

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Fahmi dan Yuniarto (2013), meneliti tentang perancangan dan unjuk kerja *engine control unit* (ECU) iquiteche pada motor Yamaha Vixion. Parameter yang dicari adalah daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar. Dari hasil penelitian yang diperoleh daya maksimum yang dihasilkan oleh ECU standar sebesar 11,6 HP terjadi pada putaran 7000 rpm sedangkan daya maksimum yang dihasilkan oleh ECU iquiteche sebesar 11,8 HP terjadi pada putaran engine 7000 rpm hal ini menyebabkan kenaikan daya sebesar 0,01 %. Torsi maksimum yang dihasilkan oleh ECU standard sebesar 12,15 Nm terjadi pada putaran 7865 rpm sedangkan torsi maksimum yang dihasilkan oleh ECU iquiteche sebesar 12,93 N.m terjadi pada putaran engine 7447 rpm hal ini menyebabkan kenaikan torsi sebesar 1,87 %. Konsumsi bahan bakar diperoleh dari ECU iquiteche terjadi peningkatan efisiensi sebesar 11,9 % dari penggunaan ECU standard (MORIC).

Saepudin (2015), meneliti tentang pengaruh settingan ECU kinerja motor bensin 4 langkah 150cc berbahan bakar pertamax. Parameter yang dicari adalah daya, dan torsi. Dari hasil penelitian diperoleh daya yang tertinggi pada kondisi mesin standar (CO 0) menghasilkan daya maksimum 12,13 kW setara dengan 16,26 HP pada putaran 8549 (rpm). Torsi yang tertinggi diperoleh pada kondisi mesin (CO +10) menghasilkan torsi maksimum 14,59 (Nm) pada putaran mesin 6688 (rpm). Pada kondisi (CO 0) daya naik 3,5% dibanding kondisi (CO+10) sedangkan torsi pada kondisi (CO+10) torsi naik 2,4% dibanding kondisi (CO 0).

Trisianto (2014), meneliti tentang pengaruh komponen dan *setting* pengapian terhadap kinerja motor 4 langkah 113 cc berbahan bakar campuran premium-ethanol dengan kandungan ethanol 25%. Parameter yang dicari adalah daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar. Dari hasil penelitian diperoleh torsi tertinggi pada penggunaan CDI standar dengan torsi sebesar 12,43 (Nm) pada

putaran mesin 3707 (RPM). Daya tertinggi diperoleh pada penggunaan CDI *racing* dengan daya sebesar 7,6 (HP) pada putaran mesin 7828 (RPM). Konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 0,96 kg/jam pada putaran 8000 (RPM).

Wardana (2016), meneliti tentang pengaruh variasi CDI terhadap kinerja motor 4 langkah 200 cc berbahan bakar premium. Paramater yang dicari adalah daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar. Dari hasil penelitian diperoleh torsi tertinggi pada penggunaan CDI *racing* Siput Advan Tech dengan torsi sebesar 17,38 (Nm) pada putaran mesin 7750 (RPM). Daya tertinggi diperoleh pada penggunaan CDI *racing* Siput Advan Tech dengan daya sebesar 17,5 HP pada putaran mesin 6450 (RPM). Konsumsi bahan bakar CDI standar sebesar 35,87 km/l, CDI BRT sebesar 33,3 km/l, dan CDI SAT sebesar 32,85 km/l dengan menggunakan bahan bakar yang sama yaitu premium 420 ml.

2.2 Definisi motor bakar

Motor bakar adalah salah satu jenis dari motor kalor, yaitu mesin yang mengubah energi termal untuk melakukan kerja mekanik atau mengubah tenaga kimia bahan bakar menjadi tenaga mekanis. Energi diperoleh dari proses pembakaran yang mengubah energi tersebut yang terjadi didalam dan diluar mesin.

Motor bakar terbagi menjadi 2 (dua) jenis utama, yaitu motor diesel dan motor bensin. Perbedaan umumnya terletak pada sistem penyalannya, penyalan pada motor bensin terjadi karena loncatan bunga api yang dipercikan oleh busi atau disebut juga *Spark Ignition Engine*. Sedangkan pada motor diesel penyalan terjadi karena kompresi yang tinggi didalam silinder kemudian bahan bakar disemprotkan oleh nozzle atau juga disebut *Compression Ignition Engine* (CIE).

2.3 Klasifikasi Motor Bakar

Motor bakar dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) macam. Adapun klasifikasinya motor bakar adalah sebagai berikut :

2.3.1 Berdasarkan Sistem Pembakaran

a. Mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine*)

Pada mesin pembakaran dalam fluida kerja yang dihasilkan pada mesin itu sendiri sehingga gas hasil pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida.

Contoh: Motor bakar torak.

b. Mesin pembakaran luar (*Eksternal Combustion Engine*)

Pada mesin pembakaran luar fluida kerja yang dihasilkan terdapat diluar mesin tersebut. Energi thermal dan gas hasil pembakaran dipindahkan ke dalam mesin melalui beberapa dinding pemisah.

Contoh: Kereta uap.

2.3.2 Berdasarkan Sistem Penyalaan

a. Motor bensin

Motor bensin dapat juga disebut sebagai motor otto. Motor tersebut dilengkapi dengan busi dan karburator. Busi menghasilkan loncatan bunga api listrik yang membakar campuran bahan bakar dan udara karena motor ini cenderung disebut *spark ignition engine*. Pembakaran bahan bakar dengan udara ini menghasilkan daya. Di dalam siklus otto (siklus ideal) pembakaran tersebut dimisalkan sebagai pemasukan panas pada volume konstanta.

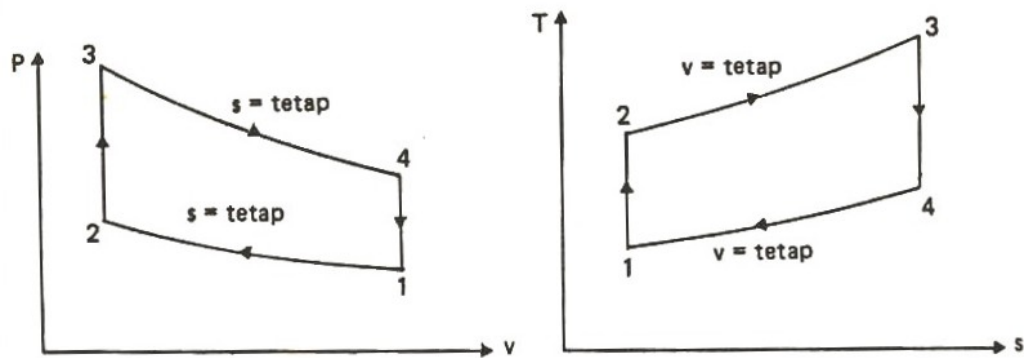
b. Motor diesel

Motor diesel adalah motor bakar torak yang berbeda dengan motor bensin. Proses penyalaannya bukan menggunakan loncatan bunga api listrik. Pada waktu torak hampir mencapai titik TMA bahan bakar

disemprotkan ke dalam ruang bakar. Terjadilah pembakaran pada ruang bakar pada saat udara dalam silinder sudah bertemperatur tinggi. Persyaratan ini dapat terpenuhi apabila perbandingan kompresi yang digunakan cukup tinggi, yaitu berkisar 12-25.

2.4 Siklus Termodinamika

Konversi energi yang terjadi pada motor bakar torak berdasarkan pada siklus termodinamika. Proses sebenarnya amat kompleks sehingga analisa dilakukan pada kondisi ideal dengan fluida kerja udara. Dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram P-V dan T-S siklus Otto

(Cengel & Boles, 1994)

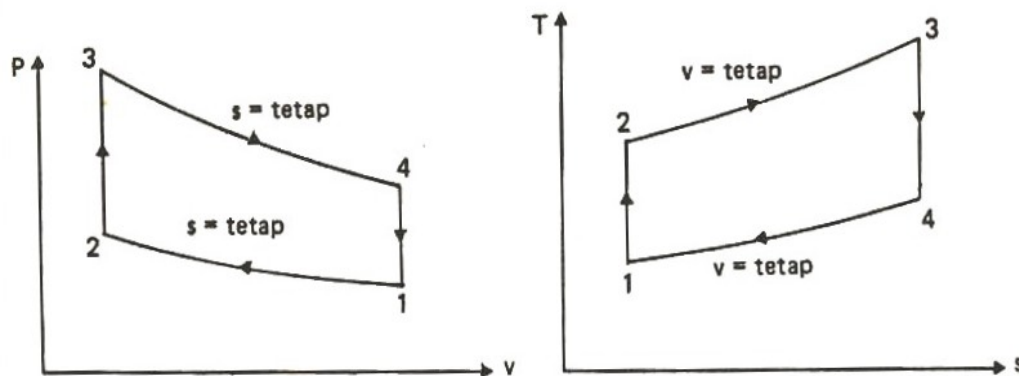
Idealisasi proses tersebut sebagai berikut:

1. Fluida kerja dari awal proses hingga akhir proses.
2. Panas jenis dianggap konstan meskipun terjadi perubahan temperatur pada udara.

3. Proses kompresi dan ekspansi berlangsung secara adiabatik, tidak terjadi perpindahan panas antara gas dan dinding silinder.
4. Sifat-sifat kimia fluida kerja tidak berubah selama siklus berlangsung.
5. Motor 2 (dua) langkah mempunyai siklus termodinamika yang sama dengan motor 4 (empat) langkah.

2.5 Siklus Otto (Siklus udara volume konstan)

Pada siklus otto atau siklus volume konstan proses pembakaran terjadi pada volume konstan, sedangkan siklus otto tersebut ada yang berlangsung dengan 4 (empat) langkah atau 2 (dua) langkah. Untuk mesin 4 (empat) langkah siklus kerja terjadi dengan 4 (empat) langkah piston atau 2 (dua) poros engkol. Adapun langkah dalam siklus otto yaitu gerakan piston dari titik puncak (TMA=titik mati atas) ke posisi bawah (TMB=titik mati bawah) dalam silinder. Dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Diagram P-V dan T-S siklus Otto

(Cengel & Boles, 1994)

Proses siklus otto sebagai berikut :

- Proses 1-2 : proses kompresi *isentropic (adiabatic reversible)* di mana piston bergerak menuju (TMA=titik mati atas) mengkompresikan udara sampai volume *clearance* sehingga tekanan dan temperatur udara naik.
- Proses 2-3 : pemasukan kalor konstan, piston sesaat pada (TMA=titik mati atas) bersamaan kalor suplai dari sekelilingnya serta tekanan dan temperatur meningkat hingga nilai maksimum dalam siklus.
- Proses 3-4 : proses isentropik udara panas dengan tekanan tinggi mendorong piston turun menuju (TMB=titik mati bawah), energi dilepaskan di sekeliling berupa internal energi.
- Proses 4-1 : proses pelepasan kalor pada volume konstan piston sesaat pada (TMB=titik mati bawah) dengan mentransfer kalor ke sekeliling dan kembali melangkah pada titik awal.

2.6 Prinsip Kerja Motor Bakar Torak

Berdasarkan prinsipnya, terdapat 2 (dua) prinsip pada motor bakar torak, yaitu: 4 (empat) langkah dan 2 (dua) langkah. Adapun prinsip kerja motor bakar 4 (empat) langkah dan 2 (dua) langkah adalah sebagai berikut:

2.6.1 Prinsip Kerja Motor Bakar 4 Langkah

Motor bakar 4 (empat) langkah adalah bila 1 (satu) kali proses pembakaran terjadi setiap 4 (empat) langkah gerakan piston atau 2 (dua) kali putaran poros engkol. Dengan anggapan bahwa katup masuk dan katup buang terbuka tepat pada waktu piston berada pada TMA dan TMB. Siklus 4 (empat) langkah dapat diterangkan sebagai berikut:

a. Langkah Hisap

Piston bergerak dari TMA ke TMB. Pada ruangan di atas piston terjadi pembesaran volume yang menyebabkan tekanan menjadi kurang. Tekanan kurang tersebut mengakibatkan terjadinya hisapan terhadap campuran bahan bakar dari karburator. Keadaan katup masih terbuka dan katup buang tertutup.

b. Langkah Kompresi

Piston bergerak dari TMB ke TMA mengadakan kompresi terhadap campuran udara bahan bakar yang baru masuk pada langkah pengisian. Tekanan dan temperatur menjadi naik sedemikian rupa sehingga campuran bahan bakar udara berada dalam keadaan yang mudah sekali untuk terbakar. Sebelum langkah kompresi berakhir busi mengadakan pembakaran, katup hisap dan katup buang dalam keadaan tertutup.

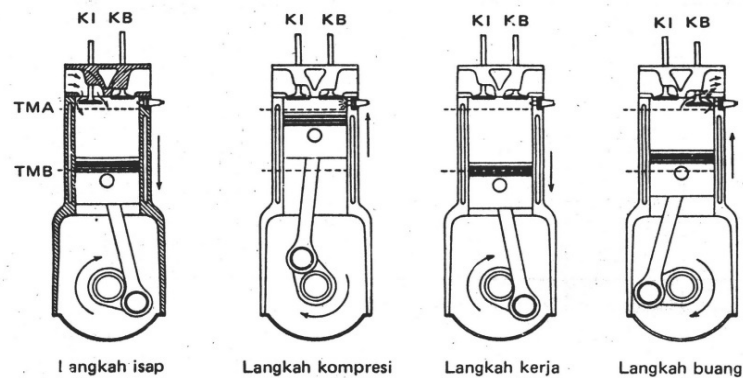
c. Langkah Usaha

Akibat adanya pembakaran pada ruang bakar terjadi panas dan pemuaiian tiba-tiba. Pemuaiian tersebut mendorong piston untuk bergerak dari TMA ke TMB. Kedua katup masih dalam keadaan tertutup rapat sehingga seluruh tenaga panas mendorong piston untuk bergerak.

d. Langkah Buang

Pada langkah buang ini katup masuk tertutup sedangkan katup buang terbuka. Piston bergerak dari TMB ke TMA mendesak gas sisi pembakaran keluar melalui katup buang dan saluran buang (*exhaust manifold*) menuju atmosfer.

Agar lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Prinsip kerja motor 4 langkah

(Arismunandar, 2002)

2.6.2 Prinsip Kerja Motor Bakar 2 Langkah

Pada motor bensin 2 (dua) langkah, setiap siklus terdiri dari 2 (dua) langkah piston atau 1 (satu) kali putaran poros engkol. Proses yang terjadi pada motor 4 (empat) langkah, juga terjadi 1 (satu) langkah penuh.

Langkah-langkah tersebut adalah:

a. Langkah hisap dan kompresi

Piston bergerak dari TMB ke TMA. Beberapa saat sebelum piston sampai di TMB, gas bekas hasil pembakaran sudah mulai dikeluarkan dan campuran udara bahan bakar baru pun sudah mulai dimasukkan. Langkah ini merupakan langkah kompresi. Pada waktu piston hampir mencapai TMA busi mengadakan pembakaran.

b. Langkah usaha dan buang

Dengan adanya pembakaran pada akhir langkah naik, terjadi panas dan pemuaiian yang tiba-tiba. Piston bergerak dari TMA ke TMB. Sebelum piston mencapai TMB lubang buang sudah terbuka. Lubang masukpun kemudian terbuka pula, gas baru masuk dan sekaligus mendorong gas bekas keluar.

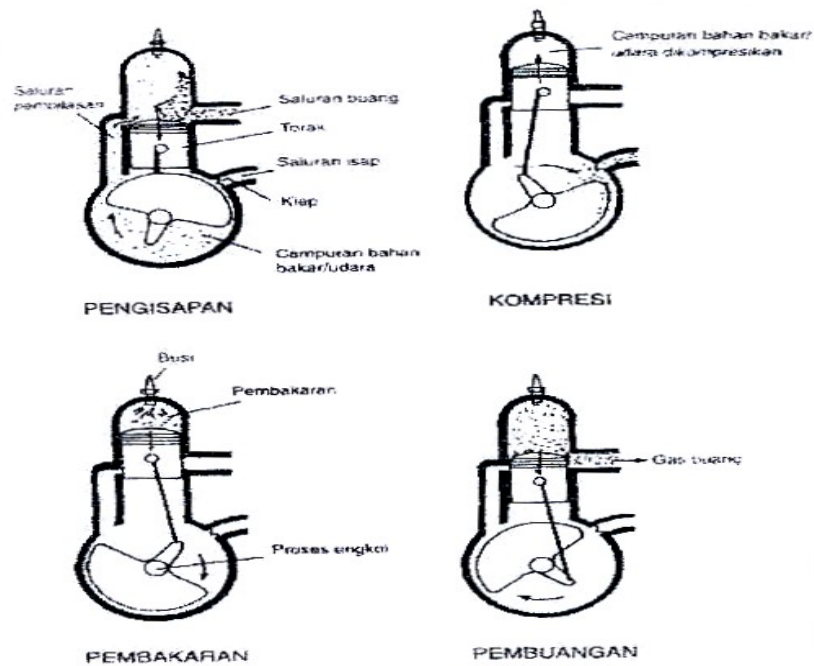
Suatu hal yang sangat penting pada motor 2 (dua) langkah ialah adanya lubang-lubang masuk dan buang sebagai pengganti katup. Piston yang bergerak dari dari TMB ke TMA dan sebaliknya menutup dan membuka lubang-lubang tersebut. Jadi motor 2 (dua) langkah umumnya tidak mempunyai katup masuk dan katub buang.

Kelemahan yang paling menonjol pada motor 2 (dua) langkah yaitu sangat singkatnya waktu yang tersedia untuk pemasukkan dan pembuangan gas bekas. Akibatnya bahan bakar baru ada yang tercampur dengan gas bekas atau sudah terbuang keluar bersama gas bekas sebelum sempat terbakar. Tapi kelemahan ini

telah diusahakan memperkecilnya dengan membuat bermacam sistem pembilasan. Pada motor bensin 2 (dua) langkah, karena pemasukan dan pengeluaran gas bekas tidak diatur oleh klep maka terdapat kelemahan, yaitu:

- 1) Dengan adanya lubang transfer dari lubang buang maka kompresi tidak dimulai dari TMB. Kerugian ini tidak sama pada masing-masing motor, berkisar antara 20-45%. Berarti lubang buang baru tertutup pada waktu piston sudah bergerak ada kalanya 80^0 putaran sesudah TMB.
- 2) Terlalu sedikit waktu untuk pemasukan gas baru dan pembuangan gas bekas sehingga besar kemungkinan sebagian gas bekas sehingga besar kemungkinan sebagian gas bekas tidak sempat keluar dan sebaliknya ada juga gas baru yang sudah keluar sebelum terbakar.

Agar lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Prinsip kerja motor 2 langkah

(Arends BPM; H Berenschot, 1980)

2.7 Sistem Bahan Bakar Injeksi (EFI)

Sistem bahan bakar tipe injeksi merupakan langkah inovasi yang dikembangkan untuk diterapkan pada sepeda motor. Tipe injeksi sebenarnya sudah mulai diterapkan pada sepeda motor dalam jumlah terbatas pada tahun 1980-an, dimulai dari sistem injeksi mekanis kemudian berkembang menjadi sistem injeksi elektronik. Sistem injeksi mekanis disebut juga dengan sistem injeksi kontinyu

(K-Jetronic) karena injektor menyemprotkan secara terus menerus ke setiap saluran masuk (intake manifold). Sedangkan sistem injeksi elektronis atau yang lebih dikenal dengan *Electronic Fuel Injection* (EFI), volume dan waktu penyemprotannya dilakukan secara elektronik. Sistem EFI kadang disebut juga dengan EGI (*Electronic Gasoline Injection*), EPI (*Electronic Petrol Injection*), PGM-FI (*Programmed Fuel Injection*) dan *Engine Management*.

2.7.1 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 bahan bakar bensin, pada umumnya proses penginjeksian bahan bakar terjadi di bagian ujung *intake manifold* 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.

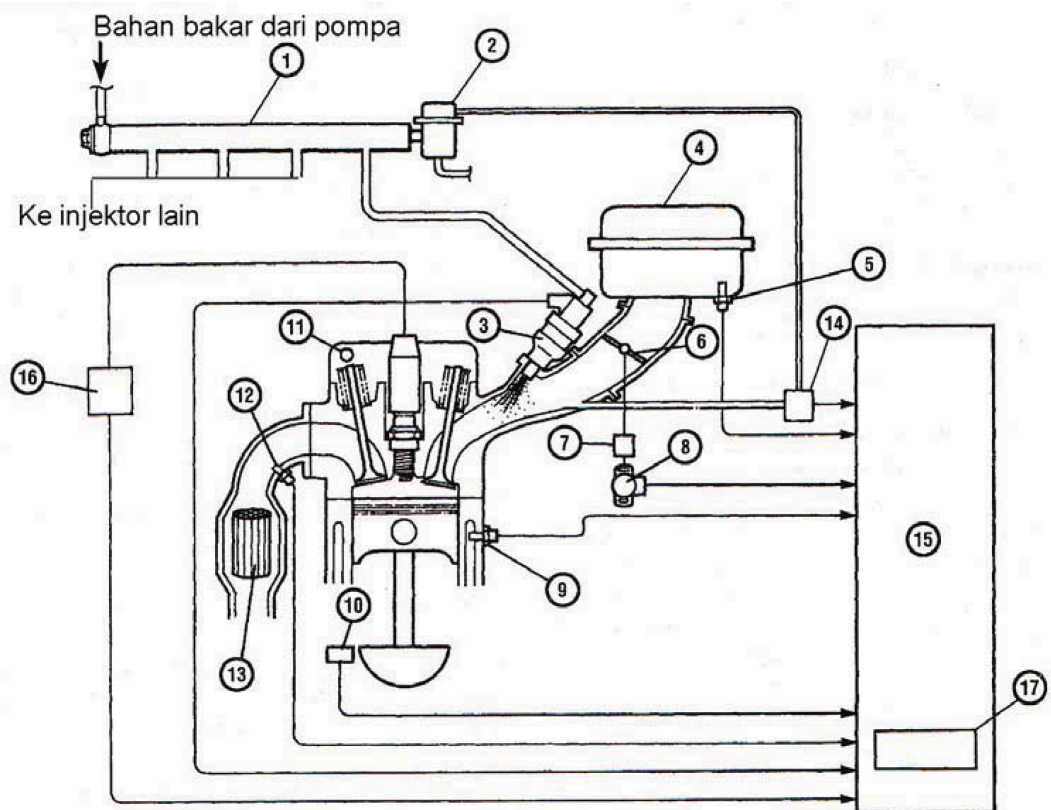
Secara ideal, sistem EFI harus dapat mensuplai sejumlah bahan bakar yang disemprotkan agar dapat bercampur dengan udara dalam perbandingan campuran yang tepat sesuai kondisi putaran dan beban mesin, kondisi suhu kerja mesin dan suhu atmosfer saat itu. Sistem harus dapat mensuplai jumlah bahan bakar yang bervariasi, agar perubahan kondisi operasi kerja mesin tersebut dapat dicapai dengan unjuk kerja mesin yang tetap optimal.

2.8. Konstruksi Dasar Sistem EFI

Secara umum, konstruksi sistem EFI dapat dibagi menjadi 3 bagian/sistem utama, yaitu; a) sistem bahan bakar (*fuel system*), b) sistem kontrol elektronik (*electronic control system*), c) sistem induksi/pemasukan udara (*air induction system*). Ketiga sistem ini akan dibahas satu persatu.

Jumlah komponen-komponen yang terdapat pada sistem EFI bisa berbeda pada setiap jenis sepeda motor. Semakin lengkap komponen sistem EFI yang digunakan, tentu kerja sistem EFI akan lebih baik sehingga bisa menghasilkan

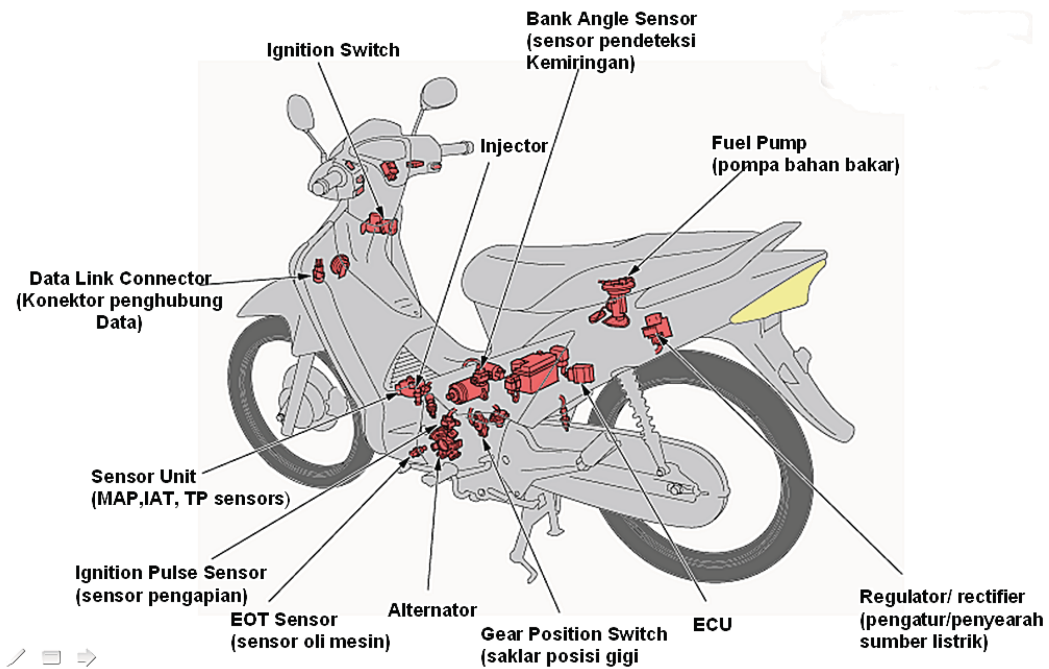
unjuk kerja mesin yang lebih optimal pula. Dengan semakin lengkapnya komponen-komponen sistem EFI (misalnya sensor-sensor), maka pengaturan koreksi yang diperlukan untuk mengatur perbandingan bahan bakar dan udara yang sesuai dengan kondisi kerja mesin akan semakin sempurna. Gambar dibawah ini memperlihatkan contoh skema rangkaian sistem EFI pada Yamaha GTS1000 pada (Gambar 2.5) dan penempatan komponen sistem EFI pada Honda Supra X 125 pada (Gambar 2.6)



Gambar 2.5 Skema rangkaian sistem EFI Yamaha GTS1000
(Jama, 2008)

Keterangan Gambar 2.5 :

1. *Fuel rail/delivery pipe* (pipa pembagi)
2. *Pressure regulator* (pengatur tekanan)
3. *Injector* (nozel penyemprot bahan bakar)
4. *Air box* (saringan udara)
5. *Air Temperature sensor* (sensor suhu udara)
6. *Throttle body butterfly* (katup throttle)
7. *Fast idle system*
8. *Throttle Position Sensor* (sensor posisi throttle)
9. *Engine/coolant temperature sensor* (sensor suhu air pendingin)
10. *Crankshaft position sensor* (sensor posisi poros engkol)
11. *Camshaft position sensor* (sensor posisi poros nok)
12. *Oxygen sensor*
13. *Catalytic converter*
14. *Intake air pressure sensor* (sensor tekanan udara masuk)
15. ECU (*Electronic Control Unit*)
16. *Ignition Coil* (koil pengapian)
17. *Atmospheric pressure sensor* (sensor tekanan udara atmosfer)

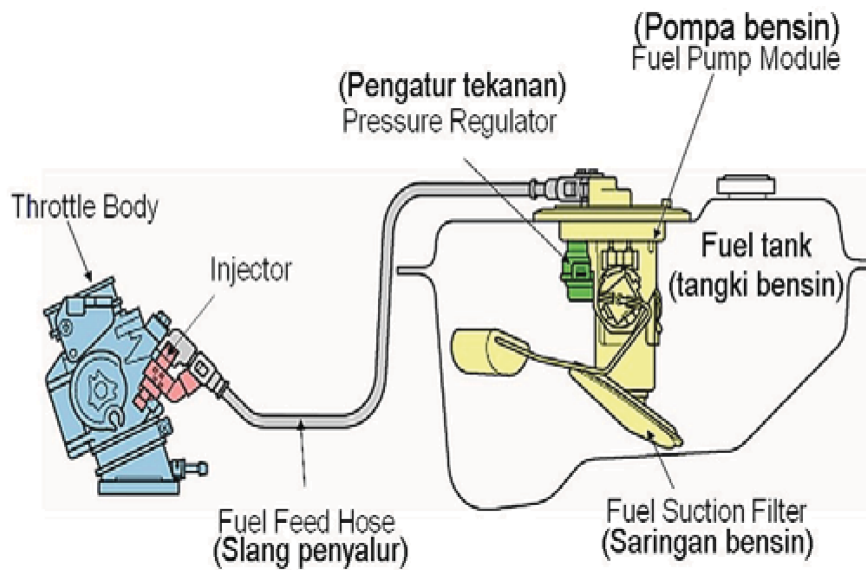


Gambar 2.6 Komponen sistem EFI pada sepeda motor Honda Supra X 125 (Jama, 2008)

17.1.1. Sistem Bahan Bakar

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

Agar lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Contoh komponen sistem bahan bakar pada sistem EFI Honda Supra X 125 (Jama, 2008)

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

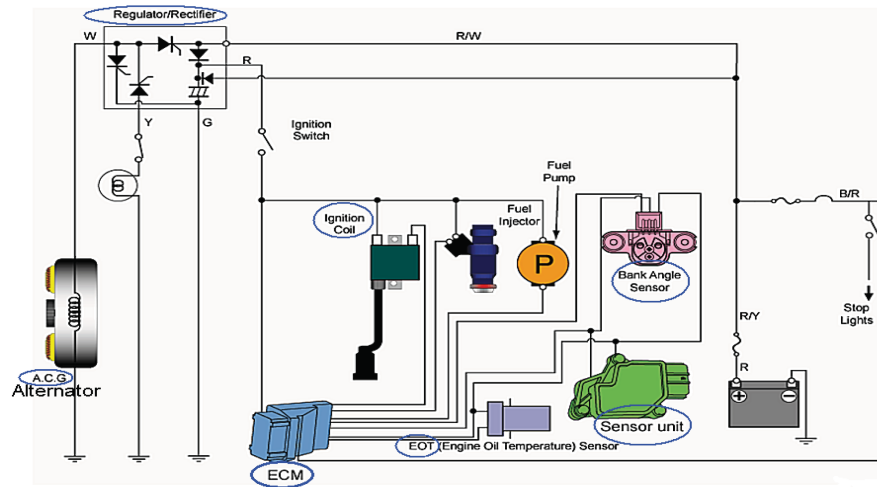
- 1) *Fuel suction filter*, menyaring kotoran agar tidak terhisap bahan bakar.
- 2) *Fuel pump module*, memompa dan mengalirkan bahan bakar dari tangki bahan bakar ke *injector*. Penyaluran bahan bakar harus lebih banyak dibandingkan dengan kebutuhan mesin supaya tekanan dalam sistem bahan bakar bisa dipertahankan setiap waktu walaupun kondisi mesin berubah-ubah.
- 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/cm², 43 psi). Bila bahan bakar yang dipompa menuju *injector* terlalu besar maka *regulator* mengembalikan bahan bakar yang berlebih 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*) biasanya sebelum katup masuk, namun ada juga yang ke *throttle body*. Volume penyemprotan disesuaikan oleh waktu pembukaan nozel/injektor. Lama dan banyaknya penyemprotan diatur oleh ECM (*Electronic Control Module*) atau ECU (*Electronic Control Unit*).

5)1.2. Sistem Kontrol Elektronik

Komponen sistem kontrol elektronik terdiri dari beberapa sensor (pengindera), seperti MAP (*Manifold Absolute Pressure*) sensor, TP (*Throttle Position*) sensor, IAT (*Intake Air Temperature*) sensor, *bank 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.

Agar lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Rangkaian sistem kontrol elektronik pada Honda Supra X 125 (Jama, 2008)

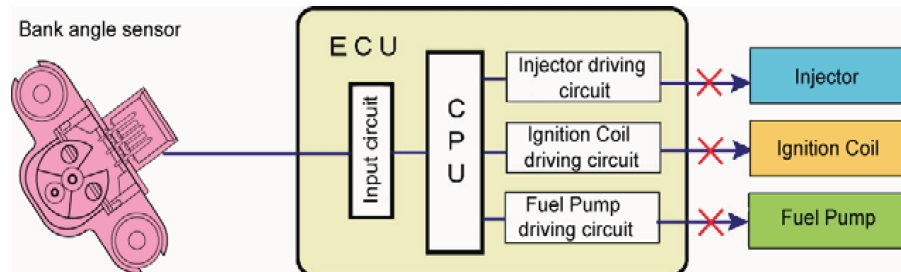
Secara garis besar fungsi dari masing-masing komponen sistem kontrol elektronik antara lain sebagai berikut;

- 1) *ECU/ECM* berfungsi 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 suhu udara, suhu oli mesin, suhu air pendingin, tekanan atau jumlah udara masuk, posisi katup throttle/katup gas, putaran mesin 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 pengapian.

- 2) *MAP (Manifold Air Pressure) sensor* berfungsi 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*.
- 3) *IAT (Intake Air Temperature) sensor* berfungsi 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* berfungsi 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 elektronis, karena menggerakkan katup adalah elektromesin yang dikendalikan oleh ECU tanpa kabel gas yang terhubung dengan pedal gas.
- 5) *Engine Oil Temperature sensor* berfungsi memberikan sinyal ke ECU berupa informasi (deteksi) tentang suhu oli mesin.
- 6) *Bank Angle sensor*, merupakan sensor sudut kemiringan. Pada sepeda motor yang menggunakan sistem EFI biasanya dilengkapi dengan *Bank Angle sensor* yang bertujuan untuk pengaman saat kendaraan terjatuh dengan sudut kemiringan minimal sekitar 55°.

Sinyal atau informasi yang dikirim *bank 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. Dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Informasi *bank angle sensor* kepada ECU untuk meng-OFF-kan injektor, koil pengapian, dan pompa bahan bakar saat sudut kemiringan yang telah ditentukan (Jama, 2008)

6)1.3. 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. Agar lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Konstruksi throttle body (Jama, 2008)

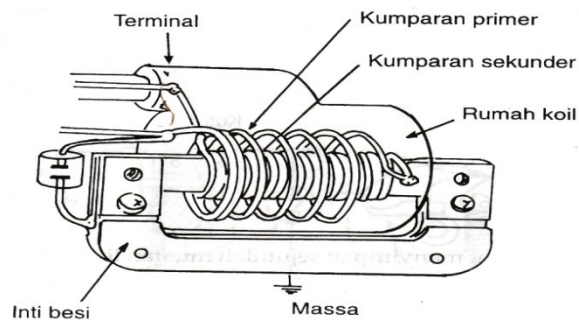
2.9. Sistem Pengapian

Sistem pengapian (*ignition system*) merupakan salah satu sistem yang ada pada sebuah kendaraan bermotor. Generator adalah salah satu komponen pembangkit listrik untuk menghasilkan arus listrik yang berfungsi memberi arus

bagi sistem penerangan, pengisian, signal, dan sistem pengapian juga dibutuhkan untuk proses kerja mesin, dimana arus listrik yang dihasilkan berasal dari kinerja putaran magnet yang mengelilingi kumparan-kumparan (*sepul*) dan mengakibatkan terjadinya induksi elektromagnetik. Ada dua macam tipe pengapian, yaitu; sistem pengapian AC dan DC. Sistem pengapian AC adalah sistem pengapian secara langsung, besar kecilnya arus yang dihasilkan bergantung pada putaran mesin (*rpm*). Arus dihasilkan oleh generator dan diteruskan melalui komponen pengapian guna menghasilkan loncatan bunga api untuk menggerakkan sistem kerja mesin. Sedangkan sistem pengapian DC adalah sistem pengapian searah (*konstant*). Yang arus listriknya berasal dari bertegangan AC lalu dirubah dengan menggunakan kiprok (*rectifier/regulator*), di mana kiprok (*rectifier/regulator*) berfungsi sebagai penyearah dengan merubah arus bertegangan AC menjadi arus bertegangan DC dan berfungsi mengatur kestabilan arus listrik dari generator ke unit kelistrikan agar tidak terjadi kelebihan tegangan.

2.9.1. Coil / koil

Koil (Gambar 2.11.) berfungsi untuk menyimpan energi pengapian dan menyalurkannya dalam bentuk gelombang tinggi melalui kabel pengapian tegangan tinggi. *Coil* meningkatkan tegangan yang keluar dari koil menjadi lebih tinggi untuk diberikan ke busi. Karena itu koil termasuk jenis transformator *step up*. Transformator *step up* yaitu jenis transformator yang jumlah lilitan sekunder lebih besar atau lebih banyak dibandingkan jumlah lilitan kumparan primer. Kebalikan dari transformator *step up* yaitu transformator *step down*.



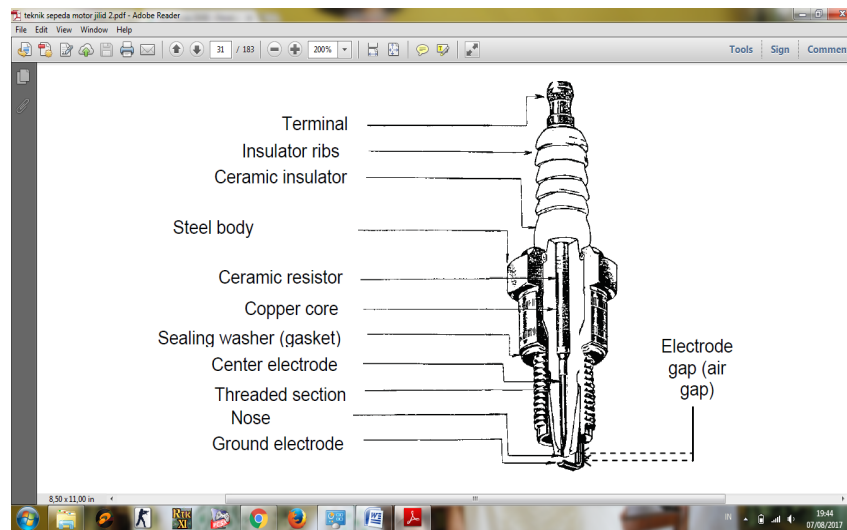
Gambar 2.11. Koil

(Daryanto, 2008)

2.9.2. Busi

Busi adalah salah satu alat pemercik api, ada beberapa macam bahan elektroda busi dan masing-masing memberikan sifat yang berbeda. Bahan elektroda dari perak mempunyai kemampuan menghantarkan panas yang baik. Tetapi karena harga perak mahal maka diameter elektroda tengah dibuat kecil. Busi ini umumnya digunakan untuk mesin berkemampuan tinggi atau balap. Bahan elektroda dari platina tahan karat, tahan terhadap panas yang tinggi serta dapat mencegah penumpukan sisa pembakaran.

Konstruksi busi dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Konstruksi Busi
(Jama, 2008)

2.10 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah suatu cairan yang sangat dibutuhkan guna untuk kerja mesin, di mana sistem kerja mesin dilakukan dengan membakar bahan bakar yang dihisap melalui fuel pump kemudian dikabutkan oleh *nozzle* dan sudah dipadatkan didalam ruang bakar dengan menggunakan penyalan api busi.

2.10.1 Pertamina

Pertamax adalah bahan bakar minyak andalan Pertamina. Pertamina, seperti halnya Premium, adalah produk BBM dari pengolahan minyak bumi. Pertamina dihasilkan dengan penambahan zat aditif dalam proses pengolahannya di kilang minyak. Pertamina pertama kali diluncurkan pada tanggal 10 Desember 1999 sebagai pengganti Premix 1994 dan Super TT 1998 karena unsur MTBE yang berbahaya bagi lingkungan. Selain itu, Pertamina memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan Premium. Pertamina direkomendasikan untuk kendaraan yang

memiliki kompresi 9,1-10,1, terutama yang telah menggunakan teknologi setara dengan *Electronic Fuel Injection* (EFI) dan *catalytic converters* (pengubah katalitik).

2.11. Prestasi Motor Bakar

Pada umumnya performance atau prestasi mesin bisa diketahui dengan membaca dan menganalisis parameter yang ditulis dalam sebuah laporan atau media lain. Biasanya untuk mengetahui daya, torsi, dan bahan bakar spesifik dari mesin tersebut.

Secara umum daya berbanding lurus dengan luas piston sedang torsi berbanding lurus dengan volume langkah. Parameter tersebut relatif penting digunakan pada mesin yang berkemampuan kerja dengan variasi kecepatan operasi dan tingkat pembebanan. Daya maksimum didefinisikan sebagai kemampuan maksimum yang bisa dihasilkan oleh suatu mesin. Adapun torsi poros pada kecepatan tertentu mengindikasikan kemampuan untuk memperoleh aliran udara (dan juga bahan bakar) yang tinggi kedalam mesin pada kecepatan tersebut. Sementara suatu mesin dioperasikan pada waktu yang cukup lama, konsumsi bahan bakar suatu efisiensi mesinnya menjadi suatu hal yang dirasa sangat penting.

2.11.1 Volume Silinder

Volume silinder antara TMA dan TMB disebut volume langkah torak (V_l). Sedangkan volume TMA dan kepala silinder (tutup silinder) disebut volume sisa (V_s). Volume total (V_t) ialah isi ruang antara torak ketika berada di TMB sampai tutup silinder.

$$V_t = V_l + V_s \dots\dots\dots$$

(2.1)

Volume langkah mempunyai satuan yang tergantung pada satuan diameter silinder (D) dan panjang langkah torak (L) biasanya mempunyai satuan *centimetercubic* (cc) atau *cubicinch* (cu.in).

$$V_l = \text{luas lingkaran} \times \text{panjang langkah}$$

$$V_l = \pi r^2 \cdot L$$

$$V_l = \pi^2 \cdot L$$

Dengan demikian besaran dan ukuran motor bakar menurut volume silinder tergantung dari banyaknya silinder yang digunakan dan besarnya volume silinder.

2.11.2 Perbandingan Kompresi

Rasio kompresi adalah perbandingan antara volume langkah torak dibandingkan dengan volume ruang bakar saat torak pada posisi TMA. Besaran ruang bakar ini nantinya akan sangat menentukan dalam tugas menampung volume udara – bahan bakar yang sudah dihisap oleh torak kemudian dipadatkan di ruang bakar sebelum akhirnya terjadi proses pembakaran, inilah yang disebut dengan rasio kompresi.

$$CR = \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan ; b = Diameter torak (*bore*)

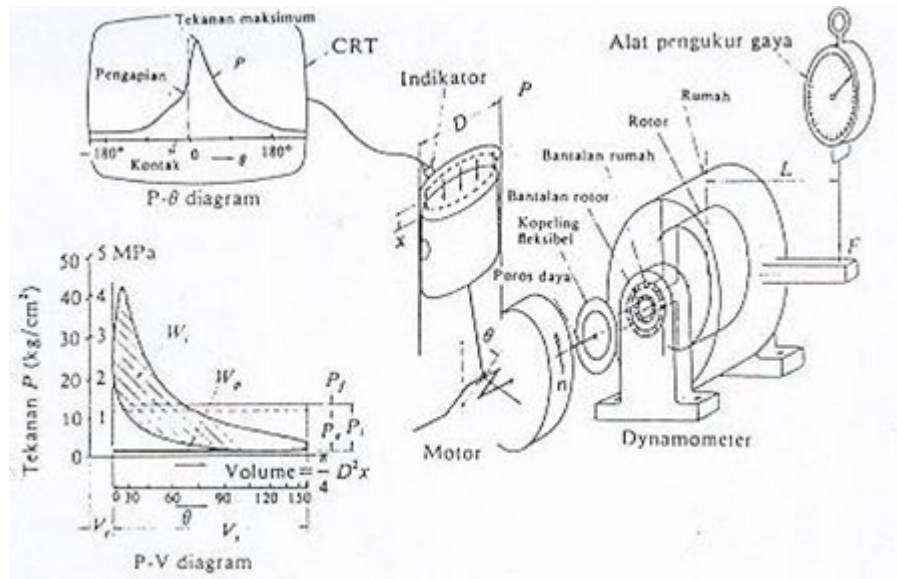
s = Langkah torak (*stroke*)

V_c = Volume ruang bakar + volume paking cyiliner head

2.11.3 Daya Mesin

Pada motor bakar, daya yang berguna adalah daya poros. Daya poros diitimbulkan oleh bahan bakar yang dibakar dalam silinder dan selanjutnya menggerakkan semua mekanisme. Unjuk kerja motor bakar pertama-tama tergantung dari daya yang ditimbulkan.

Agar dapat memahami alat unjuk kerja motor bakar dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Alat Tes Prestasi Motor Bakar
(Soenarta & Furuham, 1995)

Gambar (2.13) di atas menunjukkan peralatan yang dipergunakan untuk mengukur nilai yang berhubungan dengan keluaran motor pembakaran yang seimbang dengan hambatan atau beban pada kecepatan putaran konstan (n). Jika n berubah motor pembakaran menghasilkan daya untuk mempercepat atau memperlambat bagian yang berputar.

Motor pembakaran ini dihubungkan dengan dinamometer dengan maksud mendapatkan keluaran dari motor pembakaran dengan cara menghubungkan poros motor yang akan mengaduk air yang di dalamnya. Hambatan ini akan menimbulkan torsi (T) sehingga nilai daya (P) dapat ditentukan sebagai berikut :

$$P = (\text{kW}) \dots \dots \dots (2.3)$$

Dengan :

N = putaran mesin (rpm)

T = torsi (N.m)

Torak yang didorong oleh gas membuat usaha. Baik tekanan maupun suhunya akan turun waktu gas berekspansi. Energi panas diubah menjadi usaha mekanis. Konsumsi energi panas di tunjukkan langsung oleh turunnya suhu. Kalau toraknya tidak mendapatkan hambatan dan tidak menghasilkan usaha gas tidak akan berubah meskipun tekanannya turun.

2.11.4 Tekanan Efektif rata-rata

Besar nilai P_i merupakan tekan efektif rata-rata indikator (*indikator mean effective pressure* : IMEP). Nilai P_i , dapat di temukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

Persamaan (4) :

$$P_i = \dots\dots\dots (2.4)$$

Pada tekanan konstan selama torak pada langkah ekspensi P_i dapat memudahkan perhitungan besar usaha indikator W_i . Besar nilai P_i mesin 4 langkah terjadi setiap 2 putaran sehingga besar nilai N_i indikator dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut : Dengan satuan Si (m^3 , kPa dan rps).

$$N_i = V_1 \cdot P_i^{n/2} \text{ (kW)} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dengan :

V_1 = volume langkah (m^3)

P_i = tekanan efektif rata-rata indikator (kPa)

n = putaran mesin (rpm)

Pada mesin 2 langkah nilai P_i dihasilkan pada setiap putaran, secara teoritis nilai N_i akan menjadi dua kali lebih besar jika dibandingkan dengan persamaan 4, tetapi pada umumnya besar nilai P_i pada mesin 2 langkah lebih kecil dibanding

dengan mesin 4 langkah. Nilai N_i disebut sebagai keluaran indikator yang menyatakan keluaran, disebabkan adanya tekanan pada torak.

Daya yang dapat dimanfaatkan untuk memutar mesin disebut sebagai keluaran efektif (*brake mean out put*), nilai N_e dirumuskan sebagai berikut :

$$N_e = V_1 \cdot N \cdot BMEP \cdot 2 \quad (\text{kW})$$

.....(2.6)

Besar keluaran efektif dapat diukur menggunakan sebuah dinamometer. Nilai BMEP adalah merupakan tekanan efektif rata-rata (*brake mean effective pressure*). Besar nilai N_e yang ditentukan oleh produk dari volume langkah V_1 , kecepatan putaran dan BMEP yang berhubungan dengan tekanan gas rata-rata merupakan keluaran suatu pembakaran yang bermanfaat. BMEP adalah besar nilai yang menunjukkan daya mesin setiap satuan volume silinder pada putaran tertentu dan tidak tergantung dari ukuran motor bakar.

Besar nilai BMEP dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$BMEP = \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan :

- P = daya (W)
- V_d = volume langkah total silinder
- Z = 2 untuk mesin 4 langkah, 1 untuk mesin 2 langkah

2.12 Menentukan Efisiensi Energi

2.12.1 Efisiensi Thermis

Perbandingan antara energi yang dihasilkan dan energi yang dimasukkan pada proses pembakaran bahan bakar disebut efisiensi termis rem (*brake thermal efficiency*) dan ditentukan sebagai berikut :

$$\eta_{bt} = \frac{W}{Q} \times 100 (\%) \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan :

H = nilai kalor untuk bahan bakar
 SFC = konsumsi bahan bakar spesifik
 (Soenarto & Furuham, 1995)

Nilai kalor mempunyai hubungan dengan berat jenis. Pada umumnya semakin tinggi berat jenis maka semakin rendah nilai kalornya

Besar efisiensi termis (η_{bt}) bervariasi tergantung dari tipe motor dan cara pengoperasiannya. Angka ini akan naik sampai 84% untuk motor diesel dengan putaran rendah, sedang pada motor diesel biasanya 34-50 %, motor otto 25 – 33%, pada motor dua langkah maka akan semakin tirin lagi.

2.12.2 Konsumsi Bahan Bakar

Besar pemakaian konsumsi bahan bakar (SFC/Spesifik Fuel Consumption) Ditentukan dalam kg/kWh. Konsumsi bahan bakar spesifik adalah pemakaian bahan bakar yang terjadi perjam untuk setiap daya yang dihasilkan pada motor bakar.

$$SFC = \frac{W}{P} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dengan :

SFC = konsumsi bahan bakar sfesifik (kg/kWh)

P = daya mesin (kW)

Sedangkan nilai m_f dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

.....(2.10)

Dimana :

b = volume gelas ukur (cc)

t = waktu (detik)

ρ_{bb} = berat jenis bahan bakar (kg / l)

m_f = adalah penggunaan bahan bakar per jam pada kondisi tertentu

(Soenarta & Furuham, 1995)

Nilai kalor mempunyai hubungan berat jenis pada umumnya semakin tinggi berat jenis maka semakin rendah kalornya. Pembakaran dapat berlangsung dengan sempurna, tetapi juga dapat tidak sempurna. Jika bahan bakar tidak mengandung bahan-bahan yang tidak dapat terbakar, maka pembakaran akan sempurna sehingga hasil pembakaran berupa gas pembakaran saja.

Panas yang keluar dari pembakaran dalam silinder, motor akan memanaskan gas pembakaran sedemikian tinggi, sehingga gas-gas itu memperoleh tekanan yang lebih tinggi pula. Tetapi bilamana bahan bakar tidak terbakar dengan sempurna, sebagian bahan bakar itu akan tersisa. Dengan demikian akan terjadi pembakaran gas yang tersisa, apabila dibiarkan lama kelamaan akan menjadi liat bahkan menjadi keras. Akibatnya, panas yang terjadi tidak banyak, sehingga suhu dari gas pembakaran turun dan tekanan gas akan turun pula. Jadi dapat disimpulkan bahwa pembakaran yang kurang sempurna dapat berakibat :

1. Kerugian panas dalam motor jadi besar, sehingga efisiensi motor menjadi turun. Usaha dari motor turun pula pada penggunaan bahan bakar yang tetap.
2. Sisa pembakaran terdapat pula pada lubang pembuangan antara katup dan dudukannya, terutama pada katup buang sehingga katup tidak dapat menutup dengan rapat.

3. Sisa pembakaran yang telah menjadi keras yang melekat antara torak dan dinding silinder menghalangi pelumasan, sehingga torak dan silinder mudah aus.