

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Pengertian Motor Bakar.

Motor bakar adalah mesin 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.<sup>[4]</sup>

##### 2.1.1 Motor Bakar Bensin.

Mesin bensin atau mesin Otto dari *Nikolaus Otto* adalah sebuah tipe mesin pembakaran dalam yang menggunakan nyala busi untuk proses pembakaran, dirancang untuk menggunakan bahan bakar bensin atau yang sejenis. Mesin bensin berbeda dengan mesin diesel dalam metode pencampuran bahan bakar dengan udara, dan mesin bensin selalu menggunakan penyalaan busi untuk proses pembakaran.<sup>[6]</sup>

Pada mesin bensin, pada umumnya udara dan bahan bakar dicampur sebelum masuk ke ruang bakar, sebagian kecil mesin bensin modern mengaplikasikan injeksi bahan bakar langsung ke silinder ruang bakar termasuk mesin bensin 2 tak untuk mendapatkan emisi gas buang yang ramah lingkungan. Pencampuran udara dan bahan bakar dilakukan oleh karburator atau sistem injeksi, keduanya mengalami perkembangan dari sistem manual sampai dengan penambahan sensor-sensor elektronik. Sistem Injeksi Bahan bakar di motor otto

terjadi diluar silinder, tujuannya untuk mencampur udara dengan bahan bakar *seproporsional* mungkin. Hal ini disebut EFI. <sup>[14]</sup>

### **2.1.2 Prinsip Kerja Motor Bensin**

Prinsip kerja motor bensin, secara sederhana dapat dijelaskan sebagai berikut : campuran udara dan bensin dari karburator diisap masuk ke dalam silinder, dimampatkan oleh gerak naik torak, dibakar untuk memperoleh tenaga panas, yang mana dengan terbakarnya gas-gas akan mempertinggi suhu dan tekanan. Bila torak bergerak turun naik di dalam silinder dan menerima tekanan tinggi akibat pembakaran, maka suatu tenaga kerja pada torak memungkinkan torak terdorong ke bawah. Bila batang torak dan poros engkol dilengkapi untuk merubah gerakan turun naik menjadi gerakan putar, torak akan menggerakkan batang torak dan yang mana ini akan memutar poros engkol. Dan juga diperlukan untuk membuang gas-gas sisa pembakaran dan penyediaan campuran udara bensin pada saat-saat yang tepat untuk menjaga agar torak dapat bergerak secara periodik dan melakukan kerja tetap. <sup>[14]</sup>

### **2.1.3 Sistem Elektronik Fuel Injection (EFI)**

Mesin mobil yang lama menggunakan karburator *konvensional*. Jumlah bahan bakar yang diperlukan oleh mesin di atur oleh karburator. Pada mesin-mesin modern sekarang ini menggunakan system EFI maka jumlah bahan bakar dikontrol lebih akurat oleh komputer (*Elektronik Control Unit*) ECU. <sup>[14]</sup>

Sistem EFI juga dikenal dengan sebutan *Multi Point Sequential Elektronik*, yakni model injeksi yang memiliki kontribusi besar pada penghematan bahan

bakar, sekaligus menciptakan mesin motors yang ramah terhadap lingkungan. Terdiri dari satu injektor di tiap silindernya (4 silinder punya 4 injektor) yang letak injektornya berada di mulut ruang bakar, tepatnya di belakang valve intake atau katup masuk pada mesin. <sup>[14]</sup>

Keunggulan dari model ini, tidak ada bensin yang sempat menguap atau terbuang percuma sebelum masuk ke ruang bakar, sebab jarak antara injektor ke mulut ruang bakar sangat dekat, sehingga begitu katup masuk terbuka, injektor akan langsung bereaksi menyemprotkan bahan bakar masuk ke ruang bakar. Hasilnya, proses pengabutan bahan bakar yang lebih sempurna..

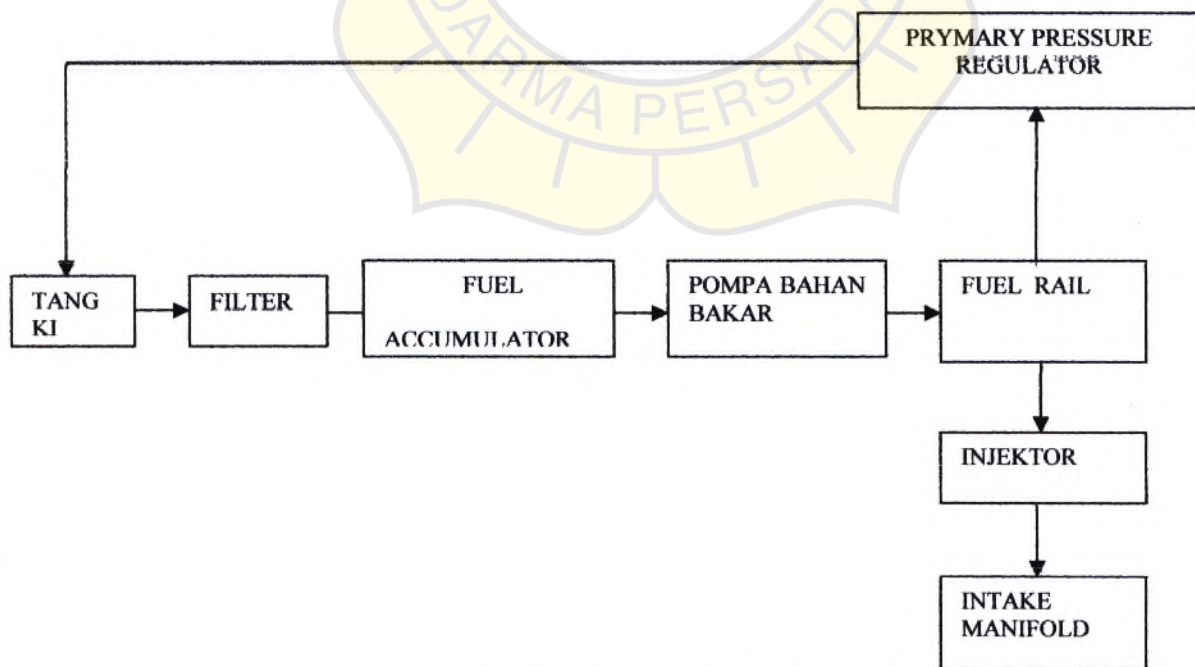
Dukungan *fleksibel* ECU untuk dapat menggabungkan kerja mekanis dengan kontrol elektronik, dibutuhkan peranti yang dikenal dengan sebutan ECM (*Elektronik Control Module*) atau ECU (*Elektronik Control Unit*) yang bertugas mengontrol suplai bahan bakar, pemasukan udara, dan pengapian secara elektronik berdasarkan input dari sensor dan switch <sup>[14]</sup>

**Tabel 2.1** Sensor di Intake Manifold

Sensor	Fungsi
<i>Water Temperatur Sensor</i>	Mengukur temperatur air radiator
<i>Manifold absolute pressure</i>	Mengukur tekanan udara masuk
<i>Intake air temperatur</i>	Mengukur temperatur udara masuk
<i>Throttle position sensor</i>	Mengukur sudut pembukaan trottle

Singkatnya, ECU menerima informasi berupa sinyal dari sensor atau switch yang bertugas memonitor setiap kondisi pengoperasian mesin. Berdasarkan

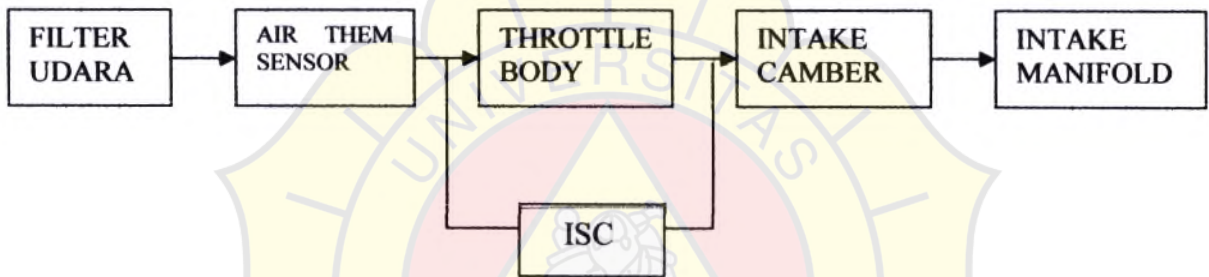
sinyal tersebut, ECU melakukan kalkulasi untuk mencari kondisi optimum dengan cara membandingkan input dari sensor dengan database atau engine mapping yang tersimpan dalam program ECU. Selanjutnya, hasil kalkulasi tadi akan diubah oleh ECU menjadi sinyal untuk memerintahkan aktuator bekerja. Misalnya memerintahkan injektor untuk menyembrotkan bahan bakar, atau memerintahkan ignition coil untuk melepaskan listrik tegangan tinggi pada busi,. ECU pada mesin motors 4 tak Toyota *4s-fe* didesain *se-fleksibel* mungkin agar dapat mengoperasikan injektor sekaligus menentukan durasi waktu injeksi bahan bakar yang optimal sesuai dengan kondisi pengoperasian mesin. Selain itu, ECU dapat mengontrol pengoperasian tiap-tiap injektor agar bekerja tidak secara simultan atau bersamaan, melainkan bekerja menurut urutan waktu pengapian (*Firing Order*). Tujuannya agar bahan bakar yang disemprotkan tidak ada yang terbuang percuma, sebab langsung dimanfaatkan untuk proses pembakaran di ruang bakar. <sup>[14]</sup>



**Gambar 2.1** Diagram aliran bahan bakar pada system EFI

**Tabel 2.2** Komponen Saluran Bahan Bakar

Komponen	Fungsi
Tangki	Tempat bahan bakar
Filter	Sebagai penyaring bahan bakar
Pompa bahan bakar	Memompa bahan bakar
Fuel accumulator	Menahan tekanan bahan bakar agar tetap stabil
Pompa bahan bakar	Memompa bahan bakar
<i>Fuel rail</i>	Tempat bahan bakar bertekanan
<i>Primary pressure regulator</i>	Pengatur tekanan bahan bakar dan pipa saluran balik
<i>Injektor</i>	Menyemprotkan bahan bakar



**Gambar 2.2** Diagram aliran udara pada sistem EFI

#### 2.1.4 Jenis Sistem Injeksi Bahan Bakar

Secara garis besar cara kerja sistem injeksi pada motor bensin dapat dibedakan menjadi 3 jenis yaitu ;

1. Sistem injeksi secara mekanik

Pada sistem ini penginjeksian/penyemprotan bahan bakar dilakukan secara mekanik yaitu sistem *K-Jetronic*

2. Sistem Injeksi Semi Elektronik (kombinasi antara mekanik dan elektronik)

Pada sistem ini penginjeksian/penyemprotan bahan bakar dilakukan secara semi elektronik. Yaitu sistem *KE-Jetronic*.

### 3. Sistem Injeksi Elektronik /*Electronic Fuel Injection* (EFI)

Pada sistem ini pengaturan penginjeksian/penyemprotan bahan bakar pada injektor dilakukan secara elektronik. Sistem yang menggunakan cara ini yaitu sistem *D-Jetronic* (D-EFI), *L-Jetronic* (L-EFI) dan *Motronic* (*Engine Managemen*).

Ditinjau dari cara kerja injectornya, sistem injeksi pada motor bensin di bedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu :

1. Sistem Injeksi Secara Kontinue/Terus menerus sepanjang tekanan bensin pada sistem melebihi tekanan pegas injektor. Sistem injeksi yang menggunakan cara seperti ini yaitu sistem *K-Jetronic* dan *KE-Jetronic*.

2. Sistem Injeksi Secara Periodik/Terputus-putus.

Pada sistem ini penyemprotan injector dilakukan secara periodik diatur oleh signal yang dikirim oleh komputer mesin(ECU). Sistem injeksi yang menggunakan sistem ini adalah *D-Jetronic* (D-EFI) dan *L-Jetronic* (D-EFI)

3. Masa Penginjeksian

Ada 3 (tiga) tipe masa penginjeksian pada sistem injeksi secara periodik yaitu :

- a. Penginjeksian secara simultan (semua injektor menyemprotkan secara bersamaan)
- b. Penginjeksian secara group (penyemprotan injektor dilakukan secara kelompok)
- c. Penginjeksian secara berurutan (Masing-masing injektor menyemprotkan sendiri-sendiri)/*Squensial*.

Menurut pemakaian injektornya, sistem injeksi pada motor bensin dibedakan menjadi :

- Satu injektor untuk semua silinder (*Mono Jetronic*)
- Memakai satu injektor untuk setiap silinder (*multi poin injector*)

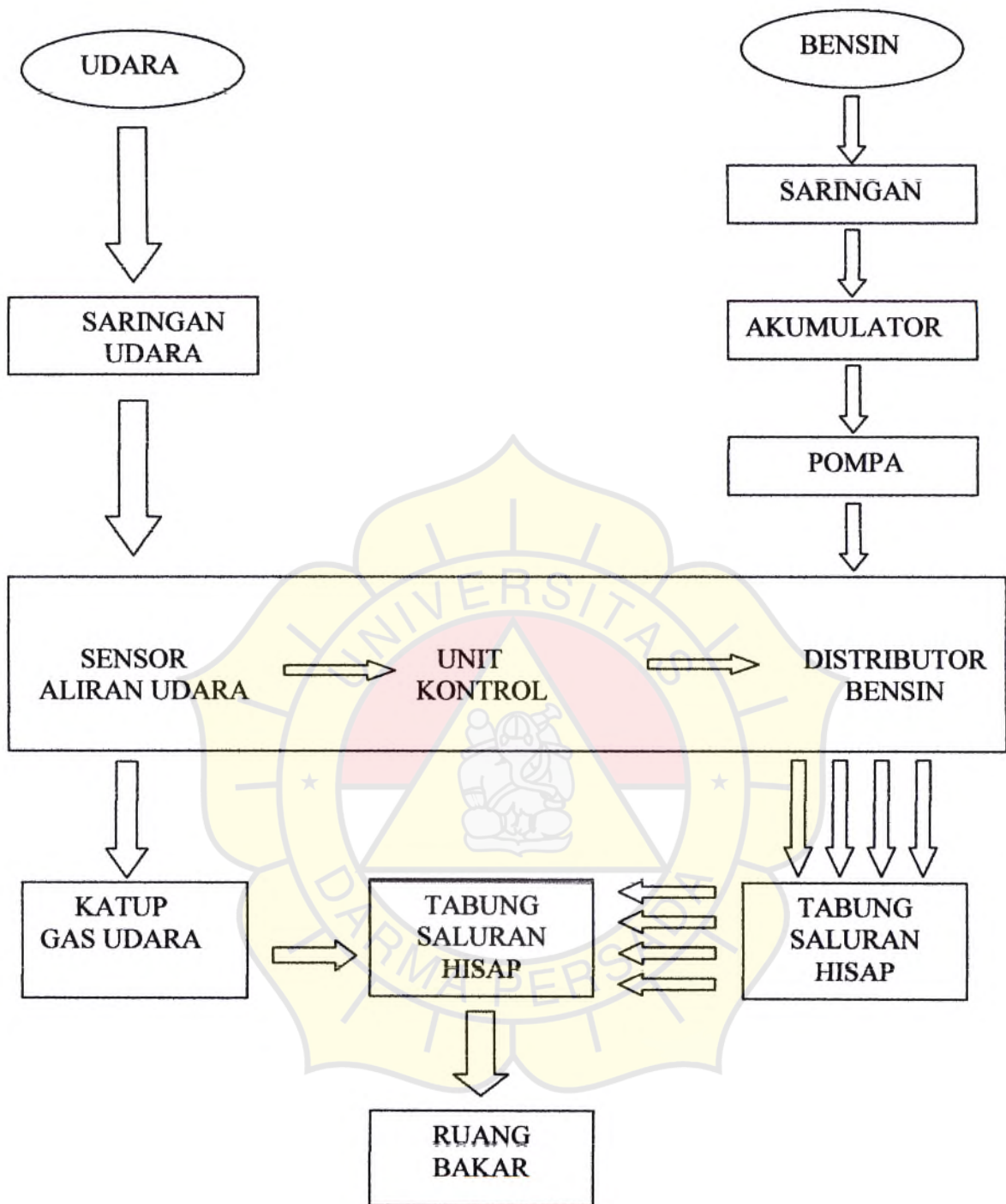
Daya maksimum/momen putar yang dihasilkan mesin dengan menggunakan sistem injeksi bensin jauh lebih besar dibandingkan dengan karburator. Hal ini selain disebabkan karena konstruksi saluran masuk/intake manifold saluran gas buang, dan tekanan kompresi yang lebih baik, juga karena campuran udara dan bahan bakar yang dihasilkan hampir mendekati perhitungan secara ideal pada setiap kondisi mesin. <sup>[14]</sup>

### **2.1.5 Sistem Pengapian**

Adalah waktu pengapian (*spark/ignition*) yang terjadi pada combustion chamber (pada saat *power stroke*) relatif terhadap posisi piston dan kecepatan angularcrankshaft. Setting yang tepat akan mempengaruhi ketahanan mesin, keiritan bahan bakar dan performa mesin. Untuk *Double Overhead Camshaft* (DOHC) standar pengapian 8 +/- 2 derajat. <sup>[14]</sup>

Sistem pengapian pada mesin EFI memerlukan berbagai sensor yaitu :

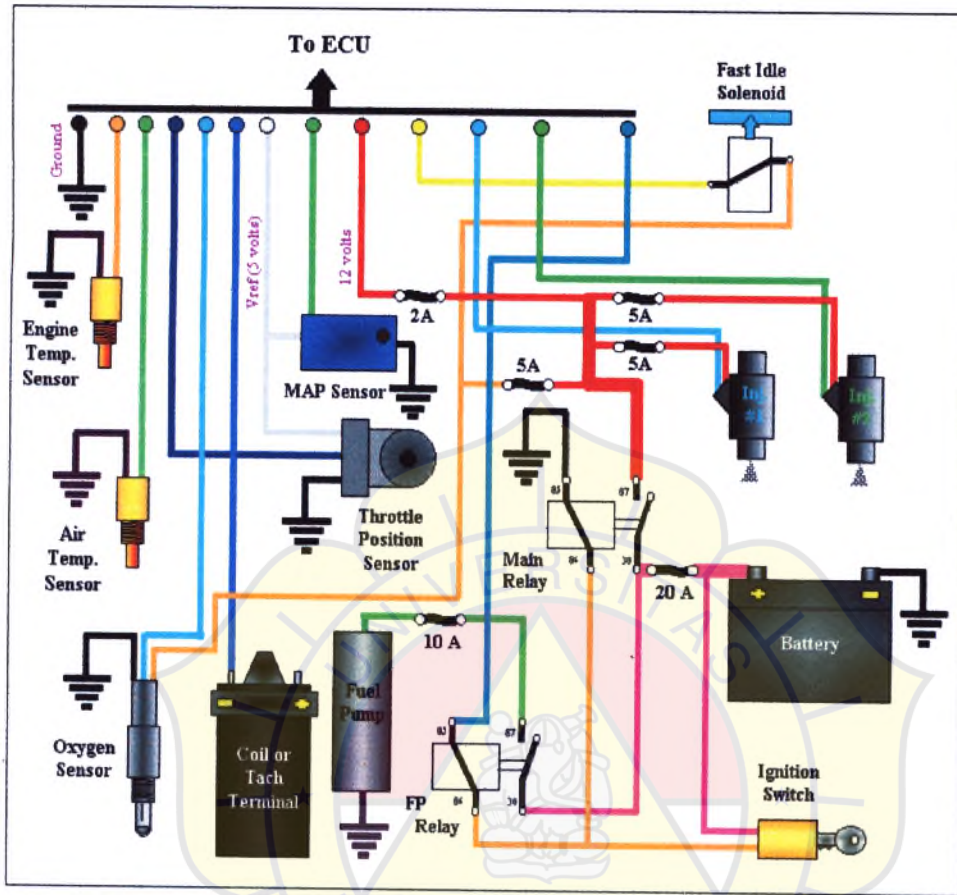
- 1 *Crankshaf position sensor*, yang berfungsi menentukan posisi derajat pengapian
- 2 *Knoking sensor*, berfungsi sebagai pengatur pengapian disaat terjadi *over heating*.



**Diagram 2.4** Sistem injeksi untuk mesin 4s-fe 1838 cc <sup>[14]</sup>



Dari kedua sensor ini ECU akan mendapatkan signal untuk memberikan arus ke coil.<sup>[14]</sup>



Gambar 2.3 Sistem pengapian<sup>[15]</sup>

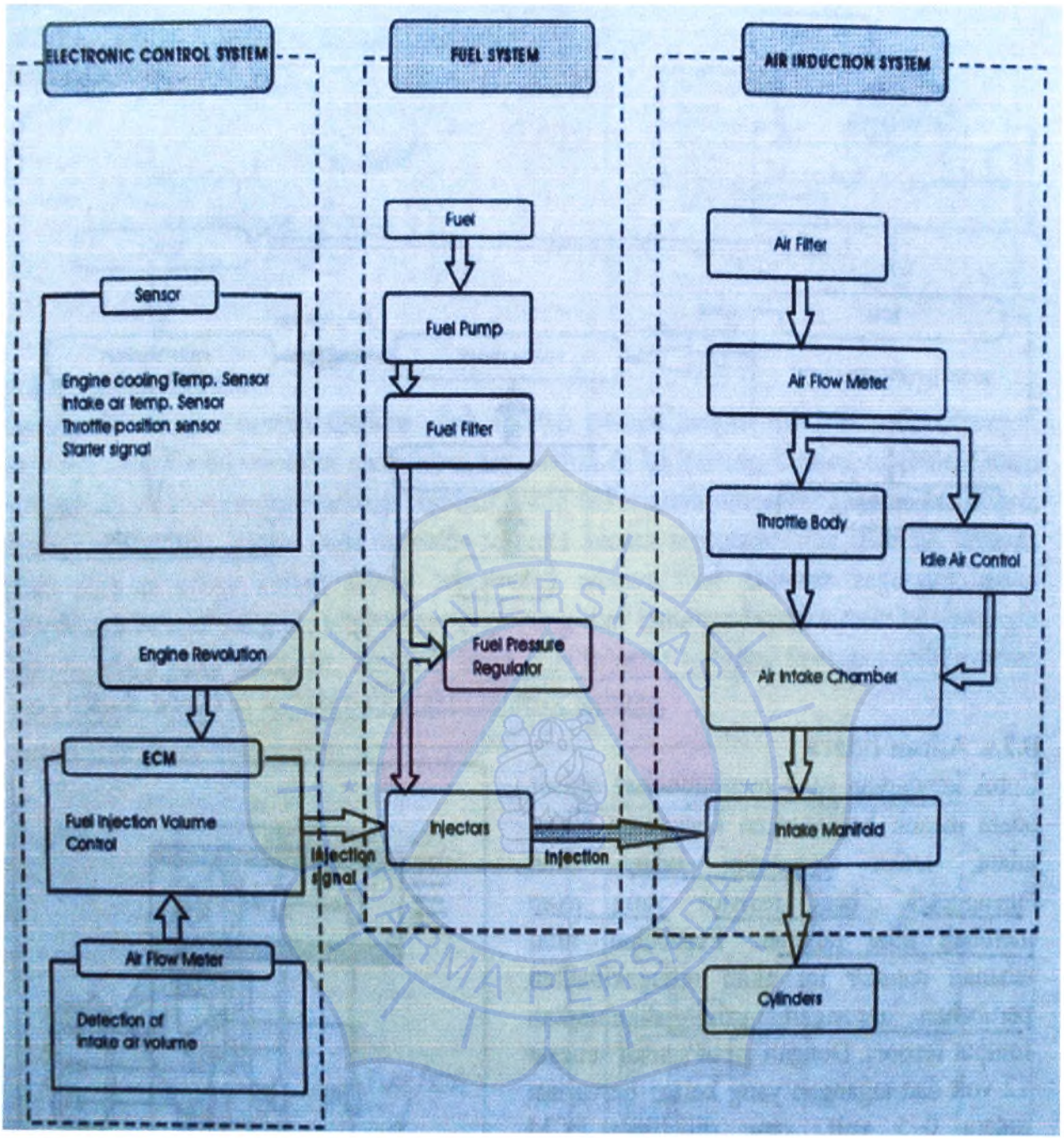


Diagram 2.5 Sistem kerja ECU [11]

## 2.2 Data Mesin Toyota 4S-FE dan Teori Analisis

### 2.2.1 Data Mesin Toyota 4S-FE

Mesin Toyota *4s-fe* merupakan mesin motor bakar yang menggunakan bahan bakar bensin dengan oktan 87. Mesin ini sudah menggunakan teknologi pemasukan bahan bakar dengan *Elektronik Fuel Injection* (EFI) [15]. Dari spect mesin yang di peroleh dari data akurat, menunjukkan nilai :

1. Torsi 162 Nm pada 6000 rpm
2. Daya maksimum 125 HP pada 4500 rpm
3. *Stroke* 82.5 mm dan *bore* 86 mm
4. Volume silinder 1838 cc
5. Tekanan Efektif rata-rata (Bmep) 11.3 kg/cm<sup>2</sup>

### 2.2.2 Teori Analisis

#### 2.2.2.1 Tenaga Efektif (*Brake Horse Power*) , Nb

Tekanan efektif didefinisikan sebagai tekanan dari hasil pembakaran udara dan bahan bakar terhadap torak sepanjang langkahnya untuk menghasilkan kerja persiklus. Nilai tekanan indikasi didapat dari data awal mesin. [16]

Persamaannya adalah :

$$Nb = \frac{Pb \times Vd \times n \times Is}{(0.45) \times Z} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

Nm = Daya efektif (*brake horse power*) hp

Pm = Tekanan efektif (kg/cm<sup>2</sup>)

Vd = Volume langkah ( m<sup>3</sup> )

$n = \text{Rpm}$

$I_s = \text{Jumlah silinder}$

$Z = \text{Perbandingan langkah siklus, untuk mesin dua langkah} = 1$ , dan

untuk mesin empat langkah = 2

Dengan  $V_d = 0.25 \times \pi \times D^2 \times \text{tinggi}$  .....(2.1.1)

### 2.2.2.2 Tenaga pada *Mechanical Losser*, $N_m$ ( Rugi-rugi Mekanik )

Tekanan pada *mechanical losser* didefinisikan sebagai tekanan dari fluida kerja terhadap torak sepanjang langkahnya untuk menghasilkan kerja persiklus. Nilai tekanan indikasi didapat dari rugi akibat keausan yang terjadi pada ring piston atau karna ada kebocoran lainnya.<sup>[16]</sup>

Persamaannya adalah :

$$N_m = \frac{P_m \times V_d \times n \times I_s}{(0.45) \times Z} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$N_m = \text{Tenaga yang hilang } hp$

$P_m = \text{Rugi tekanan (kg/cm}^2\text{)}$

### 2.2.2.3 Tenaga Indikasi (*Indicated Horse Power*), $N_i$

Tenaga indikasi didapat dari hasil pengukuran dengan alat ukur *pressure gauge*. Torsi mesin diketahui dari pengukuran, *dinamometer-brake* digunakan untuk mengukur momen putar dan *tachometer* untuk mengukur putaran poros

engkol. Berhubung alat ukur tersebut diatas tidak terlengkapi, maka penulis dan dosen pembimbing mencari nilai daya dari persamaan.<sup>[16]</sup>

Persamaannya adalah :

$$N_i = \frac{P_i \times V_d \times n \times I_s}{(0.45) \times Z} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

$N_i$  = Daya indikasi (*indicated horse power*)  $hp$

$P_i$  = Tekanan indikasi ( $kg/cm^2$ )

**2.2.3 Efisiensi Mekanik ( $\eta_m$ )**

Efisiensi mekanik merupakan perbandingan antara tekanan indikasi dan tekanan efektif dikalikan dengan 100%.<sup>[16]</sup>

Persamaannya adalah :

$$N_b = N_i - N_m$$

$$\eta_m = \frac{N_i - N_m}{N_i} \times 100\%$$

Sehingga:

$$\eta_m = \frac{N_i}{N_b} \times 100 \dots \dots \dots (2.4)$$

**2.2.5 Menghitung *Specific fuel consumption* (  $B_{sfc}$  )**

Pemakaian Bahan Bakar Spesifik *Specific fuel consumption* adalah jumlah pemakaian bahan bakar yang dikonsumsi oleh motor bakar untuk menghasilkan daya satu dk selama satu jam.  $B_{sfc}$  dapat dihitung dengan persamaan :

$$Bsfc = \frac{3600 \times m}{Bhp \times t} \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana :

Bsfc = Pemakaian bahan bakar spesifik (kg/HP jam)

Bhp = Brake horse power (HP)

m = Massa (Kg)

t = waktu ( detik ), 3600 merupakan factor konversi.

SG bensin = 0.728 (1 atm, 31° C )

$\rho$  bensin =  $\rho$  air x SG bensin

$$= 999 \times 0.728$$

$$= 727.272 \text{ kg/m}^3$$

### 2.2.5 Menghitung Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )

Efisiensi thermis merupakan efisiensi pemanfaatan panas dari bahan bakar untuk diubah menjadi tenaga mekanis. Dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{3600 \times 746}{Bsfc \times LHV} \times 100 \% \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

LHV = Low heating value ( nilai kalor bawah bahan bakar )

$$= 44.188.064 \text{ joule/kg}$$