

## BAB II

### KAJIAN TEORI

#### 2.1. Kajian Pustaka

Ali Imron (2013) dalam tugas akhir yang berjudul *troubleshooting* sistem EPI (*Electronic Petrol Injection*) pada mesin Suzuki Carry Futura 1.5 G15A menjelaskan prinsip kerja EPI (*Electronic Petrol Injection*) Suzuki Carry Futura G15A sama dengan prinsip kerja EFI yaitu sistem yang digunakan pada *electronic fuel injection* yang terdiri atas sensor-sensor dan *actuator* serta ECM sebagai otaknya. Mendeteksi gangguan atau masalah yang terjadi pada Suzuki Carry Futura G15A saat terjadi kerusakan (*Trouble*) pada salah satu sistem EPI seperti : kerusakan sensor dan *actuator* (kabel putus/kendor atau hubungan singkat). Mengatasi masalah atau gangguan yang ada pada Sistem EPI Suzuki Carry Futura 1.5 G15A dengan cara memeriksa setiap komponen, sensor ataupun *actuator*. Untuk pemeriksaan dapat menggunakan *Scan Tool* maupun tanpa *Scan Tool*.

Teguh Riyadi (2011) dalam judul tugas akhir *troubleshooting* sistem bahan bakar isuzu panther 4JA1-l menjelaskan bahwa sistem bahan bakar berfungsi untuk melayani kebutuhan bahan bakar selama mesin diesel bekerja. Pada sistem bahan bakar mesin diesel, bahan bakar dihisap oleh *feed pump* dari tangki bahan bakar. Sebelum ke *feed pump* bahan bakar melewati saringan bahan bakar untuk disaring dan dipisahkan dari kandungan air oleh *water sedimenter*. Setelah bahan bakar di dalam rumah pompa injeksi, pompa injeksi mengalirkan bahan bakar ke nosel injeksi dengan tekanan tinggi dan terjadi pengabutan sehingga bahan bakar

akan terbakar. Bahan bakar yang tidak ikut diinjeksikan akan kembali ke tangki bahan bakar. Gangguan pada mesin diesel lebih kecil dibandingkan gangguan pada mesin bensin. Gangguan yang timbul pada mesin diesel sering disebabkan karena gangguan pada sistem bahan bakarnya terutama pada pompa injeksi dan nosel Injeksi. Gangguan yang dapat terjadi pada sistem bahan bakar isuzu panther 4JA1-l dapat dirasakan dengan gejala-gejala mesin susah dihidupkan, mesin dapat hidup kemudian mati kembali, daya mesin rendah, asap terlalu banyak, mesin terdengar bunyi ketukan (*knocking*), dan putaran mesin sukar diatur

## **2.2. Motor Bakar**

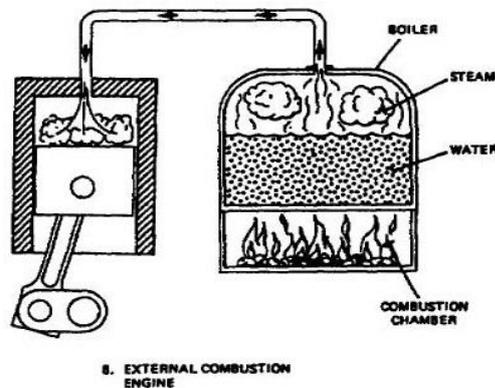
Seperti kita ketahui roda-roda suatu kendaraan memerlukan adanya tenaga luar yang memungkinkan kendaraan dapat bergerak serta dapat mengatasi keadaan, jalan, udara, dan sebagainya. Sumber dari luar yang menghasilkan tenaga disebut motor. Motor merupakan alat yang merubah sumber tenaga panas, listrik, *Air*, angin, tenaga atom, atau sumber tenaga lainnya menjadi tenaga mekanik (*mechanical energy*). Sedangkan motor yang merubah tenaga panas menjadi tenaga mekanik disebut motor bakar (*thermal Engine*).

Motor bakar adalah pesawat yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik, yaitu dengan cara merubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas, dan menggunakan energi tersebut untuk melakukan kerja mekanik. Energi termal diperoleh dari pembakaran bahan bakar pada motor itu sendiri. Jika ditinjau dari cara memperoleh energi termal ini (proses pembakaran bahan bakar), maka motor bakar dapat dibagi menjadi 2 golongan

yaitu : motor pembakaran luar (*external combustion Engine*) dan motor pembakaran dalam (*internal combustion Engine*) (Hidayat,2012:14).

### 2.2.1. Motor Pembakaran Luar (*External Combustion Engine*)

Pada motor pembakaran luar ini, proses pembakaran bahan bakar terjadi di luar motor itu, sehingga untuk melaksanakan pembakaran digunakan motor tersendiri.

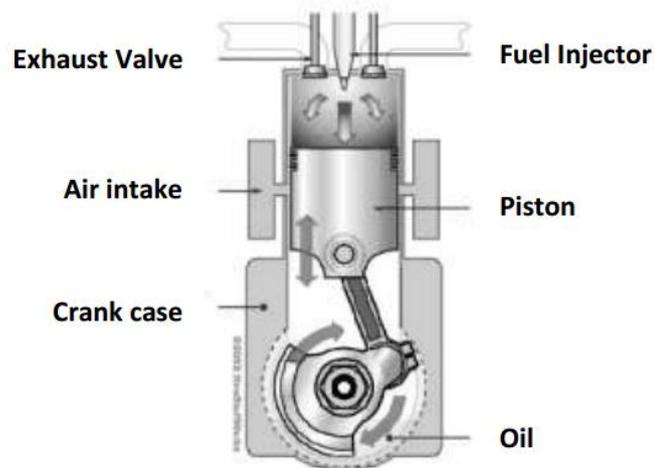


Gambar 2.1. *External Combustion Engine* (Hidayat,2012:14)

Panas dari hasil pembakaran bahan bakar tidak langsung diubah menjadi tenaga gerak, tetapi terlebih dahulu melalui media penghantar, baru kemudian diubah menjadi tenaga mekanik. Misalnya pada ketel uap dan turbin uap. Berbeda dengan mesin pembakaran dalam, dimana panas masukan adalah dengan pembakaran bahan bakar di dalam tubuh fluida kerja, mesin pembakaran luar membutuhkan sumber panas hasil pembakaran dari bahan bakar karena produk-produk pembakaran tidak bercampur dengan fluida kerja. Umumnya fluida kerja adalah udara, helium atau hidrogen. Dalam sistem terjadi siklus tertutup, dalam operasi normal mesin di segel dan tidak ada gas masuk atau meninggalkan mesin. (Hidayat,2012:14)

### 2.2.2. Motor Pembakaran Dalam (*Internal Combustion Engine*)

Pada motor pembakaran dalam, proses pembakaran bahan bakar terjadi di dalam motor itu sendiri, sehingga panas dari hasil pembakaran langsung bisa diubah menjadi tenaga mekanik. Misalnya pada turbin gas dan motor bakar torak.



Gambar 2.2. *Internal Combustion Engine* (Hidayat,2012:14)

Motor yang tenaganya digunakan pada sepeda motor harus kompak, ringan dan mudah ditempatkan pada ruangan yang terbatas. Selain itu motor harus dapat menghasilkan kecepatan yang tinggi dan tenaga yang besar, mudah dioperasikan dan sedikit menimbulkan bunyi. Oleh sebab itu, motor bensin dan diesel umumnya lebih banyak digunakan pada kendaraan.

Menurut cara kerjanya, motor pembakaran dalam ada 2 macam:

1. Motor 4 langkah (4-tak)

Motor 4-tak dalam satu siklus kerjanya terdiri dari empat tahap (langkah), yaitu langkah hisap, tekan, usaha / ekspansi, dan buang yang diselesaikan dalam dua putaran crankshaft.

## 2. Motor 2 langkah (2-tak)

Jika motor 4 tak memerlukan 2 putaran crankshaft dalam satu siklus kerjanya, maka untuk motor 2-tak hanya memerlukan satu putaran saja. Hal ini berarti dalam satu siklus kerja 2 tak hanya terdiri dari 1 kali gerakan naik dan 1 gerakan turun dari piston saja.

### 2.3. Prinsip Kerja Motor 4 Langkah

Motor empat langkah ialah motor yang setiap siklus kerjanya diselesaikan dalam empat kali gerak bolak-balik langkah piston atau dua kali putaran poros engkol. Langkah piston adalah gerak piston tertinggi atau TMA sampai yang terendah TMB. Sedangkan siklus kerja adalah rangkaian proses yang dilakukan oleh gerak bolak-balik piston yang membentuk rangkaian siklus tertutup (Hidayat,2012:14).

Pada motor bensin empat langkah terdapat empat langkah kerja piston yaitu langkah hisap, langkah kompresi, langkah usaha, dan langkah buang. Berikut akan dibahas langkah dari piston. Dalam motor bensin, campuran udara dan bahan bakar dihisap ke dalam silinder, kemudian dikompresikan oleh torak saat bergerak naik. Bila campuran udara dan bahan bakar terbakar dengan adanya percikan api dari busi yang panas sekali, maka akan menghasilkan tekanan gas pembakaran yang besar dalam silinder. Tekanan gas pembakaran ini mendorong torak ke bawah, yang menggerakkan torak turun naik dengan bebas di dalam silinder. Dari gerak lurus (naik turun) torak dirubah menjadi gerak putar pada poros engkol (*camshaft*) melalui batang torak (*connecting rod*). Gerak putar inilah yang menghasilkan tenaga pada sepeda motor.(Arends, 1980).

Posisi tertinggi yang dicapai oleh torak dalam silinder disebut titik mati atas (TMA), dan posisi terendah yang dicapai torak disebut titik mati bawah (TMB). Jarak Bergeraknya torak antara TMA dan TMB disebut langkah torak (*stroke*). Proses menghisap campuran bensin dan udara ke dalam silinder, mengkompresikan, membakarnya dan mengeluarkan gas bekas dari silinder, disebut satu siklus. (Arends, 1980).

#### 1. Langkah Hisap

Pada langkah ini, campuran udara dan bensin dihisap ke dalam silinder. Katup hisap terbuka sedangkan katup buang tertutup. Waktu torak bergerak ke bawah, menyebabkan ruang silinder menjadi vakum, masuknya campuran udara dan bahan bakar ke dalam silinder disebabkan adanya tekanan udara luar (*atmospheric pressure*). (Arends, 1980).

Katup masuk pada langkah hisap sudah terbuka sebelum piston bergerak dari TMA dengan tujuan untuk menghasilkan lubang masuk bahan bakar yang lebih lama. Waktu piston bergerak menuju TMB maka akan terjadi kevakuman sehingga akan terjadi tahanan aliran campuran bahan bakar dan udara yang mengakibatkan volume silinder dibawah 100%. Pada putaran mesin yang tinggi maka kevakuman tersebut akan rendah sehingga volume bahan bakar dan udara yang masuk juga sedikit sehingga daya mesin akan berkurang pada putaran yang tinggi.



Gambar 2.3. Langkah Hisap (Endra, 2016)

## 2. Langkah Kompresi

Pada langkah ini, campuran udara dan bahan bakar dikompresikan. Katup hisap dan katup buang tertutup. Waktu torak mulai naik dari TMB ke TMA campuran yang telah dihisap tadi dikompresikan. Akibatnya tekanan dan temperturnya menjadi naik, sehingga akan mudah terbakar. Poros engkol berputar satu kali, ketika torak mencapai TMA. (Arends, 1980).

Langkah kompresi mengakibatkan campuran udara dan bahan bakar dikompresi atau ditekan akibatnya tekanan dan temperturnya naik sehingga mudah dalam proses pembakaran. Tekanan kompresi akan naik bila ruang bakar diperkecil. Ruang bakar yang semakin kecil terhadap panjang langkah torak maka perbandingan kompresi akan naik.

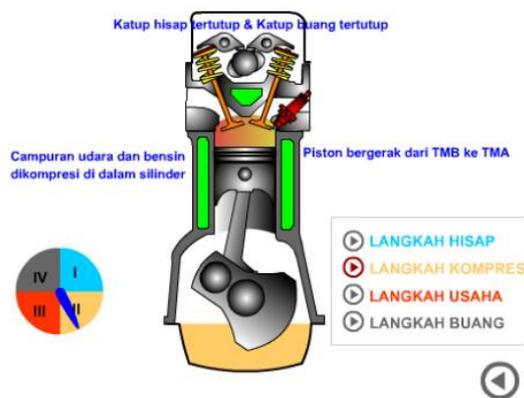
$$\epsilon = 1 + \frac{v_s}{v_c} \text{ atau } \epsilon = \frac{v_s + v_c}{v_c}$$

keterangan:

$\epsilon$  : perbandingan kompresi.

$v_c$  : volume ruang bakar.

$v_s$  : volume langkah piston



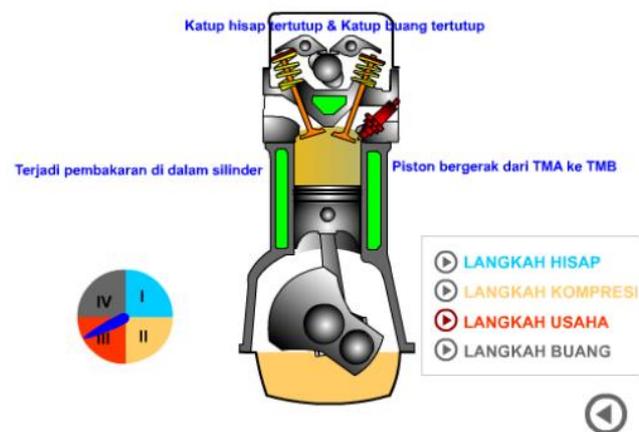
Gambar 2.4. Langkah Kompresi (Endra, 2016)

### 3. Langkah Usaha

Pada langkah ini, mesin menghasilkan tenaga untuk menggerakkan kendaraan. Sesaat sebelum torak mencapai TMA pada saat langkah kompresi, busi memberi loncatan api pada campuran yang telah dikompresikan. Dengan terjadinya pembakaran, kekuatan dari tekanan gas pembakaran yang tinggi mendorong torak ke bawah. Usaha ini yang menjadi tenaga mesin (*Engine power*). (Arends, 1980).

Penghentian kebakaran gas sebaiknya terjadi pada TMA atau sedikit sesudahnya, ini disebabkan oleh pengembangan gas tersebar akibat suhu tertinggi harus terjadi pada volume terkecil sehingga piston mendapat

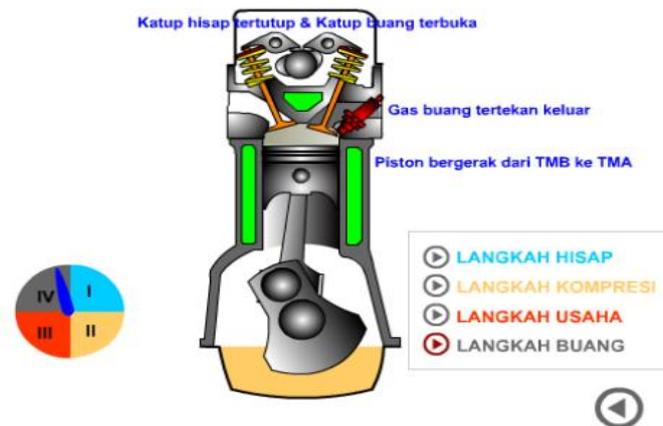
tekanan terbesar. Ekspansi terjadi di atas piston selama terjadi langkah kerja. Hal tersebut akan mengakibatkan tekanan dan suhu akan sangat menurun. Hubungan ini tampaknya menarik bila diadakan perbandingan antara motor Otto dan motor Diesel. Diumpamakan tekanan pembakaran motor Otto adalah 4 MPa dan pada motor Diesel 7,2 MPa. Perbandingan pemampatannya masing-masing adalah 8 : 1 dan 18 : 1. (Arends, 1980).



Gambar 2.5. Langkah Usaha (Endra, 2016)

#### 4. Langkah Buang

Pada langkah ini, gas yang terbakar dibuang dari dalam silinder. Katup buang terbuka, torak bergerak dari TMB ke TMA, mendorong gas bekas keluar dari silinder. Ketika torak mencapai TMA, akan mulai bergerak lagi untuk persiapan berikutnya, yaitu langkah hisap. (Arends, 1980).



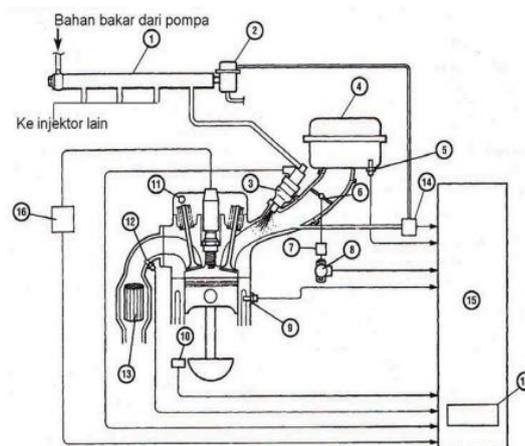
Gambar 2.6. Langkah Buang (Endra, 2016)

#### 2.4. Prinsip Kerja Sistem EFI

Istilah sistem injeksi bahan bakar (EFI) dapat digambarkan sebagai suatu sistem yang menyalurkan bahan bakarnya dengan menggunakan pompa pada tekanan tertentu untuk mencampurnya dengan udara yang masuk ke ruang bakar. Pada sistem EFI dengan mesin berbahan bakar bensin, pada umumnya proses penginjeksian bahan bakar terjadi di bagian ujung intake manifold/manifold masuk sebelum inlet *valve* (katup/klep masuk). Pada saat inlet *valve* terbuka, yaitu pada langkah hisap, udara yang masuk ke ruang bakar sudah bercampur dengan bahan bakar. Secara ideal, sistem EFI harus dapat mensuplai sejumlah bahan bakar yang disemprotkan agar dapat bercampur dengan udara dalam perbandingan campuran yang tepat sesuai kondisi putaran dan beban mesin, kondisi suhu kerja mesin dan suhu atmosfer saat itu. Sistem harus dapat mensuplai jumlah bahan bakar yang bervariasi, agar perubahan kondisi operasi kerja mesin tersebut dapat dicapai dengan unjuk kerja mesin yang tetap optimal.

### 2.4.1. Konstruksi Dasar Sistem EFI

Secara umum, konstruksi sistem EFI dapat dibagi menjadi tiga bagian/sistem utama, yaitu; a) sistem bahan bakar (*fuel system*), b) sistem kontrol elektronik (*electronic control system*), dan c) sistem induksi/pemasukan udara (*Air induction system*). Ketiga sistem utama ini akan dibahas satu persatu di bawah ini. Jumlah komponen-komponen yang terdapat pada sistem EFI bisa berbeda pada setiap jenis sepeda mesin. Semakin lengkap komponen sistem EFI yang digunakan, tentu kerja sistem EFI akan lebih baik sehingga bisa menghasilkan unjuk kerja mesin yang lebih optimal pula.



Gambar 2.7. Skema Rangkaian Sistem EFI Pada Yamaha GTS1000

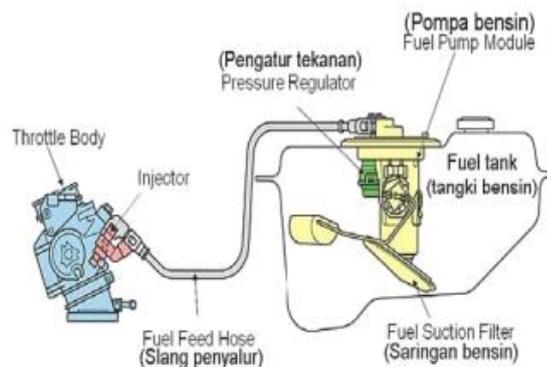
Keterangan gambar :

- |                                      |                                       |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. <i>Fuel rail/ delivery pipe</i>   | 2. <i>Pressure regulator</i>          |
| 3. <i>Injector</i>                   | 4. <i>Air box</i>                     |
| 5. <i>Air Temperature sensor</i>     | 6. <i>Throttle body butterfly</i>     |
| 7. <i>Fast idle system</i>           | 8. <i>Throttle position sensor</i>    |
| 9. <i>Coolant Temperature sensor</i> | 10. <i>Crankshaft position sensor</i> |

- |  |                                       |
|--|---------------------------------------|
| 11. <i>Camshaft position sensor</i>        | 12. <i>Camshaft position sensor</i>   |
| 13. <i>Camshaft position sensor</i>        | 14. <i>Intake Air pressure sensor</i> |
| 15. ECU ( <i>Electronic Control Unit</i> ) | 16. <i>Ignition coil</i>              |
| 17. <i>Atmospheric pressure sensor</i>     |                                       |

#### 2.4.2. Sistem Bahan Bakar

Komponen-komponen yang digunakan untuk menyalurkan bahan bakar ke mesin terdiri dari tangki bahan bakar (*fuel pump*), pompa bahan bakar (*fuel pump*), saringan bahan bakar (*fuel filter*), pipa/slang penyalur (pembagi), pengatur tekanan bahan bakar (*fuel pressure regulator*), dan injektor/penyemprot bahan bakar. Sistem bahan bakar ini berfungsi untuk menyimpan, membersihkan, menyalurkan dan menyemprotkan /menginjeksikan bahan bakar.

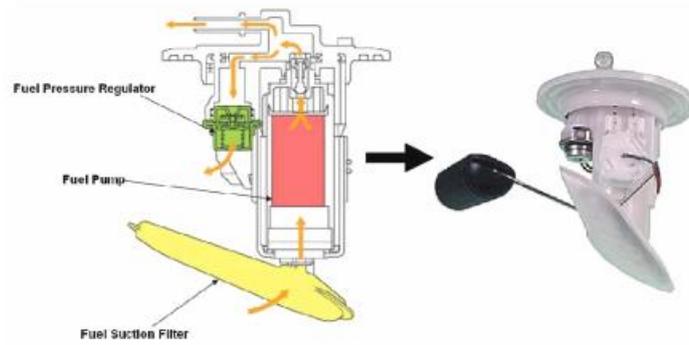


Gambar 2.8. Komponen EFI (Sutiman,Solikin, 2005)

Adapun fungsi masing-masing komponen pada sistem bahan bakar tersebut adalah sebagai berikut:

1. *Fuel suction filter*; menyaring kotoran agar tidak terisap pompa bahan bakar.

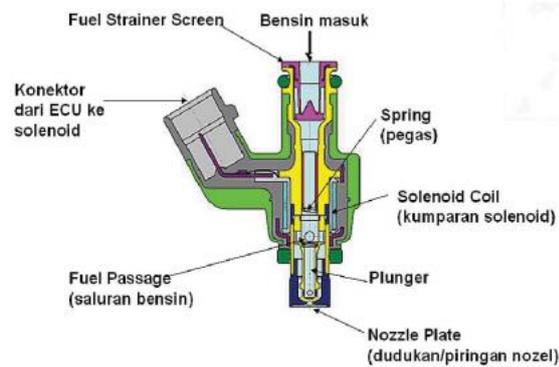
2. *Fuel pump module*; memompa dan mengalirkan bahan bakar dari tangki bahan bakar ke injektor. Penyaluran bahan bakarnya harus lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan mesin supaya tekanan dalam sistem bahan bakar bisa dipertahankan setiap waktu walaupun kondisi mesin berubah ubah.



Gambar 2.9. Konstruksi Fuel Pump Module (Sutiman,Solikin, 2005)

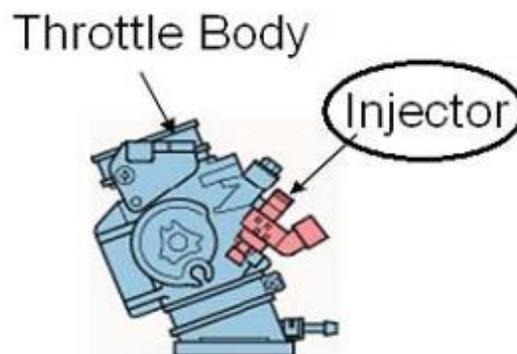
3. *Fuel pressure regulator*; mengatur tekanan bahan bakar di dalam sistem aliran bahan bakar agar tetap/konstan. Contohnya pada Honda Supra X 125 PGM-FI tekanan dipertahankan pada 294 kPa (3,0 kgf/cm<sup>3</sup>, 43 psi). Bila bahan bakar yang dipompa menuju injektor terlalu besar (tekanan bahan bakar melebihi 294 kPa (3,0 kgf/cm<sup>3</sup>, 43 psi)) *pressure regulator* mengembalikan bahan bakar ke dalam tangki.
4. *Fuel feed hose*; slang untuk mengalirkan bahan bakar dari tangki menuju injektor. Slang dirancang harus tahan tekanan bahan bakar akibat dipompa dengan tekanan minimal sebesar tekanan yang dihasilkan oleh pompa.

5. *Fuel Injector*, menyembrotkan bahan bakar ke saluran masuk (*Intake manifold*) sebelum, biasanya sebelum katup masuk, namun ada juga yang ke *throttle body*.



Gambar 2.10. Konstruksi Injektor (Sutiman,Solikin, 2005)

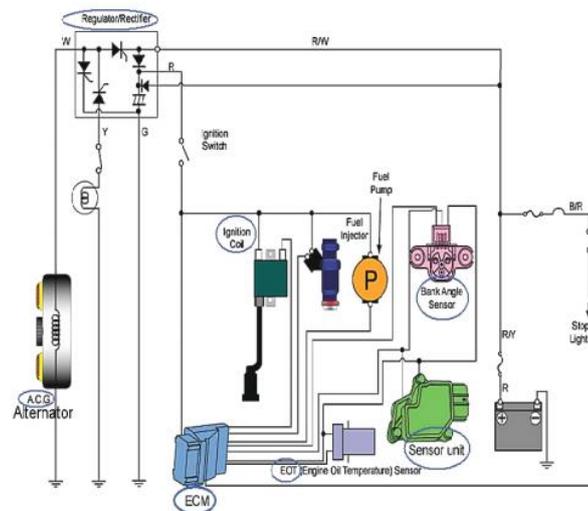
Terjadinya *penyemprotan* pada injektor adalah pada saat ECU memberikan tegangan listrik ke *solenoid coil* injektor. Dengan pemberian tegangan listrik tersebut *solenoid coil* akan menjadi magnet sehingga mampu menarik *plunger* dan mengangkat *needle valve* (katup jarum) dari dudukannya, sehingga saluran bahan bakar yang sudah bertekanan akan memancar keluar dari injektor.



Gambar 2.11. Penempatan *Injector* Pada *Throttle Body*  
(Sutiman,Solikin, 2005)

### 2.4.3. Sistem Kontrol Elektronik

Komponen sistem kontrol elektronik terdiri dari beberapa sensor (pengindra), seperti MAP (*Manifold Absolute Pressure*) sensor, TP (*Throttle Position*) sensor, IAT (*Intake Air Temperature*) sensor, *lean angle* sensor, EOT (*Engine Oil Temperature*) sensor, dan sensor-sensor lainnya. Pada sistem ini juga terdapat ECU (*Electronic Control Unit*) atau ECM dan komponen-komponen tambahan seperti alternator (magnet) dan regulator/*rectifier* yang mensuplai dan mengatur tegangan listrik ke ECU, baterai dan komponen lain. Pada sistem ini juga terdapat DLC (*Data Link Connector*) yaitu semacam soket dihubungkan dengan *Engine analyzer* untuk mencari sumber kerusakan komponen



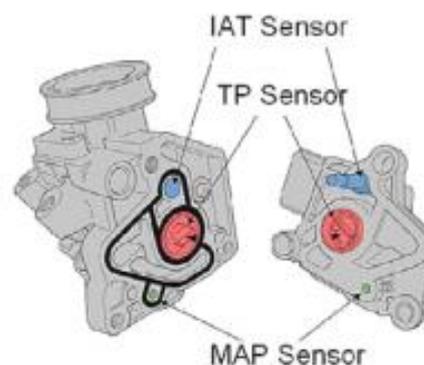
Gambar 2.12. Rangkaian Sistem Kontrol Elektronik (Sutiman, Solikin, 2005)

Secara garis besar fungsi dari masing-masing komponen sistem kontrol elektronik antara lain sebagai berikut;

1. ECU/ECM; menerima dan menghitung seluruh informasi/data yang diterima dari masing-masing sinyal sensor yang ada dalam mesin. Informasi yang diperoleh dari sensor antara lain berupa informasi

tentang suhu udara, suhu oli mesin, suhu *Air* pendingin, tekanan atau jumlah udara masuk, posisi katup *throttle*/katup gas, putaran me sin, posisi poros engkol, dan informasi yang lainnya. Pada umumnya sensor bekerja pada tegangan antara 0 volt sampai 5 volt. Selanjutnya ECU/ECM menggunakan informasi-informasi yang telah diolah tadi untuk menghitung dan menentukan saat ( *timing* ) dan lamanya injektor bekerja/menyemprotkan bahan bakar dengan mengirimkan tegangan listrik ke *solenoid* injektor. Pada beberapa mesin yang sudah lebih sempurna, disamping mengontrol injektor, ECU/ECM juga bisa mengontrol sistem pengapian.

2. MAP (*Manifold absolute pressure*) sensor; memberikan sinyal ke ECU berupa informasi (deteksi) tekanan udara yang masuk ke *Intake* manifold. Selain tipe MAP sensor, pendeteksian udara yang masuk ke *Intake* manifold bisa dalam bentuk jumlah maupun berat udara. Jika jumlah udara yang dideteksi, sensornya dinamakan *Air flow meter*, sedangkan jika berat udara yang dideteksi, sensornya dinamakan *Air mass sensor*.



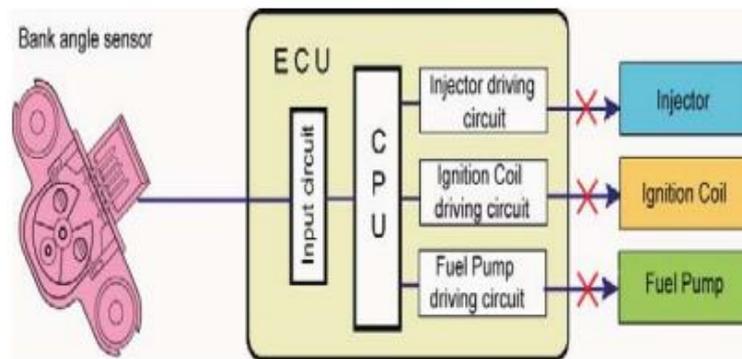
Gambar 2.13. MAP Sensor (Sutiman,Solihin, 2005)

3. IAT (*Engine Air Temperature*) sensor; memberikan sinyal ke ECU berupa informasi (deteksi) tentang suhu udara yang masuk ke *Intake* manifold. Tegangan referensi/suplai 5 Volt dari ECU selanjutnya akan berubah menjadi tegangan sinyal yang nilainya dipengaruhi oleh suhu udara masuk.
4. TP (*Throttle Position*) sensor; memberikan sinyal ke ECU berupa informasi (deteksi) tentang posisi katup *throttle*/katup gas. Generasi yang lebih baru dari sensor ini tidak hanya terdiri dari kontak-kontak yang mendeteksi posisi *idle*/lambat dan posisi beban penuh, akan tetapi sudah merupakan potensiometer (*variable resistor*) dan dapat memberikan sinyal ke ECU pada setiap keadaan beban mesin.

Konstruksi generasi terakhir dari sensor posisi katup gas sudah full elektronik, karena yang menggerakkan katup gas adalah elektromesin yang dikendalikan oleh ECU tanpa kabel gas yang terhubung dengan pedal gas. Generasi terbaru ini memungkinkan pengontrolan emisi/gas buang lebih bersih karena pedal gas yang digerakkan hanyalah memberikan sinyal tegangan ke ECU dan pembukaan serta penutupan katup gas juga dilakukan oleh ECU secara elektronik.

5. *Engine oil Temperature* sensor; memberikan sinyal ke ECU berupa informasi (deteksi) tentang suhu oli mesin.
6. *Lean angle* sensor; merupakan sensor sudut kemiringan. Pada sepeda motor yang menggunakan sistem EFI biasanya dilengkapi dengan *Lean*

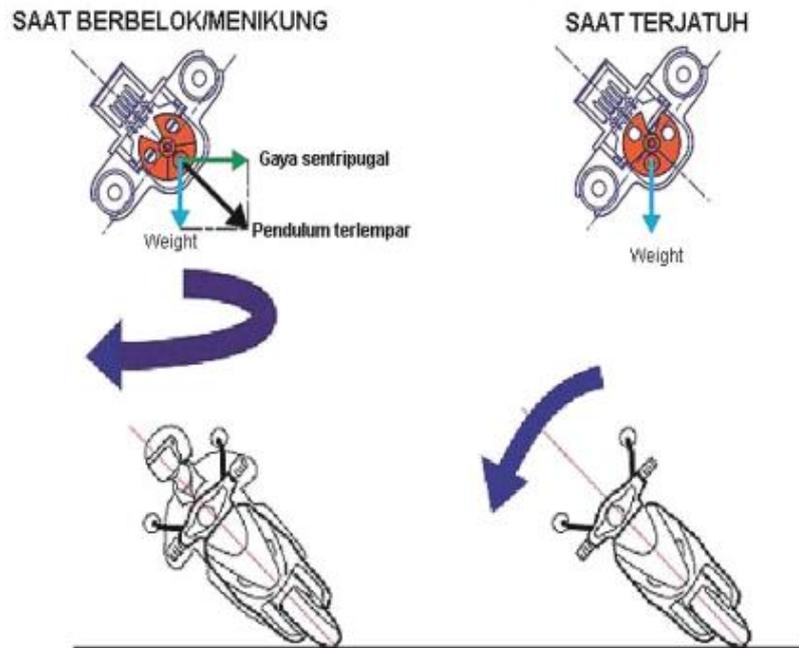
*angle* sensor yang bertujuan untuk pengaman saat kendaraan terjatuh dengan sudut kemiringan  $55^{\circ}$



Gambar 2.14. *Lean Angle* Sensor (Sutiman,Solikin, 2005)

Sinyal atau informasi yang di kirim *lean angle* sensor ke ECU saat sepeda motor terjatuh dengan sudut kemiringan yang telah ditentukan akan membuat ECU memberikan perintah untuk mematikan (meng-OFF-kan) injektor, koil pengapian, dan pompa bahan bakar. Dengan demikian peluang terbakarnya sepeda motor jika ada bahan bakar yang tercecer atau tumpah akan kecil karena sistem pengapian dan sistem bahan bakar langsung dihentikan walaupun kunci kontak masih dalam posisi ON

*Lean angle* sensor akan mendeteksi setiap sudut kemiringan sepeda motor. Jika sudut kemiringan masih di bawah *limit* yang ditentukan, maka informasi yang dikirim ke ECU tidak sampai membuat ECU meng-OFF-kan ketiga komponen di atas.



Gambar 2.15. Sinyal atau informasi *lean angle* sensor ke ECU

Selain sensor-sensor di atas masih terdapat sensor lainnya digunakan pada sistem EFI, seperti sensor posisi *camshaft*/poros nok, (*camshaft position sensor*) untuk mendeteksi posisi poros nok agar saat pengapiannya bisa diketahui, sensor posisi poros engkol (*crankshaft position sensor*) untuk mendeteksi putaran poros engkol, sensor *Air* pendingin (*Water Temperature sensor*) untuk mendeteksi *Air* pendingin di mesin dan sensor lainnya. Namun demikian, pada sistem EFI sepeda motor yang masih sederhana, tidak semua sensor dipasang.

#### 2.4.4. Sistem Induksi Udara

Komponen yang termasuk ke dalam sistem ini antara lain; *Air cleaner*/*Air box* (saringan udara), *Intake manifold*, dan *throttle body* (tempat katup gas). Sistem ini berfungsi untuk menyalurkan sejumlah udara yang diperlukan untuk pembakaran.



Gambar 2.16. Konstruksi *Throttle Body*

## 2.5. Cara Kerja Sistem EFI

Sistem EFI atau PGM-FI dirancang agar bisa melakukan penyemprotan bahan bakar yang jumlah dan waktunya ditentukan berdasarkan informasi dari sensor-sensor. Pengaturan koreksi perbandingan bahan bakar dan udara sangat penting dilakukan agar mesin bisa tetap beroperasi/bekerja dengan sempurna pada berbagai kondisi kerjanya. Oleh karena itu, keberadaan sensor-sensor yang memberikan informasi akurat tentang kondisi mesin saat itu sangat menentukan unjuk kerja (*performance*) suatu mesin. Semakin lengkap sensor, maka pendeteksian kondisi mesin dari berbagai karakter (suhu, tekanan, putaran, kandungan gas, getaran mesin dan sebagainya) menjadi lebih baik. Informasi-informasi tersebut sangat bermanfaat bagi ECU untuk diolah guna memberikan perintah yang tepat kepada injektor, sistem pengapian, pompa bahan bakar dan sebagainya.

### 2.5.1. Saat Penginjeksian (*Injection Timing*) dan Lamanya Penginjeksian

Terdapat beberapa tipe penginjeksian (penyemprotan) dalam sistem EFI motor bensin (khususnya yang mempunyai jumlah silinder dua atau lebih), diantaranya tipe injeksi serentak (*simoultaneous injection*) dan tipe injeksi

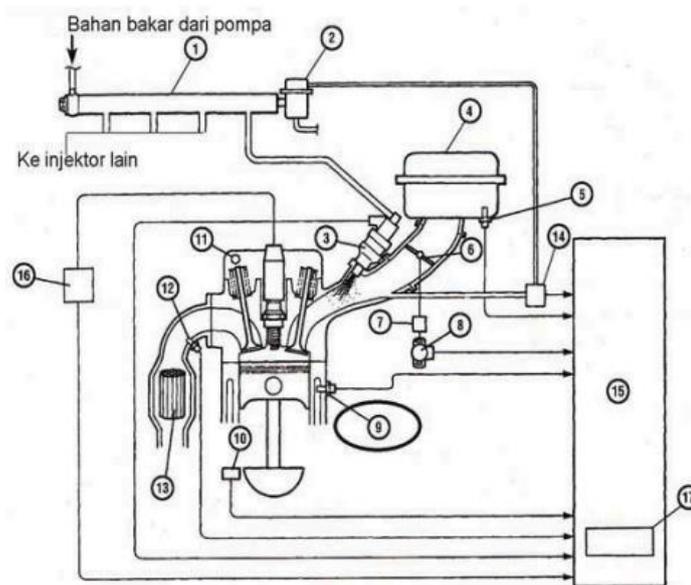
terpisah (*independent injection*). Tipe injeksi serentak yaitu saat penginjeksian terjadi secara bersamaan, sedangkan tipe injeksi terpisah yaitu saat penginjeksian setiap injektor berbeda antara satu dengan yang lainnya, biasanya sesuai dengan urutan pengapian atau *firing order* (FO).

Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa penginjeksian pada motor bensin pada umumnya dilakukan di ujung *Intake manifold* sebelum inlet *valve* (katup masuk). Oleh karena itu, saat penginjeksian (*injection timing*) tidak mesti sama persis dengan percikan bunga api busi, yaitu beberapa derajat sebelum TMA di akhir langkah kompresi. Saat penginjeksian tidak menjadi masalah walau terjadi pada langkah hisap, kompresi, usaha maupun buang karena penginjeksian terjadi sebelum katup masuk. Artinya saat terjadinya penginjeksian tidak langsung masuk ke ruang bakar selama posisi katup masuk masih dalam keadaan menutup. Misalnya untuk mesin 4 silinder dengan tipe injeksi serentak, tentunya saat penginjeksian injektor satu dengan yang lainnya terjadi secara bersamaan. Jika FO mesin tersebut adalah 1 – 3 – 4 – 2, saat terjadi injeksi pada silinder 1 pada langkah hisap, maka pada silinder 3 injeksi terjadi pada satu langkah sebelumnya, yaitu langkah buang. Selanjutnya pada silinder 4 injeksi terjadi pada langkah usaha, dan pada silinder 2 injeksi terjadi pada langkah kompresi.

Sedangkan lamanya (*duration*) penginjeksian akan bervariasi tergantung kondisi kerja mesin. Semakin lama terjadi injeksi, maka jumlah bahan bakar akan semakin banyak pula. Dengan demikian, seiring naiknya putaran mesin, maka lamanya injeksi akan semakin bertambah karena bahan bakar yang dibutuhkan semakin banyak.

### 2.5.2. Cara Kerja Saat Kondisi Mesin Dingin

Pada saat kondisi mesin masih dingin (misalnya saat menghidupkan di pagi hari), maka diperlukan campuran bahan bakar dan udara yang lebih banyak (campuran kaya). Hal ini disebabkan penguapan bahan bakar rendah pada saat kondisi temperatur/suhu masih rendah. Dengan demikian akan terdapat sebagian kecil bahan bakar yang menempel di dinding *Intake manifold* sehingga tidak masuk dan ikut terbakar dalam ruang bakar. Untuk memperkaya campuran bahan bakar udara tersebut, pada sistem EFI yang dilengkapi dengan sistem pendinginan *Air* terdapat sensor temperatur *Air* pendingin (*Engine/coolant Temperature sensor*)



Gambar 2.17. Sensor *Air* Pendingin (9) Yamaha GTS 1000

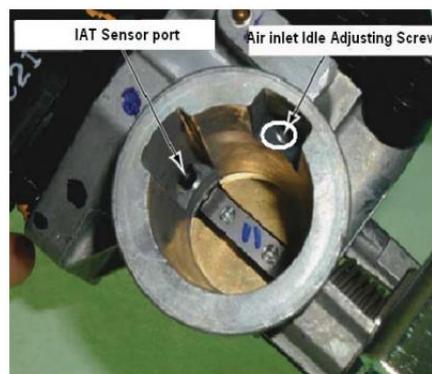
seperti terlihat pada gambar di atas. Sensor ini akan mendeteksi kondisi *Air* pendingin mesin yang masih dingin tersebut. Temperatur *Air* pendingin yang dideteksi dirubah menjadi signal listrik dan dikirim ke ECU/ECM. Selanjutnya ECU/ECM akan mengolahnya kemudian memberikan perintah pada injektor



lama (kaya). Dengan demikian, rendahnya penguapan bahan bakar saat temperatur masih rendah sehingga akan ada bahan bakar yang menempel di dinding *Intake manifold* dapat diantisipasi dengan memperkaya campuran tersebut.

### 2.5.3. Cara Kerja Saat Putaran Rendah

Pada saat putaran mesin masih rendah dan suhu mesin sudah mencapai suhu kerjanya, ECU/ECM akan mengontrol dan memberikan tegangan listrik ke injektor hanya sebentar saja (beberapa derajat engkol) karena jumlah udara yang dideteksi oleh MAP sensor dan sensor posisi katup gas (TP sensor ) masih sedikit. Hal ini supaya dimungkinkan tetap terjadinya perbandingan campuran bahan bakar dan udara yang tepat (mendekati perbandingan campuran teoritis atau ideal).

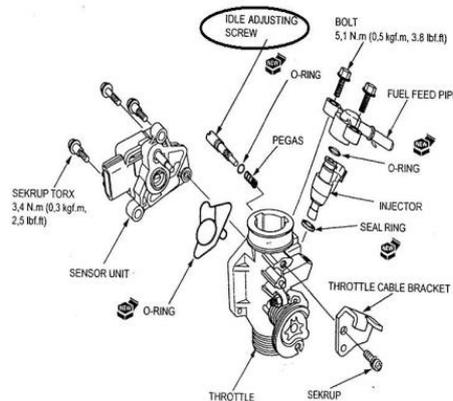


Gambar 2.19. Saluran Masuk Untuk Putaran Stasioner

Posisi katup gas pada *throttle body* masih menutup pada saat putaran stasioner/langsam (putaran stasioner pada sepeda motor pada umumnya sekitar 1400 rpm). Oleh karena itu, aliran udara dideteksi dari saluran khusus untuk saluran stasioner. Sebagian besar sistem EFI pada sepeda motor masih menggunakan skrup penyetel (*Air idle adjusting screw*) untuk putaran stasioner.

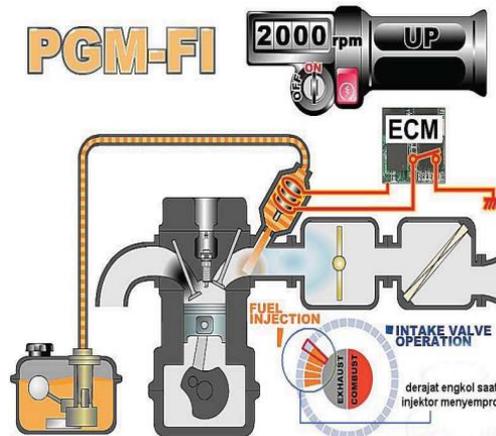
Berdasarkan informasi dari sensor tekanan udara (MAP sensor) dan sensor posisi katup gas (TP) sensor tersebut, ECU/ECM akan memberikan tegangan listrik kepada solenoid injektor untuk menyemprotkan bahan bakar. Lamanya penyemprotan/penginjeksian hanya beberapa derajat engkol saja karena bahan bakar yang dibutuhkan masih sedikit.

Pada saat putaran mesin sedikit dinaikkan namun masih termasuk ke dalam putaran rendah, tekanan udara yang dideteksi oleh MAP sensor akan menjadi lebih tinggi dibanding saat putaran stasioner. Naiknya tekanan udara yang masuk mengindikasikan bahwa jumlah udara yang masuk lebih banyak. Berdasarkan informasi yang diperoleh oleh MAP sensor tersebut, ECU/ECM akan memberikan tegangan listrik sedikit lebih lama dibandingkan saat putaran stasioner.



Gambar 2.20. Posisi Skrup Penyetel Putaran Stasioner Pada *Throttle Body* (Sutiman, Solikin, 2005)

Gambar di atas adalah ilustrasi saat mesin berputar pada putaran rendah, yaitu 2000 rpm. Seperti terlihat pada gambar, saat penyemprotan/penginjeksian (*fuel injection*) terjadi diakhir langkah buang dan lamanya penyemprotan/penginjeksian juga masih beberapa derajat engkol saja karena bahan bakar yang dibutuhkan masih sedikit.



Gambar 2.21. Contoh Penyemprotan Injektor  
Pada Saat Putaran 2000 rpm (Sutiman,Solikin, 2005)

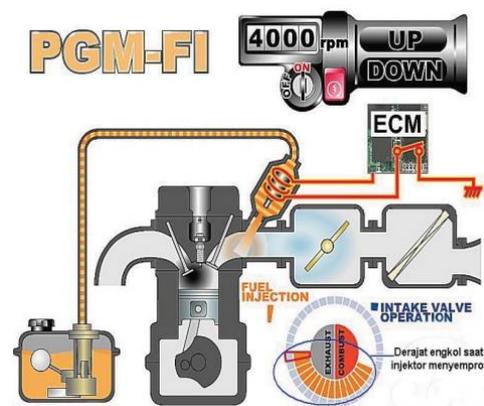
Seperti telah disebutkan sebelumnya bahwa proses penyemprotan pada injektor terjadi saat ECU/ECM memberikan tegangan pada *solenoid* injektor. Dengan pemberian tegangan listrik tersebut *solenoid coil* akan menjadi magnet sehingga mampu menarik *plunger* dan mengangkat *needle valve* (katup jarum) dari dudukannya, sehingga bahan bakar yang berada dalam saluran bahan bakar yang sudah bertekanan akan memancar keluar dari injektor.

#### 2.5.4. Cara Kerja Saat Putaran Menengah dan Tinggi

Pada saat putaran mesin dinaikkan dan kondisi mesin dalam keadaan normal, ECU/ECM menerima informasi dari sensor posisi katup gas (TP sensor) dan MAP sensor. TP sensor mendeteksi pembukaan katup *throttle* sedangkan MAP sensor mendeteksi jumlah/tekanan udara yang semakin naik. Saat ini deteksi yang diperoleh oleh sensor tersebut menunjukkan jumlah udara yang masuk semakin banyak. Sensor-sensor tersebut mengirimkan informasi ke ECU/ECM dalam bentuk signal listrik. ECU/ECM kemudian mengolahnya dan selanjutnya akan memberikan tegangan listrik pada *solenoid* injektor dengan waktu yang lebih

lama dibandingkan putaran sebelumnya. Disamping itu saat pengapiannya juga otomatis dimajukan agar tetap tercapai pembakaran yang optimum berdasarkan informasi yang diperoleh dari sensor putaran rpm. Gambar bawah ini adalah ilustrasi saat mesin berputar pada putaran menengah, yaitu 4000 rpm. Seperti terlihat pada gambar, saat penyemprotan/penginjeksian (*fuel injection*) mulai terjadi dari pertengahan langkah usaha sampai pertengahan langkah buang dan lamanya penyemprotan/penginjeksian sudah hampir mencapai setengah putaran derajat engkol karena bahan bakar yang dibutuhkan semakin banyak.

Selanjutnya jika putaran dinaikkan lagi, katup *throttle* semakin terbuka lebar dan sensor posisi katup *throttle* (TP sensor) akan mendeteksi perubahan katup *throttle* tersebut. ECU/ECM menerima informasi perubahan katup *throttle* tersebut dalam bentuk signal listrik dan akan memberikan tegangan pada *solenoid* injektor lebih lama dibanding putaran menengah karena bahan bakar yang dibutuhkan lebih banyak lagi. Dengan demikian lamanya penyemprotan/penginjeksian otomatis akan melebihi dari setengah putaran derajat engkol.



Gambar 2.22. Contoh Penyemprotan Injektor Pada Saat Putaran 4000 rpm (Sutiman, Solikin, 2005)

### 2.5.5. Cara Kerja Saat Akselerasi (Percepatan)

Bila sepeda motor diakselerasi (di gas) dengan serentak dari kecepatan rendah, maka volume udara juga akan bertambah dengan cepat. Dalam hal ini, karena bahan bakar lebih berat dibanding udara, maka untuk sementara akan terjadi keterlambatan bahan bakar sehingga terjadi campuran kurus/miskin. Untuk mengatasi hal tersebut, dalam sistem bahan bakar konvensional (menggunakan karburator) dilengkapi sistem akselerasi (percepatan) yang akan menyemprotkan sejumlah bahan bakar tambahan melalui saluran khusus. Sedangkan pada sistem injeksi (EFI) tidak membuat suatu koreksi khusus selama akselerasi. Hal ini disebabkan dalam sistem EFI bahan bakar yang ada dalam saluran sudah bertekanan tinggi.

Perubahan jumlah udara saat katup gas dibuka dengan tiba-tiba akan dideteksi oleh MAP sensor. Walaupun yang dideteksi MAP sensor adalah tekanan udaranya, namun pada dasarnya juga menentukan jumlah udara. Semakin tinggi tekanan udara yang dideteksi, maka semakin banyak jumlah udara yang masuk ke *Intake* manifold. Dengan demikian, selama akselerasi pada sistem EFI tidak terjadi keterlambatan pengiriman bahan bakar karena bahan bakar yang telah bertekanan tinggi tersebut dengan serentak di injeksikan sesuai dengan perubahan volume udara yang masuk.

Demikian tadi cara kerja sistem EFI pada beberapa kondisi kerja mesin. Masih ada beberapa kondisi kerja mesin yang tidak dibahas lebih detail seperti saat perlambatan (deselerasi), selama tenaga yang dikeluarkan tinggi (*high power output*) atau beban berat dan sebagainya. Namun pada prinsipnya adalah hampir

sama dengan penjelasan yang sudah dibahas. Hal ini disebabkan dalam sistem EFI semua koreksi terhadap pengaturan waktu/saat penginjeksian dan lamanya penginjeksian berdasarkan informasi-informasi yang diberikan oleh sensor-sensor yang ada. Informasi tersebut di kirim ke ECU/ECM dalam bentuk signal listrik yang merupakan gambaran tentang berbagai kondisi kerja mesin saat itu. Semakin lengkap sensor yang dipasang pada suatu mesin, maka koreksi terhadap pengaturan saat dan lamanya penginjeksian akan semakin sempurna, sehingga mesin bisa menghasilkan unjuk kerja atau tampilan (*performance*) yang optimal dan mengeluarkan kandungan emisi beracun yang minimal.