang mengirim informasi dalam bentuk analog misalnya TPS (*Throttle Position Sensor*) dan MAF (*Mass Air Sensor*). *Actuator* adalah komponen yang menerima perintah dari ECU (*Electronic Control Unit*) dalam bentuk digital maupun analog. Pemberian perintah berupa analog misalnya pada pompa bensin elektrik dan lampu kontrol (*check engine*). Sedangkan perintah berupa sinyal digital diberikan pada injektor, koil pengapian, pengatur *idle*, sensor oksigen, dan soket diagnosa.

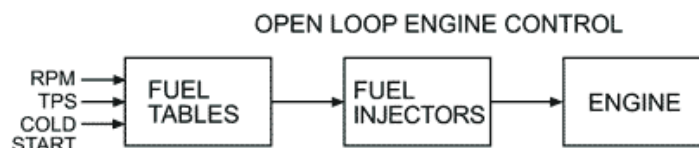
Bila dibandingkan dengan sistem konvensional (karburator) , sistem EFI mempunyai kelebihan yakni pembentukan campuran bahan bakar dengan udara yang homogen, komposisi campuran udara dan bahan bakar yang lebih akurat sesuai dengan kondisi mesin sehingga lebih irit bahan bakar, akselerasi yang lebih responsif, pembakaran yang lebih sempurna, emisi gas buang lebih rendah sehingga lebih ramah lingkungan, daya dan tenaga yang dihasilkan lebih optimal, terdapat *fault code indicator* sehingga mempermudah pemeriksaan dan perbaikan pada gangguan atau kerusakan sistem.



Gambar 1. Prinsip Kerja Sistem *EFI*

B. Sistem Kontrol Injeksi Elektronik

Berdasarkan alur sistem kontrol, sistem injeksi elektronik dibagi menjadi dua jenis, yakni sistem injeksi *closed-loop* dan *open-loop*. Sistem injeksi *open loop* adalah sistem injeksi dengan kontrol yang terbuka, dimana *output* tidak mempunyai pengaruh terhadap aksi kontrol. Artinya, *output* pada sistem injeksi *open loop* tidak dapat digunakan sebagai umpan balik dalam *input*. Sedangkan sistem injeksi *closed loop* adalah sistem injeksi dengan sistem kontrol dengan sinyal *output* yang dapat mempengaruhi langsung pada aksi kontrol. Sistem injeksi *closed loop* juga disebut sistem kontrol berumpan balik.



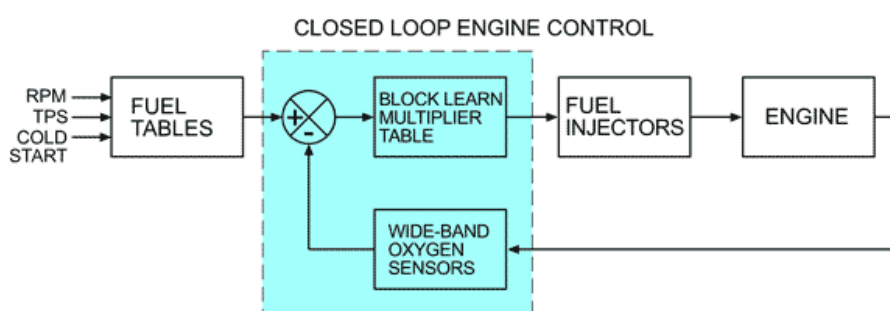
Gambar 2. Sistem Kontrol *Open Loop*

1. Sistem Kontrol Open Loop

Dalam sistem *open loop*, tidak terdapat umpan balik dari hasil pembakaran kepada ECU. Dalam hal ini, tidak terdapat pemantauan atau pengukuran gas buang untuk melihat bagaimana kondisi kesempurnaan pembakaran dalam mesin. Bahan bakar yang diinjeksikan telah ditentukan oleh *input* yang masuk ke ECU, misalnya oleh putaran mesin dan posisi *throttle*, bahan bakar disemprotkan oleh injektor dengan panjang *pulse* menurut *fuel maps* yang tersimpan pada ECU, panjang *pulse* dapat berubah sesuai dengan kondisi lingkungan yakni suhu udara, tekanan udara, dan suhu mesin. Alur kerja pada sistem *open loop* ditunjukkan pada Gambar 2.

2. Sistem Kontrol Closed Loop

Sistem injeksi *closed loop* adalah sistem dengan kontrol yang mempunyai umpan balik (*feedback*) dari hasil pembakaran kepada ECU. Dalam hal ini, terdapat pemantauan atau pengukuran gas buang untuk melihat kinerja mesin. Pengukuran ini dilakukan oleh *probe* yang menghasilkan tegangan dinamik sesuai perubahan kondisi yakni gas di sekitarnya. *Probe* atau sensor ini disebut dengan sensor oksigen, sensor lambda, sensor O₂, sensor *exhaust gas*, dan beberapa nama lain tetapi pada dasarnya mempunyai prinsip kerja yang sama. Alur kerja sistem *closed loop* ditunjukkan pada Gambar 3.



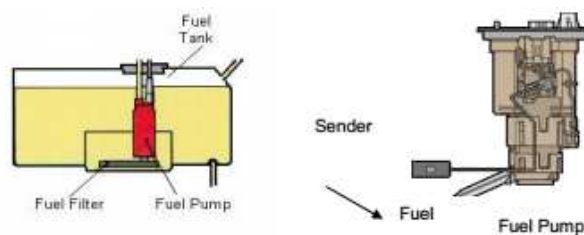
Gambar 3. Sistem Kontrol *Closed Loop*

C. Komponen Sistem Injeksi Elektronik

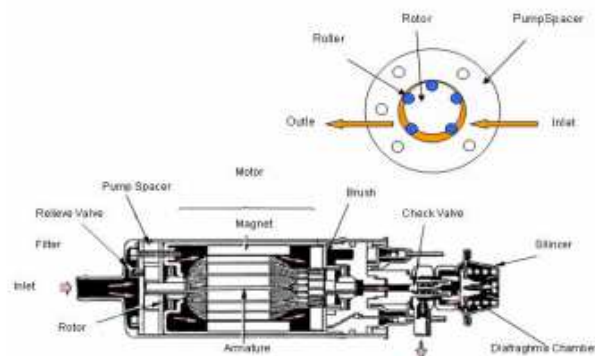
Komponen dalam sistem injeksi elektronik terdiri dari komponen *input*, unit kontrol dan komponen *output*. Berikut ini adalah macam-macam komponen yang terdapat pada sistem injeksi elektronik secara umum:

1. Pompa Bahan Bakar

Pompa bahan bakar yang biasa digunakan pada mesin dengan sistem EFI adalah pompa bahan bakar elektrik yang berfungsi untuk menghisap bahan bakar dari tangki dan menyalurkannya pada sistem injektor dengan tekanan tertentu. Jenis pompa bahan bakar yang umum digunakan adalah pompa tipe *in-tank* dan tipe *in-line*. Tipe *in-tank* adalah pompa bahan bakar yang berada di dalam tangki bahan bakar dan terendam bahan bakar. Sedangkan tipe *in-line* adalah pompa bahan bakar yang berada di luar tangki bahan bakar. Kinerja dari pompa bahan bakar dikontrol oleh ECU. Jika transistor pada ECU pada kondisi mati maka arus listrik tidak mengalir ke massa sehingga *relay* pompa dalam kondisi mati, akibatnya arus listrik dari baterai tidak mengalir ke pompa dan pompa tidak dapat bekerja.



Gb. Pompa Bensin Type In Tank

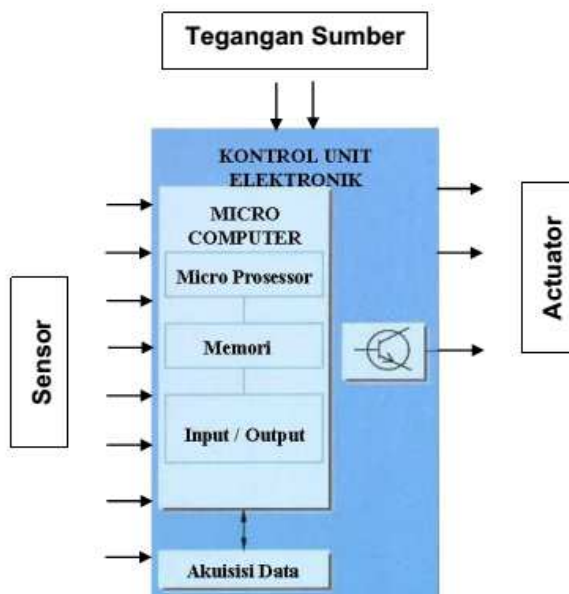


Gb. Pompa Bensin Type In line

Gambar 4. Pompa Bahan Bakar

2. Electronic Control Unit (ECU)

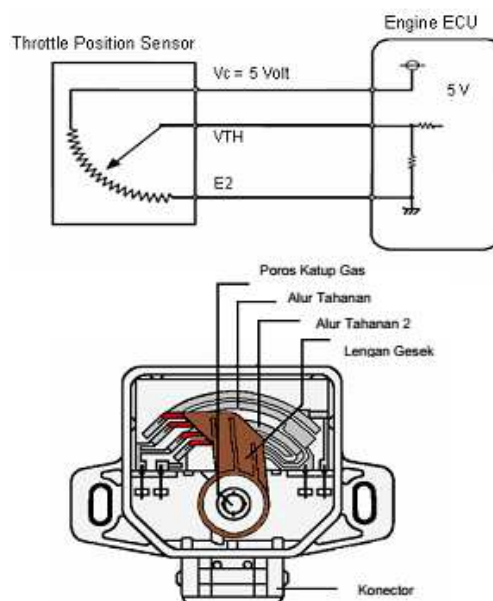
ECU merupakan komponen sistem injeksi elektronik yang menerima dan mengolah sinyal listrik dari sensor untuk selanjutnya diubah menjadi garis perintah kepada komponen aktuator. ECU mendapat tegangan listrik dari baterai, yang selanjutnya akan dialirkan pada sensor dan aktuator yang disesuaikan besarnya tegangan dengan kapasitas dan spesifikasi sensor maupun aktuator. ECU terdiri dari beberapa bagian di antaranya adalah mikroprosesor, memori, *input*, akuisisi data, dan *output*. Mikroprosesor adalah pengatur jalannya perintah dan mengambil keputusan data yang telah diolah berdasarkan informasi dari data yang tersimpan pada memori. Memori adalah penyimpan data-data *input* yang siap diinformasikan ke mikroprosesor. *Input* adalah pemberi informasi berupa sinyal listrik untuk diproses oleh mikroprosesor. Akuisisi data adalah pembeda data-data yang telah diproses oleh mikroprosesor untuk kemudian diinformasikan ke *output*. *Output* adalah pemberi perintah pada komponen aktuator berdasarkan pengolahan data *input*.



Gambar 5. Prinsip Kerja ECU

3. Throttle Position Sensor (TPS)

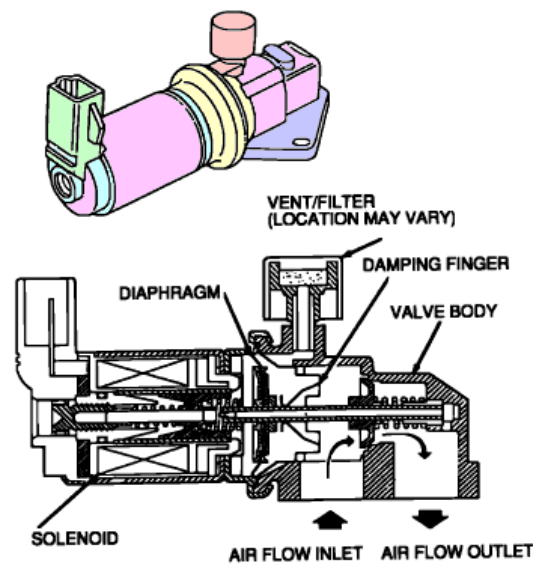
TPS adalah sensor yang berfungsi untuk mendeteksi besarnya pembukaan katup gas. Gerakan katup gas akan menggerakkan *slider* atau lengan gesek yang akan mempengaruhi besarnya nilai tahanan yang dibentuk sebagai informasi ke ECU untuk menentukan banyak sedikitnya bahan bakar yang diinjeksikan. Sensor TPS ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. *Throttle Position Sensor*

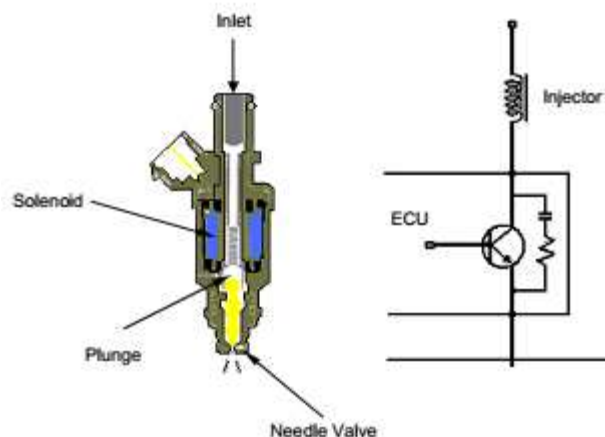
4. Idle Speed Control Valve

Idle speed control valve difungsikan untuk mengatur besarnya udara yang diberikan saat putaran *idle*. *Idle speed control valve* dipasang pada sisi bagian bawah *throttle chamber*. ECU hanya mengoperasikan katup ISC untuk membuat *idle-up* dan memberikan umpan balik untuk mencapai target putaran *idling*.



Gambar 7. *Idle Speed Control Valve*

5. Injektor



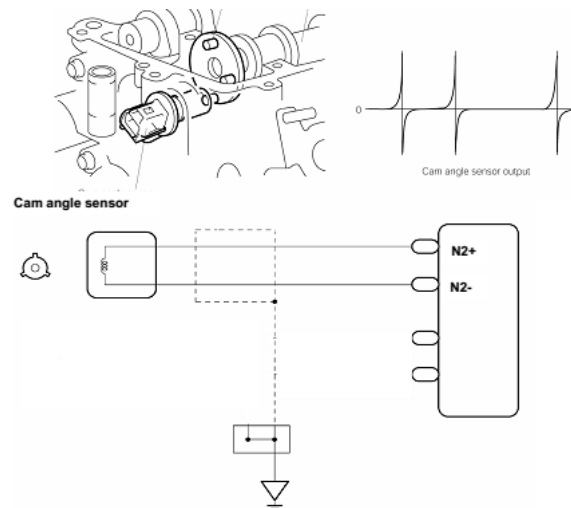
Gambar 8. Injektor

Injektor adalah salah satu bagian sistem injeksi elektronik yang berfungsi mengkabutkan bahan bakar agar terjadi proses pencampuran yang homogen antara udara dan bahan bakar. Injektor dilengkapi dengan *plunger* yang akan membuka dan menutup saluran bahan bakar dan kerja plunger tersebut

dikontrol oleh *solenoid* yang mendapatkan instruksi dari ECU. Bahan bakar akan keluar lebih banyak apabila waktu pembukaan plunger lebih lama dan sebaliknya. Pengaturan banyak dan sedikitnya bahan bakar yang diinjeksikan tergantung dari sinyal yang dikirim oleh ECU.

6. Camshaft Position Sensor

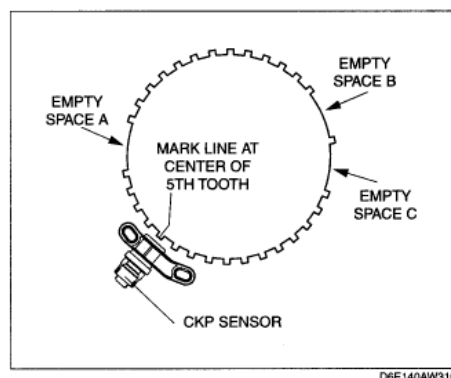
Sensor sudut *cam* dipasang pada sisi samping atas kepala silinder, dimana sensor ini akan mendeteksi setiap perubahan derajat pergerakan *camshaft*. Sensor ini erat kaitannya dengan pergerakan katup-katup. Dari sinyal sensor ini akan dijadikan dasar pertimbangan ECU untuk memulai saat penginjeksian dan akhir dari penginjeksian bahan bakar.



Gambar 9. *Camshaft Position Sensor*

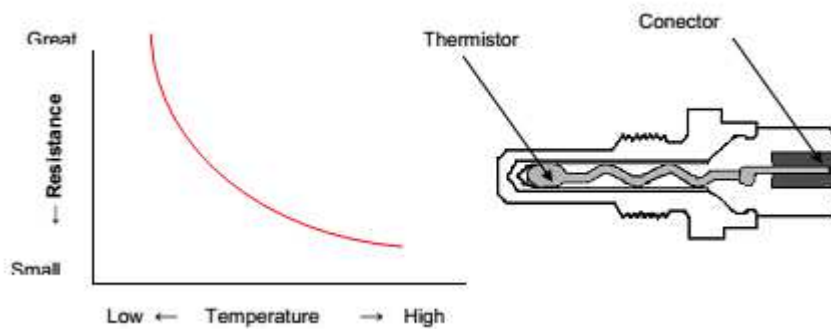
7. Crank Angle Sensor

Crank angle sensor mendeteksi putaran mesin dan mendeteksi posisi piston tiap silinder. *Crank angle sensor* berfungsi sebagai bahan pertimbangan ECU untuk mengontrol waktu pengapian.



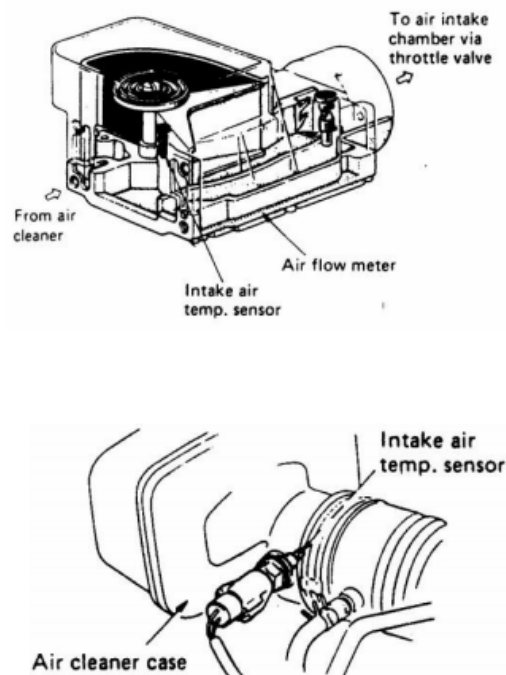
Gambar 10. *Crankshaft Position Sensor*

8. Temperature Sensor



Gambar 11. *Temperature Sensor*

Temperature sensor berfungsi untuk mendeteksi kondisi suhu mesin. Sensor ini pada umumnya difungsikan pada suhu air pendingin radiator. Sensor ini umumnya terletak pada blok mesin atau rumah termostat. Sensor ini akan bekerja dengan perubahan nilai resistansi akibat tinggi rendahnya suhu air pendingin. Semakin tinggi suhu air pendingin maka semakin rendah resistansinya.



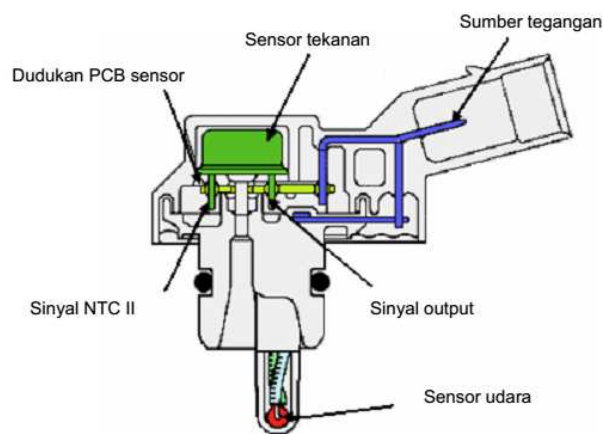
Gambar 12. *Intake Air Temperature*

9. Intake Air Temperature Sensor

Sensor temperatur udara masuk mendeteksi suhu udara yang masuk. Sensor tersebut dilengkapi dengan *thermister* dan diletakkan di dalam *air flow meter*. Sensor temperatur udara diletakkan pada kotak saringan udara (*air cleaner case*) atau pada *intake air chamber*. Volume dan kepadatan udara berubah sesuai dengan berubahnya temperatur udara. Oleh karena itu meskipun volume udara yang diukur *air flow meter* kemungkinan sama, tetapi jumlah injeksi bahan bakar akan berubah – ubah sesuai dengan berubahnya temperatur. Pada temperatur di bawah 20°C bahan bakar yang diinjeksikan bertambah, dan di atas 20°C berkurang. Dengan demikian perbandingan udara dan bahan bakar dijamin ketepatannya meskipun temperaturnya berubah.

10. Pressure Sensor

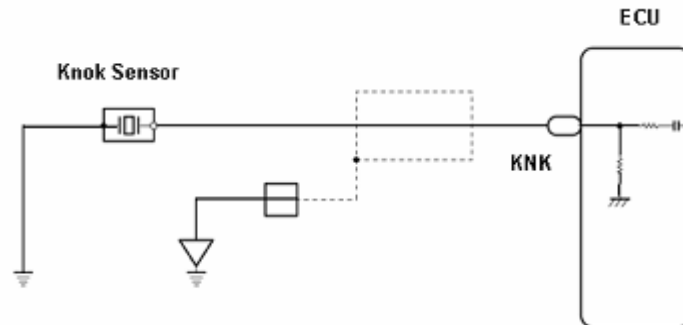
Pressure sensor berfungsi untuk mengukur tekanan udara pada *intake manifold*. Besar kecilnya tekanan pada *intake* akan diinformasikan pada ECU sebagai *input* analog. *Pressure sensor* umumnya dipasang pada *intake chamber*.



Gambar 13. *Pressure Sensor*

11. Knocking Sensor

Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi gejala *knocking* pada mesin. Ketika terjadi *knocking* atau detonasi maka ECU akan menyesuaikan pengapian dengan cara memajukan atau mengundurkan waktu pengapian.

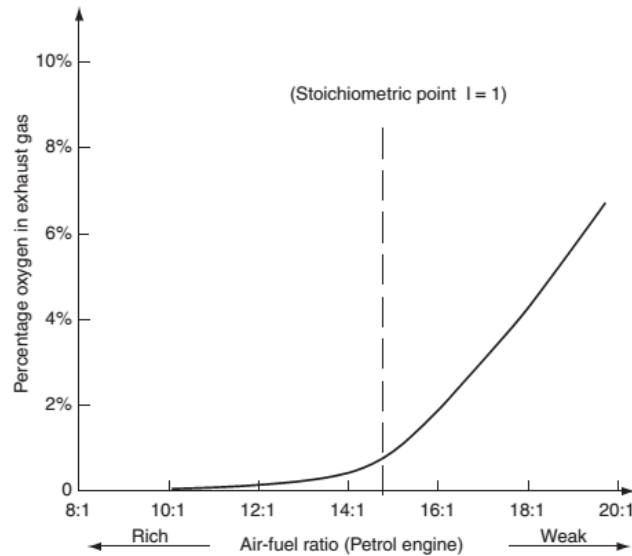


Gambar 14. Rangkaian *Knocking Sensor*

D. *Exhaust Gas Oxygen Sensor*

Exhaust Gas Oxygen (EGO) Sensor adalah sensor yang berfungsi mengukur kadar gas oksigen yang terdapat pada gas buang. Sensor ini bertujuan untuk menjaga nilai *Air Fuel Ratio* (AFR) mendekati nilai ideal yakni 15:1. Sensor ini akan mengirim informasi jumlah oksigen pada gas buang pada ECU (*Electronic Control Unit*) untuk mengukur tingkat kesempurnaan pembakaran. Jika pembakaran belum sempurna, maka ECU akan mengkoreksi dan mengubah data perintah pada aktuator agar pembakaran menjadi lebih sempurna.

Dalam rangka untuk menjaga katalis emisi gas buang beroperasi dengan benar, *air-fuel ratio* harus dijaga mendekati nilai 15:1 (perbandingan massa), dan sensor EGO inilah yang membantu ECU untuk menjaga *air-fuel ratio* pada batas yang ditentukan. Sensor EGO memonitor kadar oksigen secara konstan dan begitu pula *air-fuel ratio* di intake mesin, karena persentase oksigen dalam gas buang merupakan ukuran akurat dari *air-fuel ratio* yang masuk silinder mesin. Gambar 3.15 menunjukkan relasi antara kadar oksigen pada gas buang dan *air-fuel ratio* campuran yang memasuki ruang bakar pada mesin.

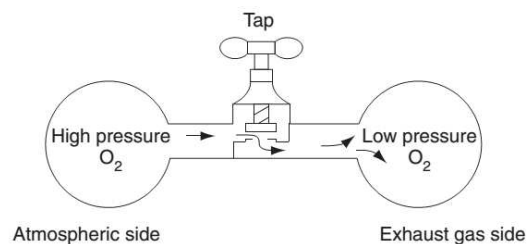


Gambar 15. Grafik Perbandingan Oksigen dalam Knalpot dengan *Air-fuel Ratio*

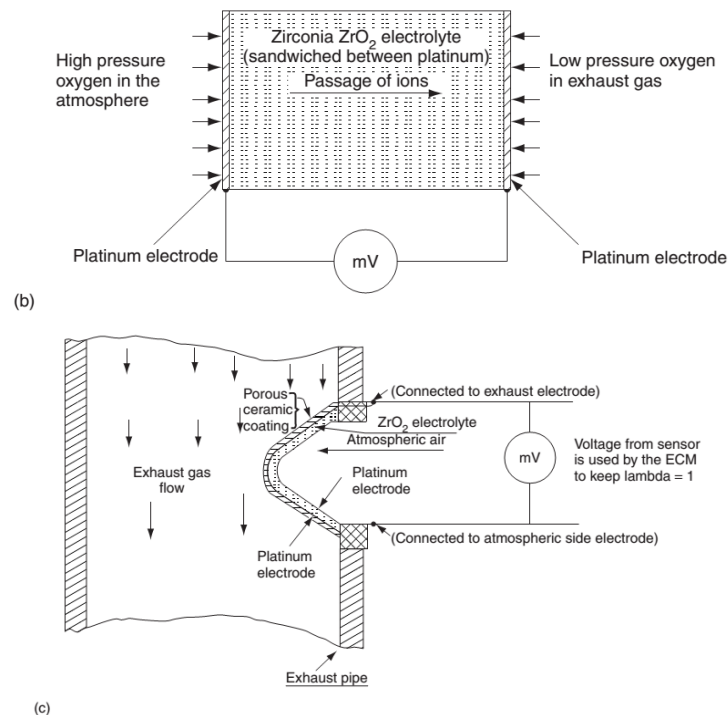
Informasi berupa tegangan listrik dari EGO sensor diberikan pada ECU sehingga jumlah bahan bakar yang diinjeksikan pada mesin dapat berubah untuk mendapatkan nilai *air-fuel ratio* yang stabil dan mendekati ideal. Pada umumnya, *air-fuel ratio* yang menghasilkan pembakaran sempurna secara kimiawi dinyatakan sebagai $\lambda = 1$. Jika campuran kaya, maka λ kurang dari 1 (sekitar $\lambda = 0.97$), dan jika campuran miskin maka λ lebih besar dari 1 (sekitar $\lambda = 1.03$). Oleh karena itu, EGO sensor juga sering disebut dengan λ sensor.

$$\lambda = \frac{AFR \text{ sebenarnya}}{AFR \text{ sempurna secara kimiawi}}$$

Terdapat dua macam EGO sensor yang sering digunakan yakni prinsip *voltaic cell* (contohnya *chemo-voltaic*) dan lainnya yakni prinsip resistansi listrik pada material yang peka terhadap oksigen (contohnya *chemo-resistive*).



(a)



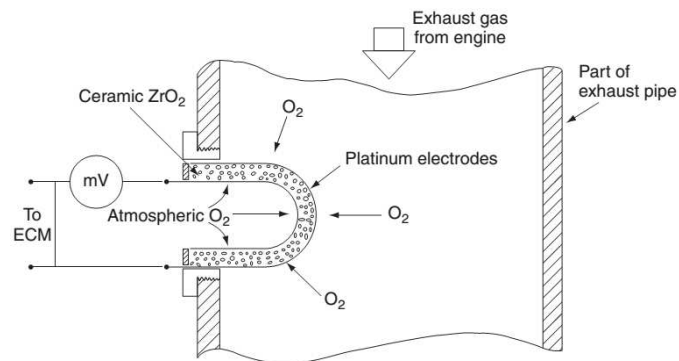
Gambar 16. Sensor EGO sebagai sebuah *Voltaic Cell*

1. Tipe *Voltaic*

Voltaic, atau Zirconia (ZrO_2) adalah salah satu jenis sensor oksigen yang bekerja berdasarkan perbedaan antara tekanan parsial oksigen dari udara atmosfer dengan tekanan parsial dari oksigen dalam gas buang. Pada ketinggian di atas laut, udara atmosfer mengandung kurang lebih 21% oksigen dalam massa, dan mempunyai tekanan parsial kurang lebih 0,2 bar. Kandungan oksigen dalam gas buang bervariasi antara nol pada campuran kaya hingga sekitar 10% pada campuran miskin seperti ditunjukkan pada Gambar 3.15. Tekanan parsial oksigen dalam gas buang bervariasi antara nol hingga sekitar 0.01 bar.

Gambar 3.16 menunjukkan bahwa elemen sensor sesungguhnya adalah sebuah sel (baterai). Plat terbuat dari platinum dan mempunyai lapisan keramik zirconia di antaranya yang berfungsi sebagai elektrolit. Plat platinum berfungsi sebagai katalis untuk oksigen yang bersentuhan dengannya, dan juga digunakan untuk menyalurkan listrik keluar dari sensor. Proses katalisasi terjadi ketika oksigen bersentuhan dengan plat platinum yang menyebabkan pergerakan ion oksigen melalui elektrolit dan hal ini menimbulkan arus listrik

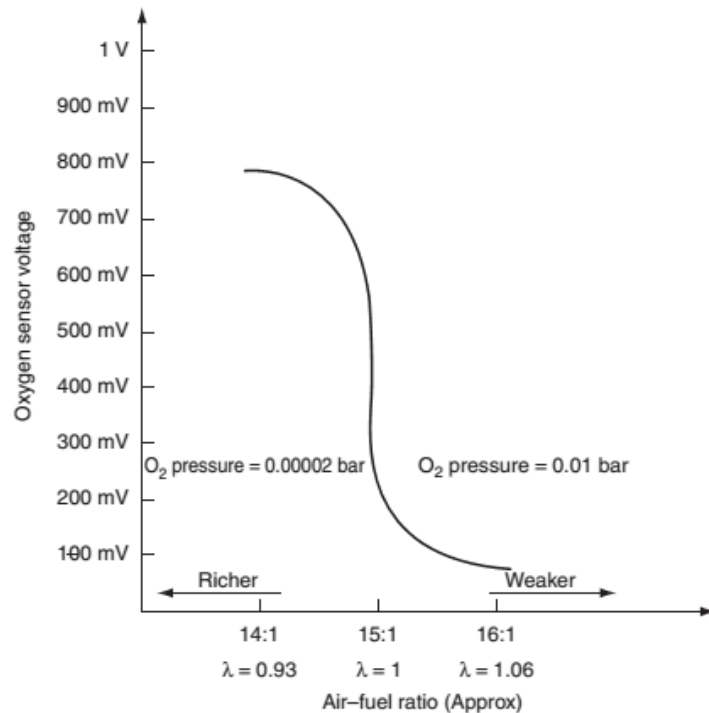
yang menyebabkan peningkatan voltase sensor. Voltase sensor adalah sebuah representasi akurat dari kadar oksigen dalam gas buang.



Gambar 17. Representasi Diagram pada Sensor Oksigen dalam Pipa Knalpot

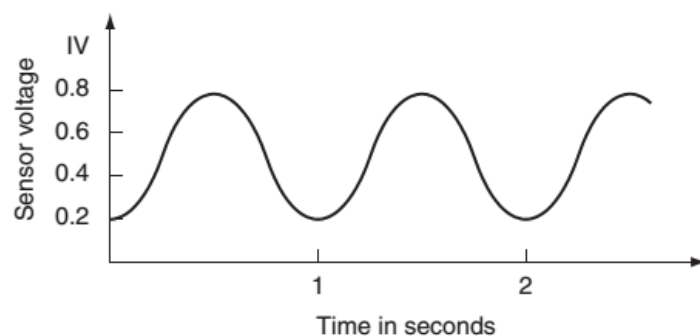
Dalam praktiknya elemen sensor dibentuk dalam sebuah bentuk tudung seperti pada Gambar 17. Konstruksi seperti ini menjadikan luas platinum menjadi maksimal untuk gas buang pada satu sisi dan udara atmosfer pada sisi yang lain. Platinum yang terbuka pada gas buang ditutupi dengan sebuah material keramik berpori. Hal ini memungkinkan oksigen dapat melewati platinum sekaligus melindungi platinum dari kontaminasi berbahaya dalam produksi gas pembuangan.

Semakin besar perbedaan antara kadar oksigen dengan udara atmosfer maka semakin besar pula voltase yang dihasilkan EGO sensor. Ketika *air-fuel ratio* berubah dari kaya (misalkan 14:1 atau $\lambda=0,93$) menjadi miskin (16:1 atau $\lambda=1,06$), terdapat perubahan yang signifikan pada tekanan parsial oksigen dari gas buang dan hal ini menyebabkan perubahan langkah dalam voltase EGO sensor karena elektrolit keramik (zirconia) sangat sensitif dengan kadar oksigen seperti ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Perubahan pada Voltase Sensor sebagai Perubahan pada AFR

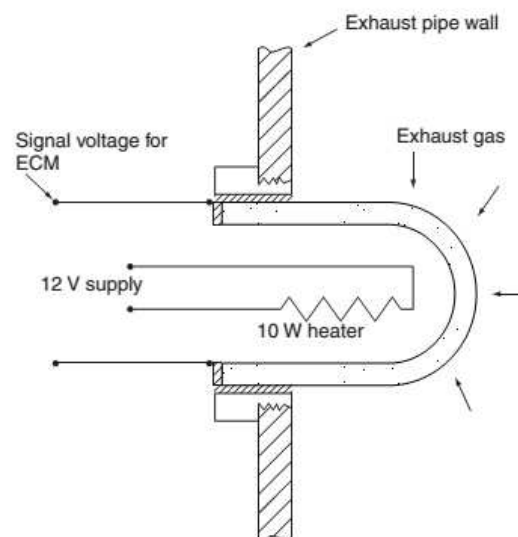
Perubahan mendadak pada voltase sensor ini digunakan untuk memicu tindakan oleh ECU, yang akan mengubah penyemprotan bahan bakar, untuk menjaga nilai $\lambda = 1$ (air-fuel ratio yang benar secara kimiawi). Hasil dari tindakan ini adalah bahwa siklus output EGO sensor naik dan turun pada frekuensi yang memastikan bahwa mesin berjalan lancar dan katalis knalpot berfungsi dengan baik. Frekuensi nyata ditentukan oleh program yang dirancang dalam ROM (*Read Only Memory*) pada ECU. Semua ini berarti bahwa EGO sensor tipe *voltic* menghasilkan sebuah tipe standar *output* yang dapat diukur menggunakan peralatan yang tersedia untuk memperbaiki kendaraan.



Gambar 19. Bentuk Gelombang Voltase pada sebuah Sensor EGO

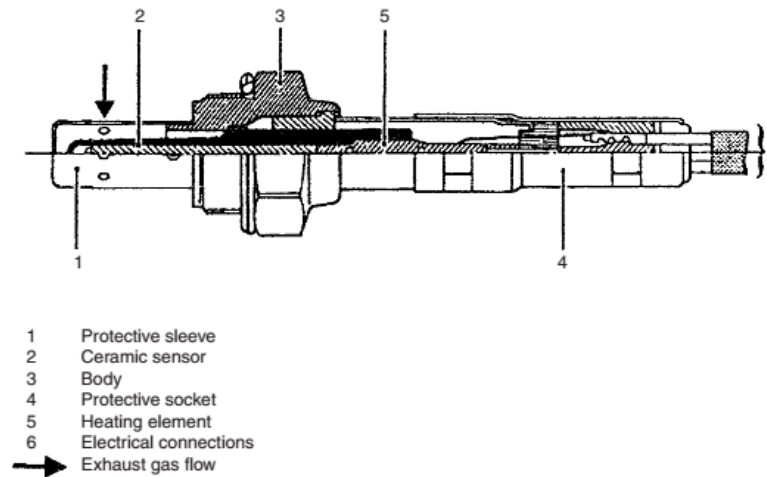
Perkiraan bentuk gelombang voltase dari EGO Sensor ketika beroperasi ditunjukkan pada Gambar 19. Bentuk gelombang muncul dari cara saat ECU mengubah jumlah bahan bakar yang diinjeksikan misalnya ketika menurunkan dan menaikkan jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, dengan cara memerintahkan, untuk menjaga *air-fuel ratio* yang dibutuhkan dalam batas tertentu. Hal ini berarti bahwa waktu periode antara puncak dan lembah (frekuensi) dari bentuk gelombang akan bervariasi sesuai dengan kecepatan mesin. Waktu periode ini juga akan bervariasi sesuai dengan tipe injeksi, baik *single-point injection* atau *multi-point injection*. Tipe bentuk gelombang yang ditunjukkan dapat diharapkan dari sensor oksigen yang berfungsi baik.

Kinerja dari sensor oksigen bergantung pada temperaturnya. Sensor membutuhkan temperatur sekitar 250°C sebelum berfungsi dengan baik. Untuk membantu sensor mencapai suhu yang dibutuhkan secara cepat dan tepat, dari awalan yang dingin, hal ini lebih praktis dengan cara melengkapi sensor dengan sebuah elemen pemanas tipe resistif seperti pada Gambar 20.



Gambar 20. Elemen Pemanas Tipe Resistif

Hal ini berarti bahwa sensor oksigen pada umumnya akan berfungsi dengan empat kabel: kabel sinyal, dan massa untuk elemen sensor, dan sebuah kabel arus dan massa untuk elemen pemanas. Sensor jenis ini dikenal sebagai *heated exhaust gas oxygen sensor* (HEGO) seperti pada Gambar 21.

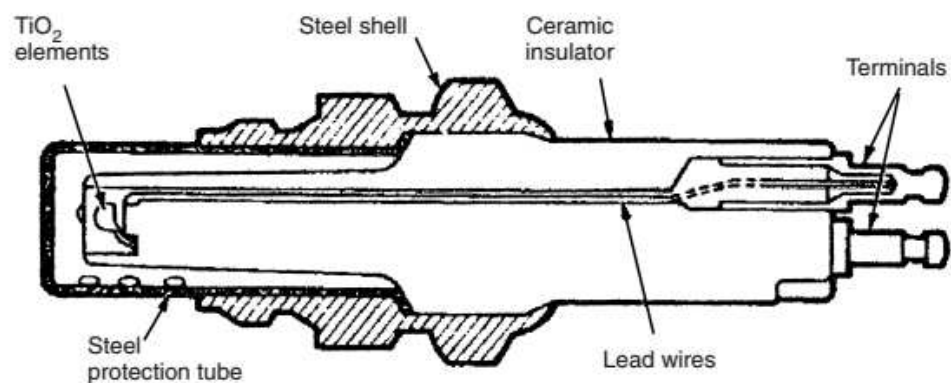


Gambar 21. Sebuah *Heated Exhaust Gas Oxygen Sensor* (HEGO)

Perlu dipahami bahwa EGO Sensor merupakan bagian dari sistem *feedback* atau *closed loop*. Jika hal ini diputus maka sistem akan berhenti berfungsi dengan benar. Oleh karena itu, hal ini harus diuji ketika sistem beroperasi baik saat mesin dipanaskan maupun berjalan normal. Ketika sistem beroperasi dengan benar *output* sensor EGO bervariasi antara sekitar 200 mV dan 800 mV, dan perkiraan bentuk gelombang ditunjukkan pada Gambar 19.

2. Tipe Resistif

EGO sensor *voltaic* tipe Zirconia dikenal lambat dalam beroperasi dan kemudian telah diklaim bahwa EGO sensor tipe titanium oksid (titania) mempunyai respon yang lebih cepat, oleh karena itu tipe titanium lebih baik untuk mesin dalam penggunaan kontrol emisi (Gambar 22).



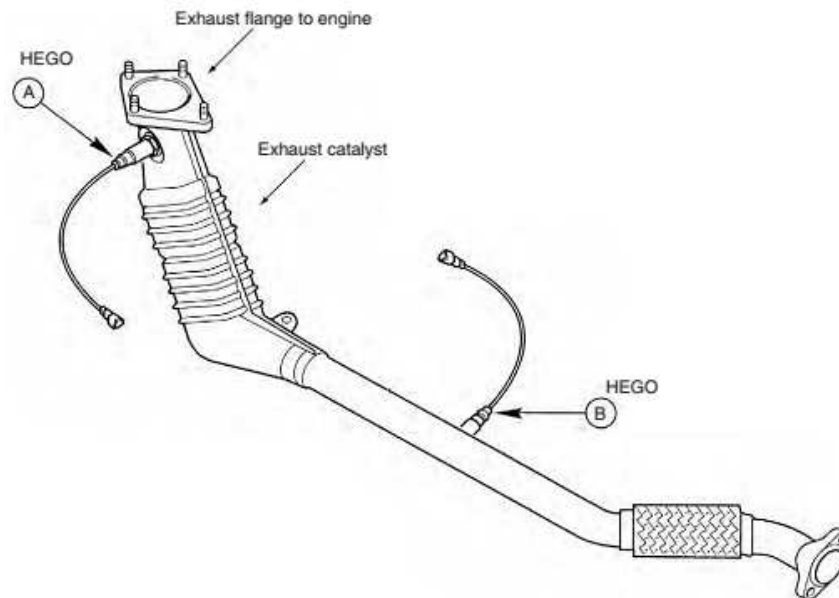
Gambar 22. EGO Sensor tipe *Titanium Dioxide* (Titania)

Sensor titania bereaksi terhadap perubahan tekanan parsial oksigen dalam gas buang. Perubahan konsentrasi oksigen dalam gas buang menyebabkan perubahan resistansi pada material sensor. Ketika sensor disuplai dengan voltase yang telah diatur dari *control unit*, variasi arus yang melalui elemen sensor menimbulkan sebuah indikasi dari kandungan oksigen dalam gas buang. Dalam elemen sensor, titania sebenarnya adalah sebuah semikonduktor dimana terjadinya resistansi disebabkan oleh konsentrasi oksigen yang bereaksi dengannya. Reaksi yang terjadi menyebabkan timbulnya resistansi pada elemen sensor dan resultan voltase sensor adalah indikator yang akurat pada tekanan parsial dari oksigen dalam gas buang. Perbedaan utama antara sensor jenis ini dengan sensor *voltaic* adalah tingkat voltase sensor yang lebih tinggi dan terdapat voltase rendah untuk campuran kaya serta voltase tinggi untuk campuran miskin.

Pada daerah kritis, dimana *air-fuel ratio* sempurna secara kimiawi ($\lambda = 1$), terdapat perubahan yang nyata dalam resistansi elemen sensor yang mengarah ke sana menghasilkan sebuah bentuk gelombang yang mirip dengan sensor Zirconia, kecuali bahwa tegangan yang melewati sensor mungkin lebih tinggi. Nilai sebenarnya tergantung pada tegangan yang diterapkan pada sensor.

E. Catalytic Converter On-board Monitoring

OBD (*On-board Diagnostic*) II USA dan peraturan Eropa di masa yang akan datang mengharuskan bahwa sistem emisi kendaraan dilengkapi dengan fasilitas sebuah *warning lamp* (*Malfunction Indicator Lamp* atau MIL) untuk memantau dan menerangkan bahwa *catalytic converter* bekerja dengan baik. Untuk memenuhi kebutuhan ini dengan praktis, para insinyur merancang sistem kontrol dengan memasang sensor oksigen kedua yang terletak setelah *catalyst* pada aliran suatu saluran knalpot, seperti pada gambar.



Gambar 23. Sensor Oksigen *Downstream* yang Memonitor Kinerja Katalis

Pada Gambar 23 , titik A merupakan oksigen di hulu yang berada di sisi mesin dari katalis. Ini adalah sensor yang memberikan sinyal umpan balik pada ECU yang digunakan untuk mengontrol *air-fuel ratio* dalam batas yang diperlukan. Sensor kedua pada B mengirim sinyal pada ECU yang digunakan untuk menentukan tingkat efisiensi katalis. Amplitudo voltase dari sensor kedua ini adalah kunci utama untuk menilai efisiensi katalis. Seiring dengan pertambahan usia katalis, kerusakan, bahan bakar yang salah dan gangguan lainnya, sensor kedua ini akan meningkat amplitudo voltasenya.

DAFTAR PUSTAKA

Bonnick, Allan. (2001). *Automotive Computer Controlled Systems: diagnostic tools and techniques*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Ruswid. (2008). *Modul 4: Electronic Fuel Injection*. Brebes: SMK AL-Hikmah Sirampog.