

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Marlon Marlindo (2012) melakukan analisa penggunaan CDI programmable dan koil racing pada mesin sepeda motor standar. Hasil dari analisa tersebut didapat bahwa torsi tertinggi pengapian standar pada rpm 4500 – 6000 dengan torsi maksimal sebesar 9,77 pada rpm 5842, namun untuk putaran diatas 6000 rpm torsi terbesar dihasilkan oleh pengapian menggunakan CDI *programmable* dan koil racing. Daya tertinggi menggunakan CDI standar dan koil racing pada putaran 5000 – 7614 rpm dengan daya maksimal 9,3 Hp pada putaran 7614 rpm, akan tetapi untuk putaran diatas 7614 rpm daya tertinggi dihasilkan oleh CDI programmable dan koil racing. CDI programmable dan koil racing sangat sesuai untuk motor kecepatan tinggi.

Wei Dong Hsieh (2002) telah meneliti unjuk kerja mesin dan polusi gas buang dari penggunaan bahan bakar campuran bensin dan ethanol pada mesin bensin. Variasi campuran bensin dan ethanol yang dipakai adalah 0%, 5%, 10%, 20%, dan 30%. Hasil penelitiannya menyebutkan bahwa dengan peningkatan kandungan ethanol, nilai kalor (heating value) campuran bahan bakar menurun, tetapi angka oktan bahan bakar meningkat. Hasil pada pengujian mesin menunjukkan bahwa penggunaan campuran ethanol dan bensin akan meningkatkan torsi dan konsumsi bahan bakar.

Topgul (2006) telah meneliti unjuk kerja mesin dan emisi gas buang dari penggunaan campuran bensin tanpa timbal – ethanol (E10, E20, E40, E60). Percobaan dilakukan dengan variasi rasio kompresi dan timing pengapian pada kecepatan konstan 2000 rpm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran bensin tanpa timbal ethanol akan meningkatkan torsi dan mengurangi emisi karbon monoksida (CO) dan Hidrocarbon (HC).

R. Saidur, et al.(2012) merangkum teknologi-teknologi yang melakukan pemanfaatan kembali energi pada mesin termal. Diantara beberapa konsep yang dipaparkan, terdapat rangkuman dari beragam jenis motor bakar 6 langkah yang menggunakan pemanfaatan kembali energi termal dari gas buang. Hasilnya, pemanfaatan ini dapat meningkatkan unjuk kerja motor bakar dibanding motor bakar Otto 4 langkah konvensional. Termasuk Eko Siswanto(Siswanto, et al. 2014) yang

menggunakan metode berbeda dengan penambahan durasi difusi massa campuran udara-bahan bakar dan termal.

2.2 Sistem Pengapian

Sistem pengapian adalah adalah suatu sistem dalam setiap kendaraan bermotor terutama bahan bakar bensin (gasoline) dipergunakan dalam mencampur bahan bakar dan udara saat kerja piston dalam keadaan kompresi di dalam ruang bakar.

Kendaraan motor bensin pencampuran udara dan bahan bakar dapat terbakar karena adanya ledakan api dari busi, ledakan tersebut ditimbulkan karena adanya sistem pengapian.

a. Komponen Sistem Pengapian

- 1) Koil eksitasi (sumber arus AC)
- 2) Pemutus arus CDI
- 3) Koil Pengapian
- 4) Busi

Berdasarkan hal tersebut, maka sistem pengapian dapat dibedakan menjadi dua kriteria yaitu sistem pengapian berdasarkan sumber arus dan sistem pengapian berdasarkan sistem pemutus arus primer koil .

b. Sistem pengapian berdasarkan sumber arus

Berdasarkan sumber arusnya, sistem pengapian dapat dapat di bedakan menjadi dua macam yaitu :

1) Sistem pengapian dengan sumber arus AC (pengapian magneto)

Magnit yang dipakai sepeda motor biasanya juga berfungsi sebagai roda daya (*Flywheel*). Karena disebut magnit roda gaya atau "*Flywheel Magneto*". Rotor mempunyai magnit dan ditempatkan pada poros engkol (*Crankshaft*). Bila berputar, arah dari fluks magnit berubah sehingga menghasilkan arus listrik, hal ini disebut juga induksi elektromagnet. Arus listrik yang dihasilkan sistem magneto ini termasuk sistem pengapian AC (*Alternatif Current* atau arus bolak balik) pada sistem ini, koil pengapian ditempatkan terpisah dengan *Magneto*, sehingga memungkinkan untuk memakai koil pengapian yang berkapasitas besar.

Prinsip induksi elektro magnet sama dengan prinsip generator AC pada pusat pembangkit listrik. Induksi arus bolak-balik ini disebut induksi (*Self induction*). Bila sebuah magnit digerakkan maka arus akan mengalir dari koil yang induksikan. Arus inilah yang nantinya akan digunakan sebagai sumber arus AC. Kumparan yang digunakan ini disebut koil eksitasi.

Flywheel magneto dan Alternator adalah Arus listrik yang dihasilkan oleh alternator atau flywheel magneto adalah arus listrik AC (*Alternatif Current*). Prinsip kerja alternator dan flywheel magneto Sebenarnya adalah sama, perbedaanya atau kontruksi magnetnya. Pada flywheel magneto bagian magnet ditempatkan disebelah luar *spool* (kumparan). Magnet tersebut berputar untuk membangkitkan listrik pada *spool* (kumparan). Magnet tersebut berputar untuk membangkitkan listrik pada *spool* (kumparan) dan juga sebagai roda gila (flywheel) agar putaran poros engkol tidak mudah berhenti atau berat. Sedangkan pada anternator magnet ditempatkan dibagian dalam *spool* (kumparan).

Pembangkit listrik AC pada sepeda motor baik model alternator ataupun model flywheel magneto terdiri dari beberapa kumparan kawat yang berbeda-beda jumlah lilitannya sesuai dengan dengan fungsinya masing-masing, dan akan menghasilkan arus listrik apabila kutub-kutub magnet mempengaruhi kumparan tersebut. Kutub ini didapat dari rotor magnet yang ditempatkan pada poros engkol, dan biasanya dilengkapi dengan empat atau enam buah magnet permanen dan arus listrik AC yang dihasilkan dapat berubah rubah sekitar 50 kali per detik (*50 cyle per secound*). (Muhammad indiono 2012:11-12)

2) Sistem pengapian dengan sumber arus DC (*Diret curent*)

Sumber arus DC (*Direct curent*) dapat diperoleh dari baterai (*accu*) yang merupakan sumber arus DC murni. Baterai ialah alat elektro kimia yang dibuat untuk mensuplai listrik ke komponen sistem kelistrikan. Alat ini menyimpan listrik dalam bentuk energi kimia, yang dikeluarkan bila diperlukan dan mensuplai ke masing-masing sistem kelistrikan atau alat yang memerlukannya. (Toyota Astra-Motor,1995:6-2)

Baterai mempunyai berbagai kelebihan yang menjadi alasan utama digunakan sebagai sumber arus, yaitu :

- a) Arus yang dihasilkan stabil
- b) Dapat diisi ulang
- c) Arus yang dihasilkan DC murni

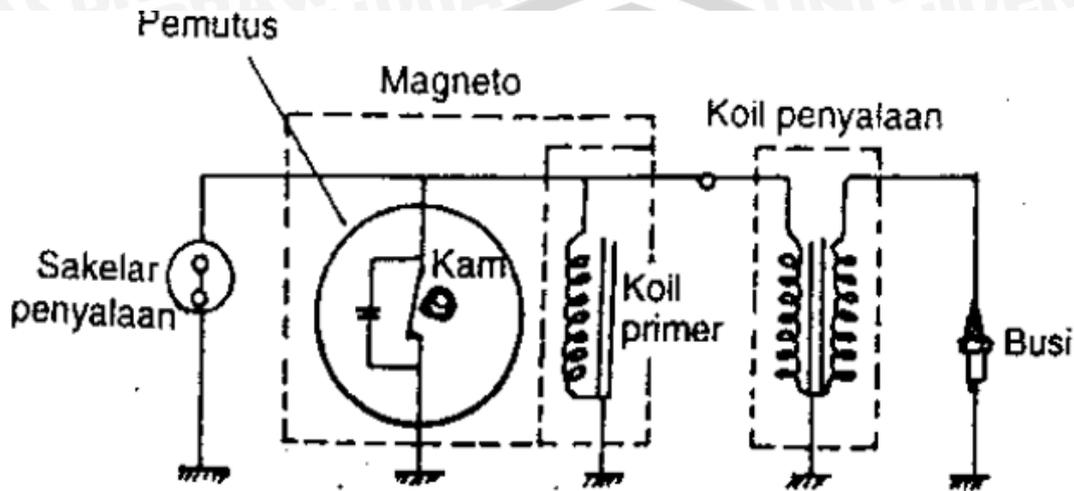
Tetapi kelemahan sumber arus dari baterai ini adalah baterai harus selalu dalam keadaan terisi penuh, sehingga baterai dan sistem pengisian dalam kondisi baik

a. Sistem Pengapian Bedasarkan Pemutus Arus Primer Koil

Bedasarkan pemutus arus primer koil, sistem pengapian dapat dibagi menjadi sistem pengapian dengan pemutus mekanik dan sistem pemutus pengapian dengan sistem elektronik.

(1) Pemutus Mekanik

Pada gambar skema 2.1 sistem ini lebih dikenal dengan sistem pengapian platina. Dengan menggunakan putaran *crank shaft* yang akan merubah posisi cam, kemudian menggunakan pemutus arus (*contact breaker*) sistem pengapian platina pada sepeda motor hampir tidak digunakan lagi, karena tergeser dengan sistem pengapian elektronik.



Gambar 1. Sistem Pengapian Platina
(Sumber : Daryanto, 2002:98)

Gambar 2.1 Sistem Pengapian Platina

Sumber : Sistem Listrik Honda 2012:12

(1) Pemutus Mekanik

Salah satu dari sistem ini yang digunakan adalah sistem CDI (*Capasitor Discharge Ignation*). CDI merupakan rangkaian elektronik yang terdiri dari kapasitor, resistor, dioda dan SCR (*Silicon-controlled Rectifier*). Dengan sistem ini, dimungkinkan keakuratan pengapian tersebut lebih tinggi.

a. Sifat-sifat Cdi secara umum :

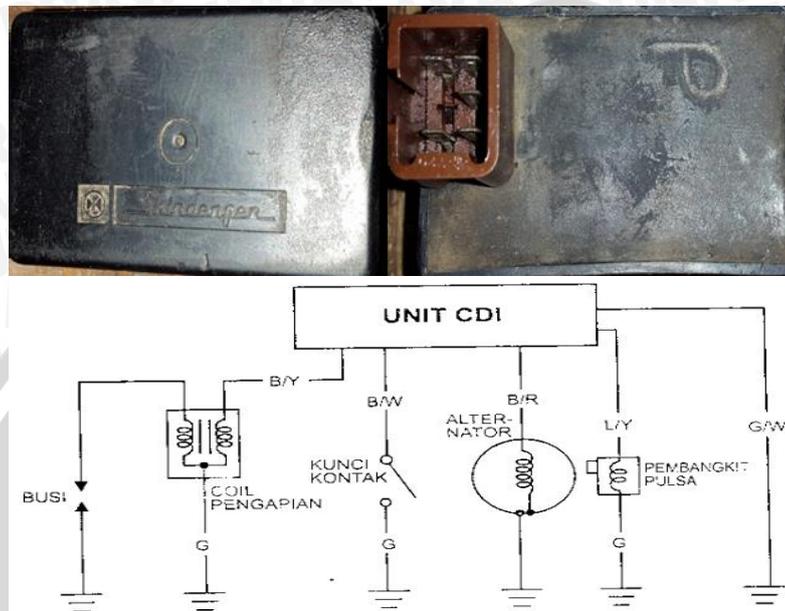
- (1) Mogoknya engine karena kotornya titik kontak dapat dihindarkan.
 - (2) Tidak terjadinya loncatan bunga api melintasi celah titik-titik kontak dan kerenanya voltase sekunder stabil sehingga start dan performance yang baik pada kecepatan rendah terjamin.
 - (3) Pemeliharaan mudah, karena tidak ada persoalan aus pada titik-titik kontak.
 - (4) Busi tidak mudah kotor karena voltase sekunder yang lebih tinggi
- (suganda 1996:95-96)

b. Sistem AC-CDI

Sistem ini dinamakan sistem AC-CDI karena arus yang masuk ke dalam CDI adalah arus bolak-balik (*Alternating Current*), yaitu arus listrik yang langsung berasal dari kumparan eksitasi, oleh karena itu CDI jenis ini dinamakan AC-CDI.

1. Skema AC-CDI

Skema AC-CDI adalah sebagai berikut



Gambar 2.2 Skema AC-CDI

Sumber : Sistem Listrik Honda 2012:12

a. Komponen-Komponen AC-CDI

Pada gambar Skema 2.2 rangkaian AC-CDI ini terdapat beberapa komponen elektronika yang digabungkan menjadi satu sistem. Komponen elektronika tersebut adalah kapasitor, resistor, dioda dan SCR (*Silicon Controlled Rectifier*).

- Kapasitor

Kapasitor untuk menyimpan muatan listrik dikenal sebagai kapasitansi. Satuan kapasitansi ialah farad yang disingkat F. Kapasitansi sebuah kapasitor semakin besar, bila luas lempengnya semakin luas. Dan kapasitansi akan semakin kecil bila jarak kedua lempeng semakin jauh (KF Ibrahim, 1986:28-9).

- Resistor

Resistor akan menghambat aliran arus listrik. Besar arus yang mengalir pada sebuah resistor tergantung nilai resistor dan beda potensial yang dipasang pada resistor tersebut. Semakin besar resistor semakin kecil arus yang mengalir. Sebaliknya semakin besar beda potensialnya semakin besar arus yang mengalir.

- Dioda

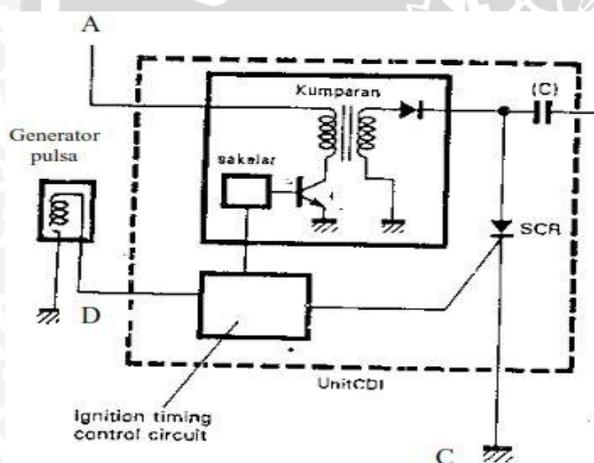
Dioda adalah alat elektronik berterminal dua. Aliran muatan tersebut terjadi bila rangkaian luar disediakan dan tenaga dibebankan kepada alat tersebut. Kontrol aliran partikel diselesaikan dengan menggunakan sebuah tegangan luar yang melalui dioda tersebut.

- SCR (*Silicon controlled rectifier*)

Pelurus yang dikontrol silikon (SCR : *silicon controlled rectifier*) bila ada tegangan kecil yang membuat anoda positif terhadap katoda, maka gelombang tersebut akan dibias balik. Aliran arus dari anoda ke katoda (arah positif) akan dihalangi (*forward blocking* atau penghalang depan) mekanisme yang biasanya digunakan untuk mewakili suatu hantaran adalah memakai sebuah pulsa arus dalam rangkaian gerbang anoda.

2. Skema DC-CDI

Skema DC-CDI adalah sebagai berikut



Keterangan

- A : Kabel oranye dihubungkan ke baterai
- B : kabel putih garis biru dihubungkan ke kumparan primer koil pengapian
- C : Kabel hitam garis putih dihubungkan ke massa
- D : Kabel biru garis kuning dihubungkan ke generator pulsa

Gambar 2.3 Skema DC-CDI

Sumber : Text Book, Suzuki 6:12

b. Komponen-Komponen DC-CDI

Komponen-komponen penyusun DC-CDI seperti pada gambar 2.3 tidak jauh berbeda dengan komponen penyusun AC-CDI. Hanya saja dalam DC-CDI ditambahkan transformator atau transistor. Transformator digunakan menaikkan tegangan dari aki 12 volt menjadi tegangan yang optimal untuk dimasukkan kedalam koil pengapian yaitu 220-300 volt. Sedangkan transistor yang ada yaitu transistor jenis npn digunakan sebagai saklar.

2.3 Bahan Bakar

2.3.1 Bahan bakar cair

Bensin adalah jenis bahan bakar minyak yang digunakan untuk bahan bakar mesin kendaraan motor yang pada umumnya adalah jenis sepeda motor dan mobil. Bahan bakar bensin yang dipakai untuk motor bensin adalah jenis gasoline dan petrol.

Sistem bahan bakar yang menggunakan bahan bakar cair dengan cara dioperasikan menggunakan bahan bakar Pertamina dan Ethanol secara bergantian. Sistem pengapian menggunakan karburator untuk bahan bakar cair. Motor bensin yang digunakan adalah mesin Honda yang sudah di *modified* langkah pembakarannya.

2.3.2 Etanol

Bahan bakar etanol merupakan salah satu jenis bahan bakar alternatif yang terbarukan. Ada dua cara memproduksi etanol yaitu dengan fermentasi senyawa karbohidrat dan hidrasi senyawa *ethylene* yaitu senyawa *hydrocarbon* dengan struktur paling sederhana atau dikenal dengan alkena (C_2H_2). Fermentasi karbohidrat menjadi etil alkohol dibantu dengan menumbuhkan sel-sel atau *yeasts* atau ragi pada bahan bakunya. Bahan baku utama untuk fermentasi untuk produksi alkohol industri adalah tanaman gula seperti tebu dan tanaman biji-bijian seperti jagung. Sedangkan hidrasi etilen dicapai dengan melewati campuran etilen dan uap yang berlebih pada suhu tinggi dan tekanan pada katalis asam.

Ethanol atau etil alkohol yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari karena sifatnya yang tidak beracun. Etanol adalah cairan jernih yang mudah terbakar dengan titik didih pada $7,84\text{ }^\circ\text{C}$ dan titik beku pada $-112\text{ }^\circ\text{C}$ etanol tidak berwarna dan tidak berbau tapi memiliki bau yang khas rumus molekul etanol adalah (C_2H_5OH). (wikipedia etanol pembuatan)

2.3.2.1 Sifat fisik etanol

Ethanol memiliki banyak manfaat bagi masyarakat karena memiliki sifat yang tidak beracun. Selain itu etanol juga memiliki sifat-sifat, baik secara fisika maupun kimia. Adapun sifat fisik etanol sebagai berikut

- Rumus molekul : C_2H_5OH
- Angka Oktan Riset : 111
- Massa molar : $46,06844\text{ g/mol}$
- Densitas : $0,7893\text{ g/cm}^3$
- Titik didih : $78,29\text{ }^\circ\text{C}$

- Titik lebur : -11,14 °C
- Kesamaan (pKa): 15,9
- Viskositas : 1,17 cP (20 °C)
- Nilai cetane : 5-8
- Nilai kalor : 29,847 MJ/kg
- *Flash point* : 16,60 °C

(Sumber : perry 1999)

Ethanol yang digunakan adalah ethanol yang tersedia dipasaran dengan kemurnial sebesar 99,7 % (*hydrated alcohol*) data RON (*Research Octane Number*) diatas angka 111, bearti bearti pada saat dilakukan pengujian, hingga mencapai angka RON 111, Mesin CFR (*Cordinating Research Fuel*) tidak mengindikasi akan terjadinya knocking. Dengan mempertimbangkan faktor keamanan dari mesin

2.3.2.2 Sifat Kimia Ethanol

Selain memiliki sifat-sifat fisik ethanol juga memiliki sifat-sifat kimia. Sifat-sifat kimia tersebut adalah:

1. Merupakan pelarut terbaik dalam senyawa organil.
2. Mudah menguap dan mudah terbakar.
3. Bila direaksikan dengan asam halida akan membentuk *alky halida* dan air



4. Bila direaksikan dengan asam karbosilat akan membentuk ester dan air



5. Dehidrogenasi *ethanol* menghasilkan asetaldehid.
6. Mudah terbakar diudara sehingga lidah api (*Flame*) yang bewarna biru muda dan transparan, dan membentuk H₂O dan CO₂.

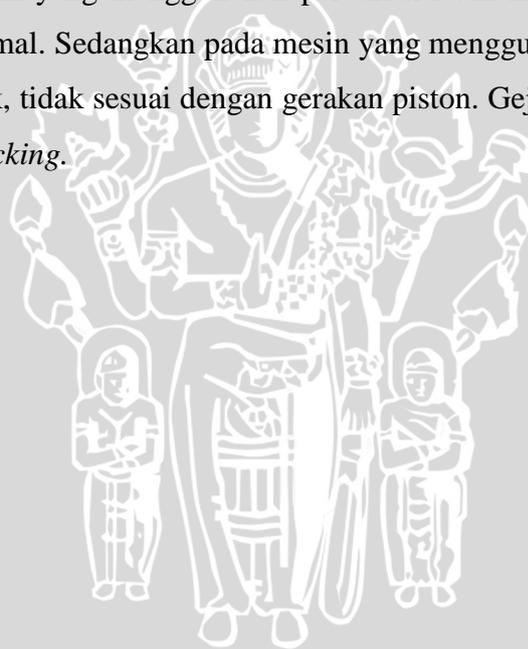
2.3.3 Pertamax

Pertamax adalah bahan bakar minyak andalan pertamina, pertamax seperti halnya premium, adalah produk bbm dari pengolahan minyak bumi. Pertamax RON 92, Pertamax ditunjukan untuk kendaraan yang mensyaratkan juga merekomendasikan untuk kendaraan yang diproduksi diatas tahun 1990. Pertama kali diluncurkan pada tahun 1999 sebagai premix 98 karena unsur MTBE yang berbahaya begi lingkungan. Selain itu Pertamax memiliki keunggulan dibanding dengan premium. Dhasilkan Pertamax dengan penambahan zat aditif dalam proses pengolahannya di kilang minyak. Karena memiliki

oktan tinggi. Maka pertamax biasa meneri tekanan pada kompresi tinggi, sehingga dapat bekerja dengan optimal pada gerakan piston, yang dihasilkan tenaga mesin yang menggunakan lebih maksimal, karena bbm digunakan secara optimal, sedangkan pada mesin yang menggunakan premium , bbm terbakar dan meledak, tidak sesuai dengan gerakan piston. Gejala inilah yang sering disebut *knocking*. Pertamax adlah cairan yang bewarna biru jernih yang memiliki titik didih 215 °C. (Sumber : PT.Pertamina,2007)

Keunggulan Pertamax :

- Bebas timbal. TEL (adiktif penaik oktan yang mengandung lead atau timbal hitam yang tidak sehat)
- Oktan dan *research octane number* (ron) yang lebih tinggi dari premium
- Karena memiliki oktan tinggi, maka pertamax bisa menerima tekanan pada mesin berkompresi tinggi, sehingga dapat bekerja dengan optimal pada gerakan piston hasilnya, tenaga mesin yang menggunakan pertamax lebih maksimal, karena bbm digunakan secara optimal. Sedangkan pada mesin yang menggunakan premium, BBM terbakar dan meledak, tidak sesuai dengan gerakan piston. Gejala inilah yang dinamakan *knocking*.



2.1 Tabel Spesifikasi Fisik Pertamina

Pertamax				
No	Karakteristik	Satuan	Batasan	
			Min	Max
1	Angka Oktan Riset (RON)	RON	92,0	-
2	Stabilitas Oksidasi	Menit	480	-
3	Kandungan Belerang	% m/m	-	0,05 ¹⁾
4	Kandungan Timbal (Pb)	gr/l	-	0,013 ²⁾
5	Kandungan Logam (angan (Mn), Besi (Fe))	mg/l	-	-
6	Kandungan Silikon	mg/kg	-	-
7	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7 ³⁾
8	Kandungan Olefin	% v/v	-	*)
9	Kandungan Aromatic	% v/v	-	50,0
10	Kandungan Benzena	% v/v	-	5,0
11	Distilasi : Titik didih akhi r 10% vol.penguapan 50% vol. penguapan 90% vol. penguapan titikdidih akhir	°C	-	70
		°C	-	110
		°C	-	180
		°C	-	215
		% vol	-	2,0
12	Residu Sedimen	mg/l	-	1
13	Unwashed gum	mg/100 ml	-	70
14	Washed gum	mg/100 ml	-	5
15	Tekanan Uap	kPa	45	60
16	Berat jenis (pada suhu 15 °C)	kg/m ³	715	770
17	Korosi bilah Tembaga	menit	Kelas 1	
18	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0,002
19	Penampilan Visual		Jernih & Terang	
20	Warna		Biru	
21	Kandungan Pewarna	gr/100 l	-	0,13
22	Kandungan Phospor	mg/l	-	-

(Sumber : PT.Pertamina,2007)

2.4 Motor Bakar Torak

Motor bakar torak merupakan salah satu jenis penggerak yang banyak dipakai. Dengan memanfaatkan energi kalor dari proses pembakaran menjadi energi mekanik. Motor bakar salah satu jenis mesin kalor yang proses pembakaran terjadi dalam motor

bakar itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus sebagai fluida kerjanya. Mesin yang bekerja dengan cara seperti tersebut disebut mesin pembakaran dalam. Adapun mesin kalor yang cara memperoleh energi dengan proses pembakaran diluar disebut mesin pembakaran luar. Sebagai contoh mesin uap, dimana energi kalor diperoleh dari pembakaran luar kemudian dipindahkan ke fluida kerja melalui dinding pemisah.

Keuntungan dari mesin pembakaran dalam dibandingkan dengan mesin pembakaran luar adalah konstruksinya lebih sederhana, tidak memerlukan fluida kerja yang banyak dan efisiensi total lebih tinggi. Sedangkan mesin pembakaran luar keuntungannya adalah bahan bakar yang digunakan lebih beragam, mulai dari bahan bakar padat sampai bahan-bakar gas, sehingga mesin pembakaran luar banyak dipakai untuk keluaran daya yang besar dengan bahan bakar murah. Pembangkit tenaga listrik banyak menggunakan mesin uap. Untuk kendaraan transport mesin uap tidak banyak dipakai dengan pertimbangan konstruksi yang besar dan memerlukan fluida kerja banyak.

Berdasarkan jenis penyalaan motor bakar di bagi 2 macam motor bensin (*Otto*) dan motor diesel. Pada motor diesel penyalaan bahan bakar diperoleh dengan bantuan udara terkompresi pada langkah kompresi terjadi naiknya tekanan yang diikuti kenaikan temperatur sehingga saat bahan bakar diinjeksikan kedalam ruang bakar, akan terbakar dengan sendirinya karena temperatur nyala dari bahan bakar telah tercapai, sehingga motor diesel disebut CIE (*CombusterIgnitionEngine*).

2.5 Motor Bakar Otto

Motor Otto lebih sering dikenal dengan motor bensin terdiri dari busi dan kalburator. Busi digunakan untuk menyalakan campuran udara-bahan bakar. Kalburator ialah kondisi bercampurnya bahan bakar dengan udara, dimana bahan bakar tersebut disemprotkan oleh *pilot* dan *main jet* sebab perbedaan tekanan pada lubang venturi yang dialiri oleh udara. Campuran tersebut kemudian masuk kedalam ruang bakar melalui intake manifold dan dibakar oleh ledakan bunga api listrik oleh busi menjelang langkah akhir kompresi, sehingga menghasilkan gas pembakaran sebagai fluida kerja yang digunakan untuk melakukan kerja.

2.5.1 Siklus 4 Langkah

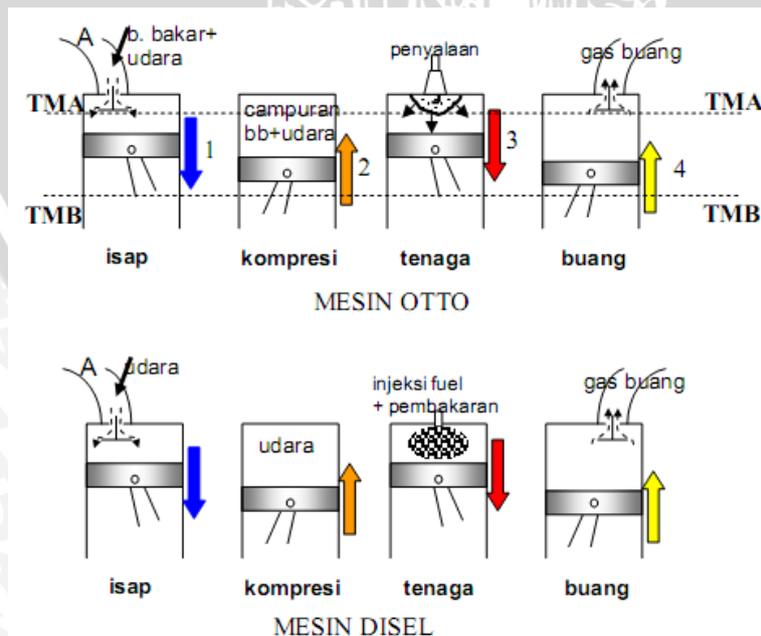
Motor bakar torak bekerja melalui mekanisme langkah yang terjadi berulang ulang atau periodik sehingga menghasilkan putaran pada poros engkol. Sebelum terjadi poros pembakaran didalam silinder, campuran udara dan bahan bakar harus dihisap dulu dengan

langkah hisap. Pada langkah ini, piston dari TMA (Titik Mati Atas) menuju TMB (Titik Mati Bawah), katup isap masih terbuka sedangkan katup buang masih tertutup.

Setelah campuran bahan bakar udara masuk ke silinder kemudian di kompresi dengan langkah kompresi, yaitu piston bergerak dari TMB menuju TMA, kedua katup isap dan buang tertutup. Karena dikompresi volume campuran menjadi kecil dengan tekanan dan temperatur naik, dalam kondisi tersebut campuran bahan-bakar udara sangat mudah terbakar. Sebelum piston sampai TMA campuran dinyalakan terjadilah proses pembakaran menjadi tekanan dan temperatur naik, sementara piston masih naik terus sampai TMA sehingga temperatur semakin tinggi. Setelah sampai TMA kemudian torak menuju didorong menuju TMB dengan tekanan tinggi, katup isap dan buang masih tertutup.

Selama piston bergerak menuju dari TMA ke TMB yang merupakan langkah kerja atau langkah ekspansi. Volume gas pembakaran bertambah besar dan tekanan menjadi turun. Sebelum piston mencapai TMB katup buang dibuka, katup masuk masih tertutup. Kemudian piston bergerak menuju ke TMA mendesak gas pembakaran keluar melalui katup buang.

Proses pengeluaran gas pembakaran disebut dengan langkah buang. Setelah langkah buang selesai siklus dimulai lagi dari langkah hisap lagi dan seterusnya. Piston bergerak dari TMA-TMB-TMA-TMB-TMA membentuk satu siklus. Ada satu langkah tenaga dengan dua putaran poros engkol. Motor bakar yang bekerja dengan siklus lengkap tersebut diklasifikasikan masuk golongan motor 4 langkah.



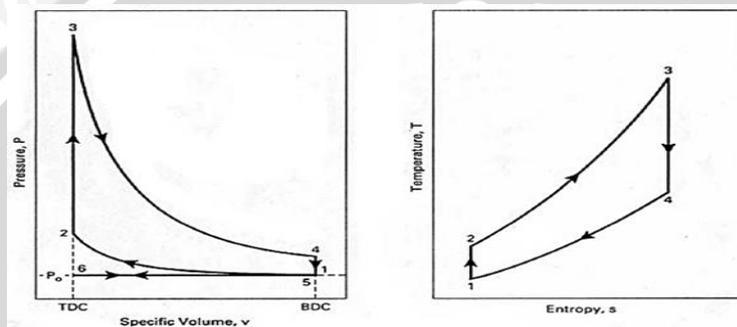
Tabel 2.4 Siklus Motor 4 Langkah

Sumber : Kemal faza Anfaroz (2013)

Dalam menganalisis proses yang terjadi di dalam motor Otto empat langkahakan ditunjukkan melalui skema siklus motor Otto empat langkah secara ideal. Siklusudara menggunakan beberapa keadaan yang sama dengan siklus sebenarnya, misalnyamengenai:

1. Urutan proses
2. Perbandingan kompresi
3. Pemilihan temperatur dan tekanan pada suatu keadaan
4. Penambahan kalor yang sama per satuan berat udara.

Siklus motor Otto empat langkah dapat ditunjukkan dalam diagram (P-v) dan diagram (T-s) pada berikut:



Gambar 2.5 Diagram hubungan (P-v) dan (T-s)

Sumber :Pulkrabrek (2004:90)

Langkah kerja siklus Otto terdiri dari:

- Proses 0 – 1 : Langkah isap/pengisian secara isobaric($P=\text{konstan}$)
- Proses 1 – 2 : Langkah kompresi/tekan secara isentropic($s=\text{konstan}$)
- Proses 2 – 3 : Proses pemanasan dan pembakaran secara isokhorik($v=\text{konstan}$)
- Proses 3 – 4 : Langkah kerja/ekspansi secara isentropic($s=\text{konstan}$)
- Proses 4 – 1 : Proses pendinginan/pengeluaran kalor secara isokhorik($v=\text{konstan}$)
- Proses 1 – 0 : Langkah buang/pengeluaran gas sisa hasil pembakaran($P=\text{konstan}$)

2.5.2 Motor Bakar 6 Langkah

Motor bakar 6 langkah adalah jenis motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang mengacu pada konsep dasar motor bakar 4 langkah (otto). Namun diberi penambahan 2 langkah kerja yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan menurunkan emisi mesin. Sejak tahun 1890 telah dilakukan pengembangan 2 langkah yang telah ditambahkan pada motor bakar 6 langkah.

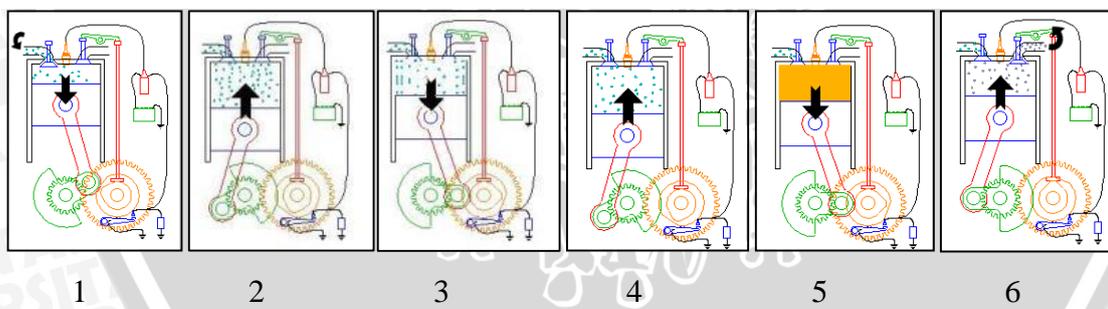
Terdapat beberapa literatur dan *prototype* dari motor bakar 6 langkah di internet, namun masih sangat sedikit artikel atau tulisan yang mempublikasikan tentang unjuk kerja motor bakar 6 langkah. Wikipedia (2015) merangkum beberapa versi dari motor bakar 6 langkah yang telah dipublikasikan diantaranya Bajulaz (Bajulaz, 1989), Bruce Crower (Crower, 2007), Volezta (Kapil N. Kariya, 2014), Bazmi (Ziabazmi, 2004) dan Niykado (Anil, 2012). Tiga mesin pertama dari Bajulaz, Velozeta dan Crower telah menggunakan 6 langkah utuh, meskipun keenam langkah tersebut memakai 2 langkah kerja untuk menambahkan 1 siklus. Dimana dua langkah kerja yang berbeda berlangsung berurutan. Sehingga diperlukan sinkronisasi dari 2 langkah kerja tersebut. Sementara itu, motor bakar 6 langkah Bazmi dan Nykado tidak memerlukan sinkronisasi daya karena masing-masing motor bakar mereka hanya menggunakan 1 langkah kerja untuk satu siklus. Jika dibandingkan dengan motor bakar 4 langkah konvensional, motor bakar 6 langkah Bazmi melakukan penambahan 2 langkah sebagai langkah istirahat. Pada langkah istirahat tersebut tetap ada satu katup dalam posisi terbuka saat piston melakukan gerakan translasi. Menahan satu katup tetap terbuka bertujuan untuk mendapatkan pembuangan gas yang lebih baik. Meskipun begitu, mesin 6 langkah Bazmi berarti 4 langkah siklus konvensional ditambah 2 langkah penyempurnaan pembuangan.

Konsep motor bakar 6 langkah dari Conklin dan Szybist (Conklin and Szybist, 2010), secara prinsip mesin sama seperti mesin motor bakar 4 langkah dengan penambahan 2 langkah baru dalam satu siklus setelah 4 langkah siklus konvensional yang digunakan untuk mengelola tenaga yang dihasilkan dari uap (*steam*) ketika langkah ke 4 dari mesin, dengan menyemprotkan air ke dalam silinder ruang bakar. Air yang disemprotkan akan menjadi uap (*steam*) karena panas dari ruang bakar setelah melakukan proses pembakaran mencapai 1500°F, sehingga uap (*steam*) tersebut digunakan sebagai tenaga baru untuk menggerakkan piston. Pada langkah ke 6 piston bergerak dari TMB ke TMA untuk mengeluarkan uap (*steam*) dari dalam ruang bakar menuju *condenser* untuk di *re-cycle* sebagai *injection water* selanjutnya. Mesin ini menghasilkan 40% tenaga lebih besar dan kadar emisi gas buang yang lebih rendah dari motor bakar 4 langkah. Conklin dan Szybist (Conklin and Szybist, 2010) yakin bahwa siklus motor bakar 6 langkah yang menggunakan injeksi air untuk menyerap kalor secara langsung dari gas sisa pembakaran lebih sederhana dari pada menggunakan panas permukaan ruang bakar sebagai sumber panas utama tersebut.

2.5.3 Motor Bakar 6 Langkah berbasis Penambahan Durasi Difusi dan Termal Campuran

Berbada dengan konsep-konsep motor bakar 6 langkah diatas, motor bakar 6 langkah berbasis penambahan durasi difusi ini dikembangkan oleh Eko Siswanto, et al (2014) menjelaskan sebuah konsep baru yang tidak hanya menggunakan 1 langkah kerja pada satu siklus, yaitu mengganti 2 langkah kerja untuk penyempurnaan pembuangan (setelah langkah buang) menjadi 2 langkah difusi (menjelang langkah kerja atau proses pembakaran) sehingga tidak perlu mensinkronisasikan langkah kerja. Pada prinsipnya penelitian siklus motor bakar 6 langkah ini terdiri dari penambahan 2 langkah kerja terhadap siklus Otto 4 langkah yang bertujuan untuk menambah waktu difusi bahan bakar terhadap udara yang masuk ke ruang bakar. Sehingga siklus dari motor bakar 6 langkah dalam penelitian ini terdiri dari:

1. Langkah Hisap
2. Langkah Kompresi Difusi I
3. Langkah Ekspansi Difusi
4. Langkah Kompresi
5. Langkah Ekspansi
6. Langkah Buang



Gambar 2.6 Skema siklus motor bakar 6 langkah berbasis difusi

Sumber : Noor (2015)

Seperti pada gambar 2.4 secara teoritis pada langkah 3 dan 4 langkah difusi ekspansi dan langkah difusi kompresi adalah penambahan 2 langkah difusi terhadap siklus Otto 4 langkah dapat disimpulkan bahwa kualitas dari kerja ekspansi yang terjadi memiliki nilai lebih tinggi dari motor bakar 4 langkah. Karena dilakukan penambahan durasi difusi bahan bakar terhadap udara masuk maka mesin memiliki 2 tahap langkah kompresi seperti langkah 2 dan langkah 3 pada satu siklus yang memungkinkan untuk peningkatan

homogenitas dan temperatur dari campuran udara-bahan bakar saat sebelum terbakar untuk mendapatkan daya ekspansi yang lebih baik. Akibat adanya peningkatan *power* dalam satu siklus maka motor dapat menurunkan rasio konsumsi bahan bakar terhadap putaran dan juga dapat meningkatkan rasio energi ekspansi terhadap *losses* massa bahan bakar yang tidak terbakar, namun juga tidak mengorbankan rasio energi ekspansi terhadap rugi energi gesekan.

Istilah difusi secara sederhana merupakan perpindahan massa dari konsentrasi tinggi menuju konsentrasi yang lebih rendah, yang disebabkan oleh adanya perbedaan konsentrasi (gradien). Karena dinding silinder, kepala silinder dan kepala piston berdifusi kedalam campuran udara-bahan bakar lebih lama, maka motor bakar 6 langkah ini diharapkan dapat menurunkan temperturnya, secara tidak langsung dapat menyederhanakan sistem pendinginan dan dapat meningkatkan keandalan komponen-komponen motor.

Pada gambar 2.4 Skema dari motor bakar 6 langkah ini di dukung beberapa literatur. Seperti rendahnya homogenitas campuran udara – bahan bakar dan homogenitas temperatur campuran di ruang bakar. (Liakos, Founti & N.C., 2000), Relatif rendahnya kedua homogenitas ini terutama saat putaran tinggi disebabkan oleh rendahnya kecukupan durasi difusi dari bahan bakar ke dalam seluruh udara pembakar dan kecukupan durasi difusi termal dari dinding silinder ke seluruh campuran bahan bakar – udara. Keunggulan lain yang mungkin diperoleh adalah *power band* yang didapat dari motor ini karena secara teoritis motor akan cenderung bekerja pada putaran tinggi, sehingga *range* dari puncak torsi dengan puncak daya akan tersebar lebih merata secara luas direntang putaran motor tersebut. Ini terjadi bila dibandingkan secara komparatif terhadap motor bakar 2 langkah dan motor bakar 4 langkah.

Dari pengujian awal yang dilakukan oleh Eko Siswanto, et al (2014) dan Gilang Rausan Fikri Noor (2015) pada motor bakar 6 langkah ini, memeperlihatkan bahwa konsumsi bahan bakar dari motor bakar 6 langkah berbasis penambahan durasi difusi sedikit lebih besar dari motor bakar 4 langkah, namun memiliki nilai yang lebih tinggi pada daya yang dihasilkan dan torsi poros engkol. Sehingga dapat disimpulkan bahwa konsep motor bakar 6 langkah berbasis penambahan durasi difusi ini memiliki potensi yang besar untuk terus dikembangkan sebagai alternatif baru teknologi motor bakar masa depan.

2.6 Teori pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan oksigen sebagai oksidator yang mengakibatkan bertambahnya temperatur. Elemen penting bahan bakar adalah karbon sulfur dan hidrogen. Pembakaran bisa dikatakan sempurna apabila percampuran terkandung dalam unsur karbondioksida(CO_2), semua hidrogen (H) terbakar membentuk uap air (H_2O), dan semua sulfur (S)terbakar membentuk sulfurdioksida (SO_2) apabila tidak memenuhi unsur ini, bearti pembakaran tidak sempurna.

Diamati secara aerodinamika ada dua jenis pembakaran :

1. Pembakaran difusi

Pembakaran difusi adalah proses pembakaran dimana bahanbakar dan O_2 (oksigen) tidak dicampur secara mekanik, melainkan menyatu alami dengan proses difusi seperti contoh pada motor diesel,membakar lilin.

2. Pembakarn premix (premixed)

Pembakaran premix adalah pembakaran dimana bahan bakar (fuel) bercampur secara sempurna sebelum didalam burner di alirkan kemulut burner bercampur secara mekanik seperti contoh pembakaran pada motor bensin.

2.6.1 Proses Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidator (oksigen atau udara) yang diberikan energi aktivasi lalu menghasilkan energi kalor dan cahaya. Sesuai dengan gambar dibawah proses pembakaran bisa berlangsung jika ada :

1. Bahan bakar
2. Pengoksidasi (oksigen atau udara)
3. Panas atau energi aktivasi



Gambar 2.7 Ilustrasi proses pembakaran

Sumber : Wardana (2008:3)

Panas atau energi disini diperlukan untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar. Panas atau energi yang dipakai untuk mengaktifkan molekul-molekul bahan bakar disebut energi aktivasi. Pada proses pembakaran kontiyu, umumnya energi aktivasi diambil dari panas hasil pembakaran lewat cara radiasi seperti diilustrasikan pada gambar 2.5 atau lewat cara konveksi (sirkulasi balik). Dalam beberapa mesin-mesin pembakaran dalam energi aktivasi diperoleh dari pemantik tegangan tinggi atau kompresi temperatur tinggi.

Ada dua hal yang sangat penting dan harus dipenuhi agar proses pembakaran bisa berlangsung yaitu :

- Keseimbangan massa
- Keseimbangan energi

Keseimbangan massa atau yang sering disebut stoikiometri oleh para ahli kimia berasal dari bahasa Yunani *stoicheion* yang berarti elemen atau prinsip utama. Sedangkan keseimbangan energi dalam pembakarana adalah turunan sari prinsip – prinsip termokimia.

2.6.2 Pembakaran pada Motor Otto

Menghasilkan kerja mesin yang maksimal. Pembakaran dengan cara difusi adalah proses pembakaran mempunyai peranan penting dan proses pembakaran sempurna di upayakan mendekati sempurna. Dengan pembakaran yang optimal dapat diartikan bahan bakar akan habis terbakar, menyebabkan energi panas yang dihasilkan meningkat dan emisi gas CO akan menurun. Seperti ini bearti bahwa kosumsi bahan bakar yang sama, kerja dari mesin yang di hasilkan akan lebih besar dan polusi udara yang dihasilkan rendah daripada pambakaran tidak sempurna.

Pembakaran didalam bahan bakar terjadi sangat cepat, tetapi ada jedawaktu pada saat awal percikan api oleh busi sehingga percampuran bahan bakar dan udara terbakar semua. Setelahbusi menyala, nyala api akan menyebar ke segala arah dengan kecepatan yang tinggi ($20-50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) dan menyalakan campuran yang melalui sehingga tekanan dalam ruang bakar naik sesuai dengan campuran yang terbakar (aris munandar, 2002:82).

Campuran udara dan bahan bakar pembakaran sangat menentukan besar tekanan ditimbulkan pada torak. Sebaliknya apabila nyala busi masih menunggu giliran untuk terbakar. Akan tetapi ada kemungkinan bagian campuran tersebut terakhir, karena terdesak oleh penekanan torak maupun dengan rambat api yang menyala dengan cepat. Temperturnya dapat melampaui temperatur penyalaan sendiri sehingga akan terbakar

dengan cepatnya. Proses terbakarnya sendiri dari bagian campuran yang terakhir (terjatuh dari busi) dinamakan detonasi. Detonasi yang berulang-ulang dalam waktu yang cukup lama dapat merusak bagian motor bakar.

2.7 Unjuk Kerja Motor Bakar

Pengujian dari suatu penelitian motor bakar adalah mengetahui kinerja dari motor bakar yang diteliti. Adapun parameter-parameter yang untuk mengetahui kerjadari mesin itu sendiri dalam motor bakar 6 langkah meliputi :

1. Torsi (T).
2. Daya Efektif (Ne).
3. Kosumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe)

2.7.1 Torsi

Torsi adalah segala bentuk energi pada mesin bakar dikonversi menjadi rotasi. Sehingga gaya yang awalnya linier (gerak piston naik) menjadi gerak putar pada poros engkol/kruk as. Dari sini besar gerakan gaya naik-turun piston digunakan untuk mendorong poros engkol untuk mendorong poros engkol untuk gerakan memutar. dan torsi adalah perkalian dari besar gaya dan jarak titik gaya terhadap sumber putar poros engkol. Besarnya torsi dapat dirusmakan seperti berikut:

$$T = F \times L$$

(2-1)

dengan :

T = torsi yang dihasilkan (kg·m)

F = besarnya beban pengereman (kg)

L = panjang lengan dinamometer (m)

Ada juga alat yang langsung menunjukkan hasil besarnya torsi yang dihasilkan oleh poros dengan satuan (kg·m).

2.7.2 Daya Efektif

Daya efektif sering disebut juga daya yang keluar dari poros mesin atau sering disebut sebagai daya poros yang digunakan menggerakkan beban. Daya poros itu sendiri dibangkitkan oleh gaya indikator yang merupakan tenaga gas hasil pembakaran yang menggerakkan torak, dimana sebagian tenaga indikator dibutuhkan untuk menghasilkan

mengatasi gesekan-gesekan mekanik akibat adanya beban, sehingga tenaga/daya poros akan kecil, besar daya poros dihitung dengan rumus.

$$N_e = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,5} \quad (2-2)$$

dengan:

N_e = daya efektif (hp)

T = torsi (kg·m)

ω = kecepatan angular poros (rad·detik⁻¹)

n = putaran poros (rpm)

2.7.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif

Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) menyatakan laju konsumsi bahan bakar pada suatu motor bakar torak, pada umumnya dinyatakan dalam jumlah massa bahan bakar persatuan keluaran daya, atau dapat juga didefinisikan dengan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh motor bakar untuk menghasilkan tenaga 1 hp menghasilkan daya efektif selama 1 jam *SpecificFuelConsumptionEffective* (SFC_e) dengan persamaan sebagai berikut:

$$SFC_e = \frac{F_c}{N_e} \quad (2-3)$$

dengan:

SFC_e = *SpecificFuelConsumption Effective* (kg·HP⁻¹·jam⁻¹)

F_c = konsumsi bahan bakar (kg·jam⁻¹)

N_e = daya efektif (hp)

2.8 Hipotesis

Bedasarkan penjelasan diatas didapat dugaan bahwa penggunaan bahan bakar dengan nilai oktan yang tinggi dapat mempengaruhi torsi, daya dan konsumsi bahan bakar pada motor bakar 6 langkah