

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Mohamad (2010) tentang karakteristik pembakaran metana dalam mesin otto yang menggunakan SPFI (*Spark Plug Fuel Injector*) yaitu menggabungkan injeksi bahan bakar ke dalam busi langsung ke ruang bakar menyatakan bahwa penggunaan bahan bakar metana dalam suatu motor bakar dengan sistem injeksi langsung ke ruang bakar (*Direct Injection*) dapat meningkatkan efisiensi volumetrik sebesar 11 % dan kecepatan pembakaran bahan bakar yang lebih cepat dibandingkan dengan sistem injeksi tidak langsung ke ruang bakar (*Indirect Injection*). Hal ini dikarenakan pada SPFI menghasilkan nilai kalor yang lebih besar pada silinder setiap siklusnya sehingga efisiensi volumetriknya meningkat. Sistem SPFI juga mampu menghasilkan kecepatan pembakaran yang lebih cepat dengan durasi pembakaran yang sama. Jadi sistem penggunaan bahan bakar metana dengan SPFI berpotensi meningkatkan kinerja mesin otto karena peningkatan efisiensi volumetrik dan tingkat pembakaran yang lebih cepat.

(Yunianto, 2013), melakukan penelitian tentang pengaruh perubahan saat penyalaan (*ignition timing*) terhadap prestasi mesin pada sepeda motor 4 langkah dengan bahan bakar LPG. Dari hasil penelitiannya didapat bahwa penggunaan bahan bakar gas atau LPG pada motor bensin dapat menurunkan performa dari motor, penurunan ini terjadi dikarenakan karakteristik sifat bahan bakar bensin berbeda dengan LPG sehingga menurunkan efisiensi volumetrik dari motor tersebut. Kemudian peneliti melakukan percobaan dengan merubah waktu penyalaan pada motor tersebut dan hasil yang didapat adalah bahwa dengan pengaturan saat penyalaan  $11^\circ$  sebelum TMA, menghasilkan prestasi (Torsi dan Daya) yang dekat dengan prestasi motor bensin yaitu hanya selisih 3 %. Prestasi terbaik pada mesin bahan bakar bensin ataupun LPG berkisar pada putaran 4000 s.d 5000 rpm.

(Utama, 2013) melakukan studi simulasi konversi motor bakar otto menggunakan bahan bakar CNG dengan variasi *air fuel ratio* dan *ignition timing*. Dari hasil simulasi yang dilakukan menyimpulkan bahwa untuk mengganti bahan bakar gas pada mesin yang awalnya menggunakan bahan bakar minyak diperlukan penyesuaian parameter operasional mesin seperti *afr* dan *ignition time*. Pada penelitian ini bahan bakar yang digunakan yaitu gasoline milik Pertamina (premium) dan *Compressed*

*Natural Gas* (CNG). Beberapa hasil yang didapatkan penelitian ini adalah dengan CNG terjadi peningkatan *brake torque* dan *brake power* masing-masing sebesar 12,13% dan 12,2% ketika motor beroperasi pada *Air Fuel Ratio* (AFR) stokiometri dan MBT (*Minimum Advanced for the best Torque*) dibandingkan CNG yang beroperasi dengan setting gasoline. Pada kondisi yang sama, emisi CO dan HC menurun masing-masing sebesar 98,41% dan 10,19%.

## 2.2 CNG

*Compressed natural gas* merupakan salah satu produk dari natural gas yang bisa digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar bensin, solar, dan propana. Keunggulan dari CNG ini adalah lebih ramah lingkungan. Komposisi CNG sendiri terdiri dari 95% metana ( $\text{CH}_4$ ), dalam penggunaan sebagai bahan bakar CNG yang memiliki berat lebih ringan dari udara di masukkan dalam sebuah tabung dengan tekanan 20-22 Mpa (Azmi, 2008).

Kadungan utama dari CNG adalah metana ( $\text{CH}_4$ ) yang merupakan salah satu hidrokarbon dengan rantai terpendek, berikut ini adalah karakteristik dari metana, yaitu:

- Massa molar : 16,043 kg/kmol
- Densitas / massa jenis pada suhu 25 °C ( $\rho$ ) : 0,6604 kg/m<sup>3</sup>
- Kalor spesifik pada tekanan konstan ( $C_p$ ) : 1,7354 kJ/(kg.K)
- Kalor spesifik pada *volume* konstan ( $C_v$ ) : 2,2537 kJ/(kg.K)
- Konstanta gas (R) : 0,5182 kJ/(kg.K)
- *Low Heating Value* (LHV) : 7973,13 kkal/m<sup>3</sup>
- *High Heating Value* (HHV) : 8851,43 kkal/m<sup>3</sup>

berikut ini adalah karakteristik lain dari metana yang dibandingkan dengan bahan bakar mesin pembakaran dalam lainnya :

Property	Gasoline	Diesel	Methanol	Ethanol	Propane (LPG)	Methane (CNG)
H/C ratio	1,9	1,88	4,0	3,0	2,7	4,0
Energy content (LHV) (MJ/kg)	44,0	42,5	20,0	26,9	46,4	50,0
Liquid density (kg/l)	0,72-0,78	0,84-0,88	0,792	0,785	0,51	0,422
Liquid energy density (MJ/l)	33,00	36,55	15,84	21,12	23,66	21,13
Boiling point (oC)	37-205	140-360	65	79	-42.15	-161.6
Research Octane Numbers	92-98	-25	106	107	112	120
Motor Octane Numbers	80-90	-	92	89	97	120
Cetane Numbers	0-5	45-55	5	5	-2	0
Stoicjiometric air-fuel ratio	14,7	14,6	6,5	9,0	15,7	17,2
Reid Vapor Pressure (psi)	15	0,2	4,6	2,3	208	2,400

Gambar 2.1 Karakteristik berbagai bahan bakar mesin pembakaran dalam  
Sumber : Faiz (1996 : 195)

Dalam penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari CNG memiliki banyak kelebihan yaitu :

1. Ramah lingkungan
2. Harga yang lebih ekonomis dibandingkan dengan bahan bakar minyak
3. Keamanan lebih aman karena memiliki *system sealing* yang baik, untuk mencegah kebocoran
4. Penggunaan CNG tidak akan menimbulkan kerak pada ruang bakar / ignitor seperti penggunaan bensin atau solar.

### 2.3 Massa Alir Gas

Massa alir gas adalah banyaknya massa gas yang mengalir setiap satuan waktu. Massa alir gas berhubungan dengan massa jenis dan debit gas tersebut seperti pada persamaan dibawah ini :

$$\dot{m} = Q \cdot \rho \quad (2-1)$$

Dimana:

$\dot{m}$  = massa alir gas [kg/s]

$Q$  = debit gas [m<sup>3</sup>/s]

$\rho$  = massa jenis gas [kg/m<sup>3</sup>]

$\rho_{\text{Metana}}$  = 0.6604 kg/m<sup>3</sup>

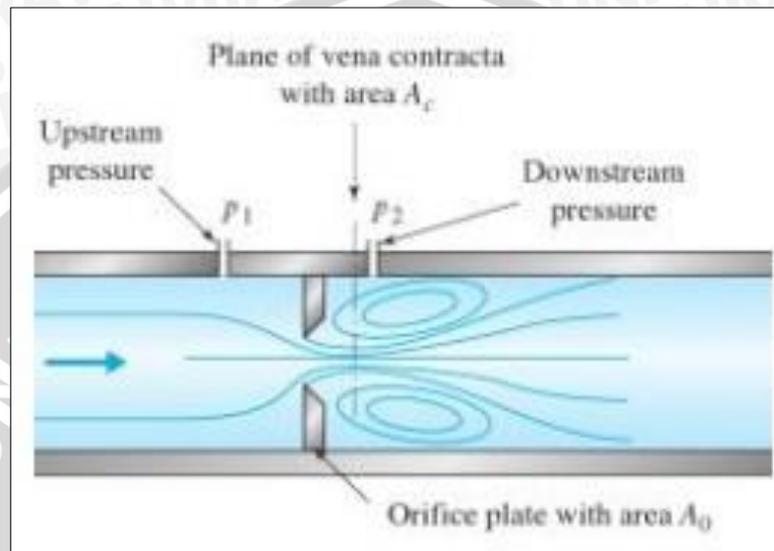
Sumber : Cengel (2006 : 895)

$\rho_{\text{Udara}}$  = 1.176 kg/m<sup>3</sup>

Sumber : Cengel (2006 : 894)

## 2.4 Orifice

*Orifice* adalah salah satu komponen yang digunakan untuk mengukur laju aliran fluida dengan prinsip beda tekanan di dalam saluran yang tertutup. *Orifice* termasuk alat ukur laju aliran menggunakan metode rintangan (*Obstruction Device*). *Orifice* memiliki geometri sederhana sehingga biaya untuk pembuatnya murah dan mudah dipasang atau diganti.



Gambar 2.2 Aliran fluida yang melewati *orifice*

Sumber : Potter (2002 : 665)

Fluida yang mengalir melalui pada *orifice* akan dipaksa melewati lubang pada *orifice*. Hal itu menyebabkan terjadinya perubahan kecepatan dan tekanan. Titik dimana terjadi kecepatan maksimum dan tekanan minimum disebut *vena contracta*. Dengan mengetahui perbedaan tekanan pada pipa normal dan tekanan pada *vena contracta*, laju aliran volume dan laju aliran massa dapat diperoleh dengan mensubstitusikan beberapa persamaan berikut :

- Persamaan Bernoulli :

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_{vc} + \frac{p_{vc}}{\gamma} + \frac{v_{vc}^2}{2g} \quad (2-2)$$

- Persamaan Kontinuitas untuk fluida :

$$V_1 \cdot A_1 = V_{vc} \cdot A_{vc} \quad (2-3)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.2 dan persamaan 2.3, maka:

$$V_{vc} = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_{vc})}{1 - (A_{vc} / A_1)^2}} \quad \text{atau} \quad V_{vc} = \sqrt{\frac{2g(h_1 - h_{vc})}{(1 - (D_{vc} / D_1)^4)}} \quad (2-4)$$

Dengan :

$$h_1 = \frac{p_1}{\gamma} + z_1 ; h_{vc} = \frac{p_{vc}}{\gamma} + z_{vc} \quad (2-5)$$

Maka, dengan ini nilai debit ideal pada daerah *vena contracta* adalah :

$$Q_i = V_{vc} \cdot A_{vc} = \frac{A_{vc}}{\sqrt{1-(D_{vc}/D_1)^4}} \sqrt{2g(\Delta h)} \quad (2-6)$$

Dimana :

$V_{vc}$	= Kecepatan aliran di <i>vena contracta</i>	(m/s)
$V_1$	= Kecepatan aliran di daerah sebelum <i>orifice</i>	(m/s)
$A_{vc}$	= Luas penampang <i>vena contracta</i>	(m <sup>2</sup> )
$A_1$	= Luas penampang pipa sebelum <i>orifice</i>	(m <sup>2</sup> )
$Q_i$	= Debit ideal fluida	(m <sup>3</sup> /s)
$p_{vc}$	= Tekanan fluida di <i>vena contracta</i>	(N/m <sup>2</sup> )
$p_1$	= Tekanan fluida pada pipa sebelum <i>orifice</i>	(N/m <sup>2</sup> )
$\gamma$	= Berat jenis fluida	(kg/m <sup>3</sup> )
$g$	= Percepatan gravitasi bumi	= 9,81 m/s <sup>2</sup>
$z$	= Elevasi	(m)
$\Delta h$	= Beda tekanan pada manometer	(mmH <sub>2</sub> O)

## 2.5 Motor Bakar Torak

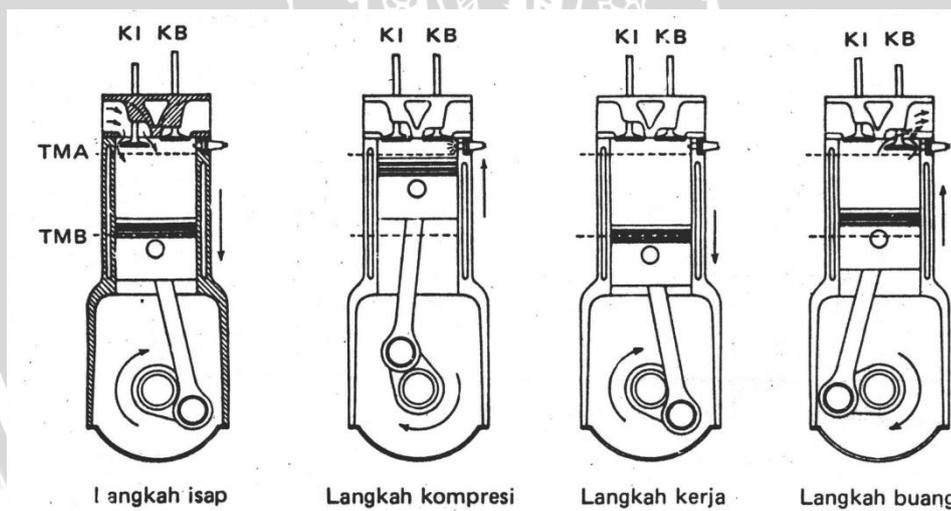
Motor bakar torak adalah salah satu jenis penggerak mula yang memanfaatkan kalor, yaitu mesin yang menggunakan energi termal untuk melakukan kerja mekanik atau mengubah energi termal menjadi energi mekanik. Energi itu diperoleh oleh hasil pembakaran yang terjadi pada ruangan yang dibatasi oleh silinder, kepala torak, dan kepala silinder. Didalam silinder itulah terjadi pembakaran antara bahan bakar dengan oksigen dari udara. Gas pembakaran yang dihasilkan oleh proses tersebut mampu menggerakkan torak yang terhubung dengan poros engkol. Gerak translasi torak tadi menyebabkan gerak rotasi pada poros engkol dan sebaliknya gerak rotasi poros engkol menimbulkan gerak translasi pada torak, karena pembakaran yang terjadi di dalam suatu ruangan ini lah yang membuat motor bakar ini termasuk dalam motor bakar pembakaran dalam (*internal combustion engine*). (Arismunandar, 2005:1)

Berdasarkan langkah kerjanya motor bakar dibagi menjadi dua yaitu motor bakar 4 langkah dan motor bakar 2 langkah, pada umumnya motor bakar torak menggunakan batang penggerak dan poros engkol, gerak torak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) kemudian kembali ke titik mati atas (TMA) ini

membuat poros engkol berputar satu kali ( $360^\circ$  sudut engkol). Pada motor bakar 4 langkah untuk melakukan satu kali siklus poros engkol berputar 2 kali, sedangkan pada motor bakar 2 langkah untuk melakukan satu kali siklus poros engkol berputar hanya sekali. (Arismunandar, 2005:9)

Selain berdasarkan langkah kerjanya motor bakar juga dibedakan berdasarkan sistem penyalanya, motor bakar berdasarkan sistem penyalanya dibagi menjadi dua yaitu motor bensin (otto) dan motor diesel. Pada motor bensin bahan bakar dinyalakan oleh loncatan api listrik di antara kedua elektroda busi, karena itu motor bensin juga disebut *spark ignition engines* (SIE). Pada motor diesel atau yang disebut juga *compression ignition engines*, terjadi proses penyalan yaitu bahan bakar yang disemprotkan ke dalam silinder berisi udara yang bertemperatur dan bertekanan tinggi, bahan bakar akan terbakar sendiri setelah temperatur campuran bahan bakar dan udara melampaui temperatur nyala bahan bakar. (Arismunandar, 2005:5)

### 2.5.1 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah



Gambar 2.3 : Skema Langkah Kerja Motor Bakar 4 Langkah  
Sumber : Arismunandar (2002 : 8)

#### 1. Langkah 0-1

Katup isap terbuka dan katup buang tertutup, disini bahan bakar dan udara masuk melalui katup isap dengan keadaan piston menuju ke TMB, langkah ini disebut langkah isap.

## 2. Langkah 1-2

Setelah torak pada TMB, torak bergerak kembali ke TMA, sementara katup isap dan katup buang tertutup. Campuran bahan bakar dan udara yang tadi masuk kemudian dimampatkan oleh torak yang bergerak ke TMA, karena campuran bahan bakar dan udara tadi termampatkan maka tekanan dan temperaturnya naik hingga mudah sekali terbakar, langkah ini disebut langkah kompresi.

Kemudian sesaat sebelum torak mencapai TMA dipercikkan api dari bunga api dari busi kepada campuran bahan bakar dan udara yang terkompresi tadi sehingga terjadi pembakaran. Dan terjadi pemasukan panas 2-3.

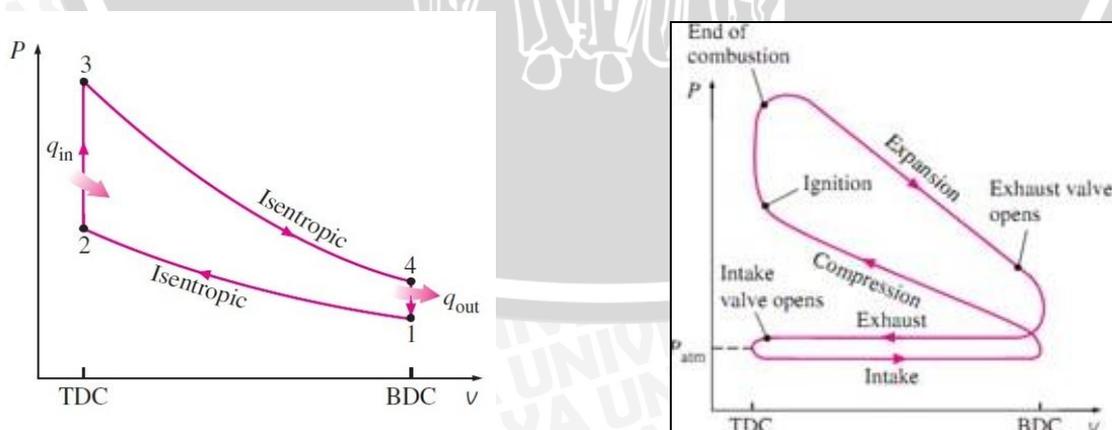
## 3. Langkah 3-4

Setelah mencapai TMA dan gas pembakaran mampu mendorong torak untuk bergerak kemabali dari TMA ke TMB. Sementara itu katup buang dan katup masih dalam keadaan tertutup selama torak bergerak dari TMA ke TMB ini lah yang disebut langkah kerja atau langkah ekspansi, karena torak yang bergerak dari TMA ke TMB membuat volume gas pembakaran didalam silinder bertambah besar menyebabkan tekanannya menjadi turun.

## 4. Langkah 4-1

Ketika torak sudah mencapai TMB, katub buang terbuka sedangkan katup isap tertutup. Torak bergerak kembali ke TMA mendesak gas pembakaran keluar dari dalam silinder melalui saluran buang. Proses pembuangan gas pembakaran ini disebut langkah buang.

## 2.5.2 Siklus Termodinamika Motor Bensin



Gambar 2.4 : Diagram Siklus Otto Ideal dan Aktual  
Sumber : Cengel (1994 : 457)

1. Langkah 0-1 (isap)

Langkah isap terjadi pada proses isobarik, langkah ini dimulai ketika torak pada TMA dan keadaan katup isap terbuka, langkah ini dimulai ketika torak bergerak menuju ke TMB. Pada siklus ideal tekanan ketika langkah isap dianggap konstan sedangkan pada aktualnya tekanan ketika langkah isap berubah yaitu nilai tekanan ruang bakar lebih rendah dari pada tekanan atmosfer agar udara dapat masuk ke ruang bakar.

2. Langkah 1-2 (kompresi)

Ketika langkah kompresi pada siklus ideal keadaannya dianggap isentropik (adiabatik dan reversibel), tetapi pada aktualnya keadaannya tidaklah isentropik karena adanya perpindahan panas.

3. Langkah 2-3 (pembakaran)

Pada siklus ideal pembakaran dianggap terjadi pada keadaan volume konstan (isokhorik) tetapi pada aktualnya pembakaran tidak terjadi pada keadaan volume konstan hal ini disebabkan karena proses pembakaran berlangsung pada volume ruang bakar yang berubah-ubah karena gerakan torak. Sehingga proses pembakaran harus dimulai ketika posisi torak belum sampai pada TMA dan berhenti ketika posisi torak beberapa saat sesudah torak kembali dari TMA ke TMB.

4. Langkah 3-4 (ekspansi)

Langkah ekspansi pada siklus ideal dianggap isentropik tetapi pada aktualnya ketika langkah ekspansi keadaannya tidak lah isentropik karena adanya perpindahan panas misalnya perpindahan panas dari fluida kerja ke fluida pendingin.

5. Langkah 4-1 (buang)

Ketika langkah buang pada siklus ideal dianggap isokhorik (volume konstan) yaitu ketika torak menuju TMA dengan katup isap tertutup dan katup buang terbuka, tetapi pada aktualnya volumenya tidak konstan yang disebabkan katup buang terbuka sebelum torak mencapai TMB setelah proses ekspansi.

Selain yang ada diatas ada beberapa alasan kenapa ada siklus aktual yaitu karena pada siklus ideal, fluida kerja (udara) yang digunakan adalah ideal, tetapi pada aktualnya fluida kerja bukanlah udara yang dapat dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik yang konstan selama prose berlangsung. Kemudian adanya kebocoran udara karena penyekatan oleh cincin torak dan katup tidak dapat sempurna. (Arismunandar, 2005: 29)

### 2.5.3 Pembakaran Pada Motor Bensin

Pembakaran dikatakan sempurna apabila semua kandungan karbon (C) dalam bahan bakar terbakar habis membentuk karbondioksida (CO<sub>2</sub>), semua hydrogen (H) terbakar membentuk air (H<sub>2</sub>O) dan semua sulfur (S) membentuk sulfuroksida(SO<sub>2</sub>). Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, berarti pembakaran tersebut tidak sempurna.

Proses pembakaran secara teoritis bahan bakar bensin (isooktan) dapat dilihat pada reaksi dibawah ini :



Sedangkan untuk proses pembakaran secara teoritis bahan bakar metana (CH<sub>4</sub>) dapat dilihat pada reaksi dibawah ini :



Dikarenakan pembakaran yang terjadi pada ruang bakar tidak sempurna sehingga menghasilkan gas buang yang mempunyai kandungan Karbonmonoksida (CO), Karbondioksida (CO<sub>2</sub>), Oksigen (O<sub>2</sub>), Hidrokarbon (HC), Nitrogen (N<sub>2</sub>), Uap Air (H<sub>2</sub>O), Oksida Nitrogen (NO<sub>x</sub>), Sulfur Oksida (SO<sub>x</sub>), Zat debu timbal (Pb) dan Partikulat.

Sedangkan agar kinerja mesin optimal pembakaran sangatlah berpengaruh, semakin sempurna pembakaran semakin optimal pula kinerja mesin. Sempurna atau tidaknya pembakaran bisa kita lihat pada salah kandungan gas yang ada pada gas buang yaitu kandungan Karbondioksida (CO<sub>2</sub>), terdapatnya gas ini dihasil pembakaran mengindikasikan jika pembakaran yang terjadi tercukupi oksigen, pada gas buang konsentrasi CO<sub>2</sub> menunjukkan secara langsung status proses pembakaran di ruang bakar apabila semakin tinggi maka semakin baik (Bachri, 2009). Jadi apabila semakin banyak kandungan karbondioksida pada gas buang maka pembakaran yang terjadi di ruang bakar semakin mendekati sempurna dan kinerja mesin akan semakin optimal juga.

Pada proses pembakaran, ada empat syarat yang harus dipenuhi agar terjadi pembakaran yang sempurna, yaitu :

1. Bahan bakar menguap secara cepat dan sempurna
2. Penggunaan udara pembakaran yang cukup
3. Campuran udara pembakaran yang cukup
4. Campuran udara dan bahan bakar yang homogen
5. Temperatur pembakaran harus cukup tinggi

Pembakaran dalam ruang bakar terjadi dengan sangat cepat, tetapi ada jeda waktu sesaat awal penyalaan api oleh busi sampai campuran bahan bakar dan udara terbakar habis. Setelah busi menyala, nyala api akan merambat ke segala arah dengan kecepatan yang tinggi (20-50 m/s). (Arismunandar, 2005:82)

Apabila pembakaran terjadi lebih awal, maka sisa gas dan bahan bakar yang baru akan terbakar sehingga meningkatkan temperatur pada ruang bakar, hal ini menyebabkan proses kompresi kurang maksimal karena prosesnya berlangsung ketika torak bergerak menuju TMA. Akibatnya gerakan torak akan terhambat oleh gas sehingga mengurangi tenaga mesin. Jika penyalaan pembakaran telambat menyebabkan tekanan turun karena saat terjadi pembakaran posisi torak sedang gerak menuju TMB. Peningkatan tekanan dan temperatur gas hasil pembakaran akan menurun. Gas hasil pembakaran yang masih bertekanan tinggi akan keluar melalui katup buang, sehingga energi yang bisa dimanfaatkan juga berkurang atau tidak optimal.

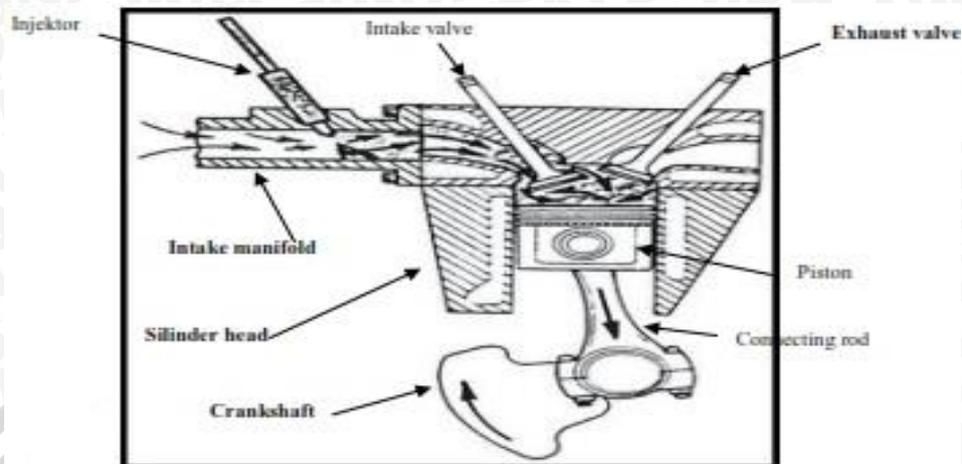
## 2.6 Sistem Injeksi Pada Motor Bensin

Teknologi injeksi adalah terobosan baru yang digunakan untuk menciptakan pembakaran yang sempurna pada kendaraan masa kini sehingga performa dari kendaraan itu semakin meningkat dan emisi gas buangnya memiliki kualitas yang baik untuk dibuang kelingkuangan. Supaya pembakaran terjadi sempurna maka diperlukan perbandingan yang tepat antara udara dan bahan bakar yang masuk pada ruang bakar. Pada teknologi ini jumlah bahan bakar yang masuk diatur oleh suatu komponen elektronik yaitu ECU (*engine control unit*).

ECU sendiri memiliki kemampuan untuk menghitung atau memperkirakan massa udara yang masuk, menentukan masa bahan bakar yang harus dikeluarkan, menentukan waktu pengapian, memberikan sinyal indikator/kerusakan pada motor. Untuk menentukan massa bahan bakar yang masuk ECU akan menerima sinyal dari sensor yang terdapat pada *throttle*, setelah mendapat sinyal dari *throttle* maka ECU akan memberi sinyal pada injektor untuk menyemprotkan bahan bakar dalam ukuran tertentu yang sesuai dengan volume udara yang masuk agar diperoleh komposisi stokiometri. (kustoro, 2012)

Ada 2 jenis injeksi bahan bakar yang digunakan dalam kendaraan bermotor, yaitu injeksi langsung ke ruang bakar (*Direct Injection*) dan Injeksi tidak langsung ke ruang bakar (*Indirect Injection*). Penggunaan jenis injeksi bahan bakar dapat dilihat

berdasarkan bahan bakarnya, pada bahan bakar bensin yang digunakan adalah tipe injeksi tidak langsung.



Gambar 2.4 : Sistem Injeksi Tidak Langsung  
Sumber : Kustoro (2012 : 8)

## 2.7 Karakteristik Motor Bakar

Bentuk hubungan antar masing-masing variabel indikator kinerja terhadap variabel, indikator operasional suatu motor bakar didapatkan dengan cara pengujian laboratorium dari mesin yang bersangkutan. Data yang digunakan untuk menggambarkan bentuk hubungan antara variabel tersebut dapat berasal dari pengukuran langsung selama pengujian, atau harus dihitung dari data yang diukur. Data seperti putaran mesin dan temperatur dapat diukur langsung, tetapi daya, torsi dan efisiensi dihitung berdasarkan pengukuran terhadap parameter pembentuknya.

Pada pengujian dengan putaran mesin sebagai variabel bebas, jenis karakteristik kinerja yang sering diperlukan adalah :

- 1) Putaran terhadap daya indikatif ( $N_i$ ), daya efektif ( $N_e$ ), dan daya mekanik ( $N_f$ )
- 2) Putaran terhadap torsi ( $T$ )
- 3) Putaran terhadap Mean Effective Pressure (MEP)
- 4) Putaran terhadap *specific fuel consumption* (s.f.c.)
- 5) Putaran terhadap efisiensi ( $\eta_i$ ,  $\eta_e$ ,  $\eta_m$ ,  $\eta_v$ )
- 6) Putaran terhadap komposisi CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, dan N<sub>2</sub> dalam gas buang
- 7) Putaran terhadap keseimbangan panas

Dalam penelitian ini karakteristik kinerja yang dicari adalah sebagai berikut :

### 2.7.1 Torsi

Hasil pembakaran di dalam silinder menghasilkan tekanan yang dapat menekan torak melalui langkah ekspansi atau kerja. Tekanan tersebut diolah menjadi gaya oleh torak yang selanjutnya diteruskan oleh batang torak, kemudian akan menyebabkan berputarnya poros engkol. Berputarnya poros engkol ini menimbulkan momen putar yang disebut torsi. Besarnya torsi suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan dinamometer. Dinamometer akan menunjukkan besarnya gaya atau beban pengereman pada poros.

Sehingga harga torsi didapatkan dari hasil perkalian besarnya beban pengereman dengan panjang lengan yang menghubungkan timbangan dengan poros. Persamaan dirumuskan sebagai berikut :

$$T = F \cdot L \text{ [kg.m]} \dots\dots (\text{Arismunandar, 2002: 32}) \quad (2-7)$$

Dimana :

T = Torsi

F = Besar gaya putar yang terbaca pada timbangan dinamometer (kg)

L = Panjang lengan dinamometer = 0,2 (m)

### 2.7.2 Daya Efektif

Daya efektif motor bakar adalah proporsional dengan perkalian torsi yang terjadi pada poros output (T) dengan putaran kerjanya (n). Karena putaran kerja poros sering berubah terutama pada mesin kendaraan bermotor, besar torsi pada poros (T) yang dapat dijadikan sebagai indikator kinerja motor bakar. Daya ini dihasilkan oleh poros engkol yang merupakan perubahan kalor di ruang bakar menjadi kerja.

Daya efektif dirumuskan sebagai berikut :

$$N_e = T \cdot n / 716,2 \text{ (PS)} \dots\dots\dots (\text{Petrovsky, 1968: 99}) \quad (2-8)$$

Dimana :

T : torsi (kg.m)

n : putaran (rpm)

### 2.7.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCe)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (*Effective Specific Fuel Consumption*) adalah banyak nya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif 1 PS selama 1 jam. Nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFCe) didapatkan dari nilai

konsumsi bahan bakar dan daya efektif yang telah diperoleh. Nilai ini didapatkan dengan rumusan sebagai berikut:

$$SFC_e = \frac{FC}{Ne} \dots\dots\dots(Petrovsky, 1968: 63) \quad (2-9)$$

Dimana :

SFC<sub>e</sub> : konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/PS.jam)

FC : penggunaan bahan bakar tiap jam (kg/jam)

Ne : daya efektif (PS)

#### 2.7.4 Efisiensi Termal Efektif ( $\eta_e$ )

Efisiensi termal efektif merupakan perbandingan antara kalor yang dirubah menjadi daya efektif dengan kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Efisiensi termal efektif merupakan suatu ukuran untuk mengetahui ekonomis atau tidaknya dalam pemakaian bahan bakar. Seberapa efisien bahan bakar yang dapat dikonversi menjadi daya efektif poros. Nilai dari efisiensi termal efektif juga berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektif . jadi jika konsumsi bahan bakar spesifik efektif semakin turun, maka efisiensi termal efektif akan meningkat. Besarnya efisiensi termal efektif dihitung dengan rumus :

$$\eta_e = \frac{632.Ne}{FC.Q1} = \frac{632}{\frac{FC}{Ne}.Q1} = \frac{632}{SFC_e.Q1} \dots\dots\dots(Petrovsky, 1968: 62) \quad (2-10)$$

Dimana :

$\eta_e$  : efisiensi termal efektif (%)

Q1 : nilai kalor bawah bahan bakar (LHV) (kkal/kg)

#### 2.8 Performa Motor Bakar Bahan Bakar Gas

Bahan bakar gas dapat digunakan langsung untuk motor bakar karena BBG memiliki bilangan oktan kurang lebih 130, meskipun begitu, bagi motor bakar yang dirancang untuk menggunakan bahan bensin apabila bahan bakarnya langsung diganti oleh bahan bakar gas akan menyebabkan penurunan performa yang meliputi torsi dan daya pada motor bakar tersebut. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan karakteristik pembakaran antara bahan bakar bensin dan gas yang menyebabkan terjadi penurunan efisiensi volumetric pada motor bakar tersebut (Arismunandar;2005;160).

(Yousufuddin, 2012) dalam penelitian mengungkapkan bahwa torsi yang dihasilkan oleh motor bakar sangat dipengaruhi oleh efisiensi volumetrik, dalam penelitiannya mereka membandingkan performa antara bahan bakar bensin dan natural

gas. Dari penelitiannya didapatkan bahwa nilai torsi yang dihasilkan oleh natural gas lebih rendah dari pada torsi yang di hasilkan oleh bensin. Hal ini dikarenakan perbedaan karakteristik pembakaran antara bensin dan natural gas, jadi untuk motor bakar yang dirancang untuk bensin apabila diganti oleh natural gas pembakaran yang terjadi didalam silinder terjadi tidak tepat waktu sehingga tenaga atau energi hasil pembakaran tidak tersalurkan dengan sempurna.

Sebab dari penurunan performa dari motor bakar yang menggunakan bahan bakar gas adalah karena waktu penyalaan busi yang awalnya di rancang untuk bahan bakar bensin tidak sesuai dengan bahan bakar gas. Sehingga pembakaran tidak terjadi tepat pada waktu piston berada pada titik mati atas, hal ini dapat mengakibatkan penyaluran tenaga hasil pembakaran melalui engkol menjadi lebih kecil dari semestinya. (Yunianto.2013)

Utama (2012) dalam penelitiannya mengemukakan dengan mengganti bahan bakar bensin menjadi CNG tanpa merubah parameter operasional motor dapat menurunkan peforma dari motor tersebut. Untuk nilai torsi yang dihasilkan bahan bakar CNG nilainya dibawah nilai torsi dari bahan bakar bensin, hal ini disebabkan waktu penyalaan motor bakar yang berbahan bakar bensin tidak cocok apabila bahan bakarnya langsung digantikan oleh CNG karena dapat menurunkan efisiensi volumetrik. Untuk nilai torsi tertinggi dari bahan bakar CNG didapatkan ketika *air fuel ratio* dalam kondisi stokiometri.

## 2.9 Hipotesa

Dalam penelitian ini memiliki hipotesa bahwa dalam penggunaan CNG dalam motor bakar bensin akan menyebabkan performa yang meliputi torsi dan daya menurun sedangkan untuk konsumsi bahan bakar spesifik efektif dan efesiensi termal efektif naik. Hal ini terjadi karena motor bakar yang digunakan rancangannya dijaga tetap seperti rancangan asli dari pabrikan, untuk rancangan pabrikan sendiri dibuat untuk bahan bakar bensin, sedangkan karakteristik pembakaran bensin dan CNG berbeda. Untuk hipotesa nilai performa tertinggi pada penggunaan CNG sebagai bahan bakar didapat ketika pembakaran yang terjadi di ruang bakar semakin mendekati sempurna.