

**PENGARUH PEMANASAN BAHAN BAKAR MELALUI UPPER TANK
RADIATOR DENGAN PIPA TEMBAGA TEHADAP TORSI
DAN DAYA SEPEDA MOTOR EMPAT LANGKAH**

SKRIPSI

*Diajukan kepada Tim Penguji Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif
Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
sebagai salah satu persyaratan Guna memperoleh Gelar
Sarjana Pendidikan*



Oleh :

**ENDRIKA WAHIDRI
NIM. 1302718/2013**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF
JURUSAN TEKNIK OTOMOTIF
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2017**

PERSETUJUAN SKRIPSI

PENGARUH PEMANASAN BAHAN BAKAR MELALUI *UPPER TANK* RADIATOR DENGAN PIPA TEMBAGA TERHADAP TORSI DAN DAYA SEPEDA MOTOR EMPAT LANGKAH

Oleh:

Nama : Endrika Wahidri
NIM/BP : 1302718/2013
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif
Jurusan : Teknik Otomotif
Fakultas : Teknik

Padang, 10 Agustus 2017

Disetujui Oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II



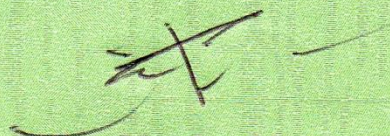
Drs. Erzeddin Alwi, M. Pd
NIP. 19600303 198503 1 001



Dr. Remon Lapisa, ST. MT. M. Sc
NIP. 19770918 200812 1 001

Diketahui Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Otomotif



Drs. Martias, M. Pd
NIP. 19640801 199203 1 003

PENGESAHAN SKRIPSI

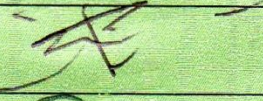
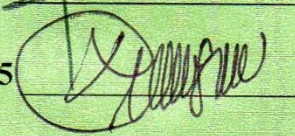
Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

Judul : **Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Melalui *Upper Tank* Radiator Dengan Pipa Tembaga Terhadap Torsi Dan Daya Sepeda Motor Empat Langkah**

Nama : Endrika Wahidri
NIM/BP : 1302718/2013
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif
Jenjang Program : Strata I
Jurusan : Teknik Otomotif
Fakultas : Teknik

Padang, 10 Agustus 2017

Tim Penguji

	Nama	TandaTangan
Ketua	: Drs. Erzeddin Alwi, M. Pd	1 
Sekretaris	: Dr. Remon Lapisa, ST, MT, M. Sc	2 
Anggota	: Drs. Martias, M. Pd	3 
	: Drs. Bahrul Amin, ST, M. Pd	4 
	: Nuzul Hidayat, S.Pd, MT	5 



SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Endrika Wahidri
NIM/BP : 1302718/2013
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif
Jurusan : Teknik Otomotif
Fakultas : Teknik

Dengan ini menyatakan, bahwa Skripsi/Tugas Akhir/Proyek Akhir saya dengan judul: **"Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Melalui Upper Tank Radiator Dengan Pipa Tembaga Terhadap Torsi Dan Daya Sepeda Motor Empat Langkah"** adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia di proses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di institusi UNP maupun di masyarakat dan negara.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, 10 Agustus 2017
Saya yang menyatakan



Endrika Wahidri

NIM/BP. 1302718/ 2013

ABSTRAK

Endrika Wahidri: Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Melalui *Upper Tank* Radiator Dengan Pipa Tembaga Terhadap Torsi Dan Daya Sepeda Motor Empat Langkah

Bahan bakar harus dapat terbakar keseluruhannya didalam ruang bakar untuk menghasilkan unjuk kerja yang maksimum. Dalam upayanya untuk meningkatkan unjuk kerja maksimum sepeda motor dilakukan dengan berbagai cara salah satunya dengan memanaskan bahan bakar, bahan bakar dipanaskan pada *upper tank* radiator dengan memanfaatkan panas air pendingin radiator. Dengan membuat saluran bahan bakar yang terbuat dari pipa tembaga melalui *upper tank* radiator, maka sebelum bahan bakar tercampur dengan udara bahan bakar dapat menguap dan betekan, sehingga mempercepat dan memperbanyak pemasukan pencampuran bahan bakar dan udara didalam karburator dengan harapan dapat meningkatkan performa mesin.

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen untuk mengungkap pengaruh pemanasan bahan bakar terhadap torsi dan daya sepeda motor Honda Vario 110 cc dengan menggunakan alat *dyno test*. Pengujian ini dilakukan pada sepeda motor standar tanpa pemanas dan dengan pemanasan bahan bakar. Pengujian torsi dan daya dilakukan sebanyak 3 kali dan data yang diambil pada setiap sampel yang ada pada grafik, kemudian dirata-ratakan dan dibandingkan untuk mengetahui pengaruh pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator terhadap torsi dan daya yang dihasilkan mesin sepeda motor.

Dari data hasil penelitian, diperoleh bahwa pemanasan bahan bakar berpengaruh terhadap torsi dan daya sepeda motor empat langkah. Torsi rata-rata pada putaran mesin 6500 rpm tanpa pemanas sebesar 6,72 Nm dengan torsi rata-rata pada putaran mesin 6500 rpm dengan menggunakan pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator dengan pipa tembaga sebesar 7,07 Nm. Dengan peningkatan torsi sebesar 0,35 Nm atau 4,95 %. Sedangkan Daya rata-rata tanpa pemanas pada putaran mesin 8000 rpm sebesar 6,3 HP dengan daya rata-rata menggunakan pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator dengan pipa tembaga sebesar 6,8 HP pada putaran mesin 8000 rpm. Dengan peningkatan daya sebesar 0,5 atau 7,35 %.

Kata Kunci: Pemanasan Bahan Bakar Melalui Upper Tank Radiator, Torsi dan Daya.

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah penulis ucapkan kepada Allah SWT, yang mana atas berkat, karunia serta memberi kemudahan bagi penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Melalui *Upper Tank* Radiator dengan Pipa Tembaga Terhadap Torsi dan Daya Sepeda Motor Empat Langkah”**. Skripsi ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana (S1) pada Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak mendapat bantuan, masukan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Fahmi Rizal, M.Pd, M.T, Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
2. Bapak Drs. Martias, M.Pd, Ketua Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
3. Bapak Donny Fernandez, S.Pd, M.Sc, Sekretaris Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
4. Bapak Drs. Erzeddin Alwi, M.Pd, selaku dosen pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, saran-saran dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

5. Bapak Dr. Remon Lapisa, ST, MT, M.Sc, selaku dosen pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan, saran-saran dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak/Ibu dosen dan semua staf di Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang
7. Teristimewa untuk kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan semangat, dorongan, dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
8. Rekan-rekan Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang yang ikut memberi saran, masukan, dan semangat selama penyusunan skripsi ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah ikut memberikan petunjuk, saran, masukan, dukungan baik moral maupun moril dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Semoga dorongan, bantuan, dan do'a serta bimbingannya yang telah diberikan kepada penulis, diberikan balasan yang setimpal di sisi Allah SWT. Dalam penyusunan skripsi ini takkan luput dari kesalahan/kekhilafan oleh karena itu dengan kerendahan hati, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi kesempurnaan dimasa yang akan datang.

Padang, 10 Agustus 2017

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Pembatasan Masalah	5
D. Perumusan Masalah.....	5
E. Tujuan Penelitian.....	5
F. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II KERANGKA TEORI.....	7
A. Kajian Teori.....	7
B. Penelitian Yang Relevan	53
C. Kerangka Konseptual	54
D. Hipotesis	55
BAB III METODE PENELITIAN	56
A. Desain Penelitian	56
B. Definisi Operasional	57

C. Variabel Penelitian	58
D. Objek Penelitian	59
E. Jenis Dan Sumber Data	61
F. Tempat Dan Waktu Penelitian.....	61
G. Instrumen Penelitian.....	61
H. Prosedur Penelitian.....	63
I. Teknik Pengambilan Data	64
J. Teknik Analisa Data	65
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	68
A. Hasil Penelitian.....	68
B. Analisa Data	71
C. Pembahasan	72
D. Keterbatasan Penelitian	75
BAB V PENUTUP.....	77
A. Kesimpulan.....	77
B. Saran	78
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN.....	82

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Fraksi Distilasi	25
2. Spesifikasi Bensin Pertamina RON 92	26
3. Konduktivitas Berbagai Bahan Pada Temperatur Ruang.....	48
4. Pola Penelitian	57
5. Spesifikasi Mesin Honda Vario	60
6. Spesifikasi Digital Thermometer	62
7. Spesifikasi <i>Dynamometer</i>	62
8. Data Hasil Pengujian Torsi Sepeda Motor Dengan <i>Dynotest</i>	65
9. Data Hasil Pengujian Daya Sepeda Motor Dengan <i>Dynotest</i>	65
10. Data Hasil Pengujian Torsi Sepeda Motor Dengan <i>Dynotest</i>	68
11. Data Hasil Pengujian Daya Sepeda Motor Dengan <i>Dynotest</i>	68
12. Analisis statistik deskriptif.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Geometri silinder, piston, batang torak dan poros engkol	7
2. Diagram P-V baku Otto	30
3. Diagram P vs V dari siklus volume konstan	33
4. P-V dan T- S Diagram	35
5. Klasifikasi Arah aliran fluida	42
6. Analogi tahanan untuk silinder bolong dengan kondisi batas konveksi	45
7. Pemasangan Pemanas dengan Pipa Tembaga pada <i>upper tank</i> Radiator.....	47
8. Perpindahan Panas pada <i>Heat Exchanger</i>	50
9. Skema Pemasangan Aliran Pemanasan Bahan Bakar melalui <i>Upper Tank</i> Radiator dengan Pipa Tembaga pada Sepeda Motor	51
10. Kerangka Konseptual.....	55
11. Grafik Perbandingan Peningkatan Torsi Tanpa Pemanas Dan Dengan Pemanasan Bahan Bakar Melalui Upper Tank Radiator	69
12. Grafik Perbandingan Peningkatan Daya Tanpa Pemanas Dan Dengan Pemanasan Bahan Bakar Melalui Upper Tank Radiator	70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Surat Izin Melakukan Penelitian.....	83
2. Surat Keterangan Selesai Melakukan Penelitian	84
3. Data Hasil Penelitian dengan <i>Dyno test</i>	85
4. Dokumentasi Penelitian	91

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, berbagai alat diciptakan untuk mempermudah dan menambah kenyamanan manusia dalam mencukupi dan memenuhi kebutuhan. Diantaranya adalah dibidang otomotif. Dimana dalam penggunaannya diperlukan pengetahuan tentang mesin sehingga dapat berjalan seefektif dan seefisien mungkin.

Mesin merupakan alat untuk membangkitkan tenaga, sebagai penggerak utama yang merubah energi panas dari ruang pembakaran menjadi energi mekanis. Tenaga untuk menggerakkan kendaraan diperoleh dari panas hasil pembakaran bahan bakar. Panas yang timbul karena adanya pembakaran yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan. Dengan kata lain tekanan gas yang terbakar akan menghasilkan performa mesin.

Peforma mesin memiliki beberapa parameter yang menentukan kinerja motor, diantaranya torsi dan daya. Torsi merupakan besarnya tenaga yang dihasilkan dari porses pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar. Tenaga yang dihasilkan dapat mendorong torak yang akhirnya memutar poros engkol dan menggerakkan sepeda motor. Sedangkan daya yang dihasilkan dari pembakaran merupakan besarnya kerja yang dapat dilakukan dalam waktu tertentu. Menurut Hidayat (2012:22--23), ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi kemampuan mesin dalam

menghasilkan torsi dan daya, diantaranya: volume silinder, perbandingan kompresi, efisiensi volumetrik, efisiensi pemasukan campuran udara dan bahan bakar serta efisiensi daya motor.

Karburator merupakan salah satu bagian suplay bahan bakar yang penting pada sepeda motor. Karburator berfungsi untuk mencampur bahan bakar dan udara dalam perbandingan yang tertentu sehingga menjadi gas pembakar yang dibutuhkan oleh mesin sepeda motor. Bahan bakar harus dapat terbakar keseluruhannya didalam ruang bakar untuk menghasilkan tenaga yang maksimal.

Sepeda motor yang menggunakan karburator sebagai pencampuran bahan bakar dan udara kurang baik, karena atomisasi campuran udara dan bahan bakar bensin yang kurang sempurna. Akibat dari atomisasi campuran yang kurang sempurna adalah adanya bahan bakar bensin yang tidak dapat terbakar dengan baik, sehingga energi yang didapat bahan bakar tidak maksimal untuk mendorong torak. Dorongan torak yang tidak maksimal mengakibatkan berkurangnya kemampuan mesin dalam menghasilkan torsi dan daya. Hal ini disebabkan oleh proses pembakaran yang kurang sempurna, dengan adanya sebagian bahan bakar yang tidak terbakar. Dengan kata lain sepeda motor karburator mengalami masalah pada efisiensi daya motor. Menurut Suyanto (1989:257), Proses pembakaran didalam silinder dipengaruhi oleh beberapa faktor: temperatur bahan bakar, kerapatan campuran, komposisi, dan turbulensi yang ada pada campuran. Apabila temperatur bahan bakar dengan udara naik, maka

semakin mudah campuran bahan bakar dengan udara tersebut untuk terbakar, sehingga menghasilkan daya ledak yang tinggi untuk mendorong piston secara maksimal. Dengan temperatur yang cukup campuran bahan bakar dan udara akan terbakar dengan sempurna sehingga dapat meningkatkan efisiensi mesin.

Apabila kondisi ini terus berlangsung tanpa adanya upaya meningkatkan efisiensi daya motor yang menggunakan sistem bahan bakar karburator. Maka akan berdampak pada kurang maksimalnya performa mesin. Ada beberapa hal yang dapat meningkatkan kemampuan mesin dalam menghasilkan tenaga yang maksimal. Salah satunya adalah dengan cara meningkatkan efisiensi kerja motor dan efisiensi pemasukan campuran bahan bakar dan udara, yaitu dengan melakukan pemanasan bahan bakar melalui upper tank radiator dengan pipa tembaga atau menaikkan temperatur bahan bakar. Hal ini dapat membantu memaksimalkan efisiensi pemasukan campuran bahan bakar dan udara serta efisiensi daya motor pada mesin. Dengan menambah suplay bahan bakar yang semula cair setelah dinaikkan temperatur bahan bakarnya akan lebih cepat menguap dan bertekanan, sehingga dapat meningkatkan kemampuan mesin dalam menghasilkan tenaga yang maksimal, yaitu torsi dan daya mesin.

Berdasarkan penjelasan yang telah dipaparkan, untuk mengatasi masalah tersebut agar menghasilkan tenaga yang maksimal dapat dilakukan dengan metode pemanasan atau menaikkan temperatur bahan

bakar. Metode pemanasan adalah mengalirkan bahan bakar pada saluran bahan bakar melewati media pemanas. Proses pemanasan bahan bakar dapat membuat pembakaran lebih sempurna, sehingga dapat meningkatkan torsi dan daya mesin sepeda motor karburator. Maka dengan cara ini bahan bakar dipanaskan pada *upper tank* radiator dengan memanfaatkan panas air pendingin radiator. Dengan membuat saluran bahan bakar yang terbuat dari pipa tembaga melalui *upper tank* radiator, maka sebelum bahan bakar tercampur dengan udara. Diharapkan memperoleh suatu kondisi dimana bahan bakar yang dinaikkan pada temperatur tertentu akan lebih cepat menguap dan betekan, sehingga mempercepat dan memperbanyak pemasukan pencampuran bahan bakar dan udara didalam karburator. Dengan hal ini akan terjadinya peningkatan terhadap performa mesin dalam menghasilkan torsi dan daya sepeda motor empat langkah. Dari paparan di atas, maka dari itu penulis tertarik untuk meneliti “Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Melalui *Upper Tank* Radiator Terhadap Torsi dan Daya Sepeda Motor Empat Langkah”.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, maka dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Temperatur bahan bakar dapat mempengaruhi pembakaran bahan bakar pada sepeda motor yang menggunakan sistem bahan bakar karburator.
2. Performa yang dihasilkan (torsi dan daya) pada sepeda motor yang masih menggunakan karburator kurang maksimal.

C. Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, agar penelitian lebih terarah maka peneliti akan membatasi penelitian ini: pengaruh pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator dengan pipa tembaga terhadap torsi dan daya mesin sepeda motor.

D. Perumusan Masalah

Berdasarkan pembatasan masalah diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini yaitu, apakah ada pengaruh pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator dengan pipa tembaga terhadap torsi dan daya mesin sepeda motor ?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi, maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui torsi dan daya yang dihasilkan sepeda motor kondisi standar dan dengan menggunakan pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator dengan pipa tembaga.
2. Mengetahui pengaruh pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator dengan pipa tembaga terhadap torsi dan daya mesin sepeda motor empat langkah.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi S1 Pendidikan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
2. Memberi informasi pada pengguna kendaraan bermotor mengenai peningkatan daya mesin dengan menggunakan pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator dengan pipa tembaga, terutama untuk pengguna sepeda motor yang masih menggunakan sistem bahan bakar konvensional dengan pendingin air.
3. Sebagai bahan pertimbangan juga bagi pemilik kendaraan bermotor apakah diperlukan untuk pemanasan bahan bakar.
4. Secara teorinya dapat dipakai untuk mengetahui apakah ada pengaruh pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator dengan pipa tembaga terhadap torsi dan daya sepeda motor.
5. Sebagai referensi bagi pembaca.

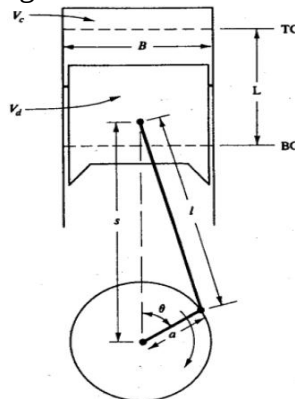
BAB II

KERANGKA TEORI

A. Kajian Teori

1. Torsi

Torsi adalah gaya tekan putar pada bagian yang berputar, sepeda motor digerakan oleh torsi dari crankshaft (Jama, 2008:23), Torsi juga merupakan perkalian antara gaya yang dihasilkan dari tekanan hasil pembakaran pada torak dikalikan dengan jari – jari lingkaran poros engkol. Pada gambar 1. gaya yang dihasilkan dari tekanan pembakaran ditunjukkan sepanjang l dan a merupakan jari – jari lingkaran poros engkol.



Sumber: (Heywood,1988:44)

Gambar 1. Geometri silinder, piston, batang torak dan poros engkol.

Torsi poros maksimum pada kecepatan tertentu mengindikasikan kemampuan untuk memperoleh campuran udara dengan bahan bakar yang tinggi masuk ke dalam mesin, di mana posisi batang torak tegak lurus dengan poros engkol. Torsi dapat diperoleh dari hasil kali antara gaya dengan jarak, sehingga dapat ditulis persamaan sebagai berikut (Heywood,1988:46) :

$$T = F \times b$$

Dimana :

T = Torsi (N.m)

F = gaya penyeimbang yang diberikan (N)

b = jarak lengan torsi (m)

Torsi suatu mesin menurut Suyanto (1989 : 34) yang menyatakan bahwa, Momen merupakan gaya yang digunakan untuk poros engkol. Pulkrabek (2004 : 54) yang menyatakan bahwa, Torsi adalah indikator yang baik dari kemampuan mesin untuk melakukan pekerjaan. Torsi didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada jarak tertentu dan memiliki unit N-m atau lbf-ft. Torsi terkait dengan kerja. Maksum dkk (2012 : 15) menyatakan bahwa, Momen putar (momen puntir) suatu motor adalah kekuatan putar poros engkol yang akhirnya menggerakkan kendaraan.

Sedangkan momen puntir atau torsi menurut Wiratmaja (2010 : 20) yang menyatakan bahwa, Momen puntir atau torsi adalah suatu ukuran kemampuan motor untuk menghasilkan kerja. Di dalam prakteknya torsi motor berguna pada waktu kendaraan akan bergerak (start) atau sewaktu mempercepat laju kendaraan, dan tenaga berguna untuk memperoleh kecepatan tinggi. Besarnya torsi (T) akan sama, berubah-ubah atau berlipat, torsi timbul akibat adanya gaya tangensial pada jarak dari sumbu putaran.

Menurut Kristanto (2015 : 21) menyatakan bahwa, Ketika piston bergerak dari TMA ke TMB selama langkah daya, sebuah gaya

yang diberikan ke batang penghubung (*connecting rod*) yang menghubungkan piston dengan bantalan poros engkol sehingga poros engkol berputar. Gaya putar yang diterapkan untuk poros engkol ini disebut torsi, T . Jadi Torsi menyatakan ukuran kemampuan motor untuk melakukan kerja. Satuan untuk ukuran untuk torsi adalah Newton-meter.

Berdasarkan pernyataan diatas, maka dapat dikatakan bahwa, torsi pada mesin motor bakar ialah besarnya tenaga yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar, sehingga tenaga yang dihasilkan tersebut dapat mendorong torak yang akhirnya memutar poros engkol dan menggerakkan kendaraan. Alat yang digunakan untuk mengukur torsi dan daya yang dihasilkan mesin kendaraan adalah *Dynamometer*.

Torsi dan daya keduanya memiliki fungsi pada kecepatan mesin. Pada kecepatan rendah, torsi meningkat seiring meningkatnya kecepatan mesin. Ketika kecepatan mesin meningkat lebih lanjut, torsi mencapai titik maksimum dan kemudian menurun. Torsi berkurang karena mesin tidak dapat menelan muatan penuh dari udara pada kecepatan yang lebih tinggi. Daya indikator meningkat seiring dengan kecepatan mesin, daya meningkat hingga titik maksimum dan kemudian menurun di kecepatan yang lebih tinggi. Ini karena kerugian gesek meningkat seiring dengan kecepatan dan menjadi faktor yang dominan pada kecepatan yang sangat tinggi. Bagi kebanyakan mesin

mobil, daya maksimum terjadi pada sekitar 6000 hingga 7000 RPM, sekitar satu setengah kali dari kecepatan pada torsi maksimum (Pulkrabek, 2004 : 56).

Berdasarkan penjelasan diatas, maka dapat dikatakan bahwa torsi dan daya meningkat seiring meningkatnya putaran mesin tetapi torsi dan daya mempunyai batas maksimum. Dengan terus meningkatnya putaran mesin maka torsi dan daya mengalami penurunan.

2. Daya

Yang dimaksud dengan daya motor adalah besarnya kerja motor selama waktu tertentu (Arends dan Berenschot, 1980 : 18). Sedangkan menurut Suyanto (1989 : 35) yang menjelaskan bahwa, Daya motor adalah tenaga yang dihasilkan motor dari proses pembakaran.

Menurut Kristanto (2015 : 21) menyatakan bahwa, Daya adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan seberapa besar kerja yang dapat dilakukan dalam suatu periode waktu tertentu. Menurut Wiratmaja (2010 : 20) menyatakan bahwa, Daya didefinisikan sebagai hasil dari kerja, atau dengan kata lain daya merupakan kerja atau energi yang dihasilkan mesin per satuan waktu mesin itu beroperasi. Maksum dkk (2012 : 15) yang menyatakan bahwa, Daya adalah hasil kerja yang dilakukan dalam batas waktu tertentu $[F.c / t]$ Pada motor, daya merupakan perkalian antara momen putar (M_p) dengan putaran mesin (n).

Menurut Hidayat (2012 : 33--34) mengatakan bahwa, beberapa sistem Satuan Internasional (SI) yang digunakan untuk kendaraan atau otomotif yang dikenal “*Society of Automotive Engineers*” (SAE) dari standar Amerika dan “*Deutsches Institut fur Nurmung*” (DIN) dari standar Jerman. Daya dalam sistem SAE diukur dalam satuan HP (*Horse Power*) atau tenaga kuda (DK).

DK = Daya Kuda (Bahasa Indonesia)

HP = *Horse Power* (Bahasa Inggris)

PS = *Pferdestärke* (Bahasa Jerman)

PK = *Paarden Kracht* (Bahasa Belanda)

1 PS = 0,7355 KW = 0,986 HP = 0,986 DK = 0,986 PK

1 HP = 0,7457 KW = 1.0138 PS = 1 DK = 1 PK

Berdasarkan pendapat diatas, maka dapat dikatakan bahwa daya merupakan besarnya kerja yang dapat dilakukan dalam waktu tertentu. Sedangkan satuan ukuran untuk daya adalah *Horse Power* (HP).

Menurut Halderman dan Mitchell (2005 : 57) menjelaskan tentang *Horsepower* bahwa, Daya (kekuatan/tenaga) yang dihasilkan sebuah mesin disebut Horsepower (HP). Satu tenaga kuda sama dengan 1 *horsepower*.

Daya yang dihasilkan oleh mesin bergantung pada jumlah bahan bakar yang mampu terbakar secara merata atau sempurna oleh mesin. Apabila semakin besar kemampuan mesin melakukan proses pembakaran bahan bakar secara sempurna atau merata maka tenaga yang dihasilkan oleh mesin maksimal, dan sebaliknya apabila bahan bakar yang dibakar didalam mesin tidak terbakar sempurna atau

merata maka efisiensi tenaga yang dihasilkan tidak maksimal. Daya yang dihasilkan motor dapat dibedakan menjadi dua, daya indikator dan daya efektif.

a. Daya Indikator

Sebagian daya indikator dibutuhkan untuk mengatasi gesekan mekanik, misalnya gesekan antara torak dan dinding silinder dan gesekan antara poros dan bantalannya. Disamping itu, daya indikator harus pula menggerakkan beberapa aksesoris seperti pompa pelumas, pompa air pendingin, dll (Arismunandar, 2005 : 32). Menurut Hidayat (2012 : 32), Daya indikator merupakan daya motor secara teoritis, belum ada dipengaruhi oleh kerugian gesekan mekanik yang terjadi di dalam mesin. Gupta (2009 : 27) menyatakan bahwa, Dapat diartikan bahwa, daya indikasi/indikator (N_i) adalah daya yang dihasilkan di dalam silinder mesin. Dengan daya inilah, gas mampu menghasilkan suatu usaha (W) untuk menggerakkan/ mendorong piston.

Berdasarkan penjelasan diatas, maka dapat dikatakan bahwa daya indikator ialah daya yang dihasilkan dari proses pembakaran campuran bahan bakar didalam ruang bakar yang akan menekan torak atau piston. Satuan ukuran untuk daya indikator ialah *Horse Power (HP)*.

b. Daya Efektif

Menurut Arismunandar (2005 : 32) yang menyatakan bahwa, Pada motor bakar torak, daya yang berguna ialah daya poros, karena poros itulah yang menggerakkan beban. Daya poros itu sendiri dibangkitkan oleh daya indikator yang merupakan gaya gas pembakaran yang menggerakkan torak. Hidayat (2012 : 32) menyatakan bahwa, Daya usaha atau daya efektif ialah daya yang berguna sebagai penggerak atau daya poros. Irawan dkk (2014 : 2) yang menyatakan juga bahwa, Daya efektif adalah daya yang dihasilkan poros engkol untuk menggerakkan beban.

Berdasarkan penjelasan diatas, maka dapat dikatakan bahwa daya efektif ialah daya yang dihasilkan oleh mesin untuk menggerakkan kendaraan atau beban. Satuan ukuran untuk daya efektif adalah *Horse Power (HP)*, atau *Pfederstarke(PS)*. Dalam penelitian daya yang akan di uji adalah daya poros karena daya poroslah yang menggerakkan beban.

Untuk menghitung besarnya daya pada motor 4 langkah digunakan rumus (Heywood, 1988: 46) :

$$P = 2\pi NT$$

atau

$$P(kW) = 2\pi \times N(\text{rev/s}) \times T(N.m) \times 10^{-3}$$

Dalam satuan hp:

$$P(\text{hp}) = \frac{N \left(\frac{\text{rev}}{\text{m}} \right) \times T(\text{lbf} \cdot \text{ft})}{5252}$$

Dalam satuan PS:

$$Ne(PS) = \frac{\pi \times n}{30} \times T \times \frac{1}{75}$$

$$Ne(PS) = \frac{T(kgf.m) \times n(rev/min)}{716,2}$$

Dimana :

P, Ne = Daya efektif (kW, HP, PS)

N,n = putaran mesin (rpm)

T = torsi (N.m, lbf.ft, kgf.m)

c. Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Daya Mesin

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kemampuan mesin. Menurut Hidayat (2012 : 22--23) mengatakan bahwa, Kemampuan mesin adalah prestasi suatu mesin/motor yang erat hubungannya dengan daya mesin yang dihasilkan. Beberapa hal yang mempengaruhi kemampuan mesin diantaranya, pemasukan campuran udara dan bahan bakar (efisiensi pengisian) dan efisiensi kerja motor atau efisiensi panas.

1. Efisiensi Pengisian/ Pemasukan Campuran Udara dan Bahan Bakar

Menurut Hidayat (2012 : 26) menyatakan bahwa, Efisiensi pemasukan udara dan bahan bakar ialah, perbandingan antara volume campuran bahan bakar dan udara pada tekanan dan temperatur disekelilingnya. Maka dapat diasumsikan bahwa dengan dilakukan pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator maka diharapkan bahan bakar

dapat menguap. Yang dipengaruhi oleh temperatur disekeliling bahan bakar. sehingga nantinya bahan bakar dengan udara bercampur dengan merata atau homogen tanpa adanya butiran - butiran kecil bahan bakar yang tidak bercampur dengan baik. Dengan adanya pemanasan bahan bakar dapat meningkatkan efisiensi pemasukan bahan bakar dan udara. Maka bahan bakar dapat terbakar sempurna atau secara maksimal di dalam ruang bakar mesin, yang akan menghasilkan torsi dan daya yang maksimal.

2. Efisiensi Kerja Motor

Memperbanyak udara /bahan bakar masuk kedalam silinder berarti akan semakin banyak ledakan yang dipakai untuk menghasilkan tenaga. Menurut Hidayat (2012 : 23) Efisiensi kerja motor atau efisiensi panas, yaitu seberapa banyak bahan bakar yang harus dibakar/dipanaskan dalam silinder untuk mendorong piston turun menuju titik mati bawah (TMB) secara efisien. Maksud dkk (2012 : 16) yang menjelaskan bahwa, Efisiensi (panas) adalah angka perbandingan daya mekanis yang dihasilkan oleh motor dengan daya kalor bahan bakar yang telah digunakan.

Pengubahan energi panas yang dihasilkan oleh motor bakar piston menjadi tenaga mekanis menghasilkan tekanan yang digunakan untuk mendorong piston dalam melakukan

pengembangan gas pembakaran/ekspansi. Dalam kenyataan - nya energi panas yang dihasilkan hanya sebagian saja menjadi tenaga mekanis; hal ini disebabkan faktor kerugian, antara lain proses pembakaran tidak sempurna, pembuangan gas sisa pembakaran, dan gesekan mekanik.

3. Pembakaran

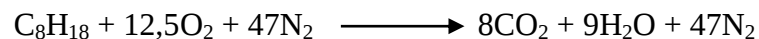
Sebelum pembakaran yang sebenarnya berlangsung, maka terlebih dahulu bahan bakar cair tersebut diuapkan dan diuraikan menjadi gas-gas (Djokosetyardjo, 2006 : 64). Didalam motor bakar terdapat tenaga panas bahan bakar yang diubah menjadi tenaga mekanik, yaitu dalam bentuk torsi dan daya yang dihasilkan oleh pembakaran. Menurut Daryanto (2008 : 1) mengatakan bahwa, Pembakaran adalah proses kimia dimana zat arang dan zat air bergabung dengan zat asam dalam udara, jika pembakaran berlangsung maka diperlukan:

1. bahan bakar dan udara dimasukkan ke dalam motor
2. bahan bakar dipanaskan sehingga suhu nyala

pembakaran menimbulkan panas yang menghasilkan tekanan yang kemudian menghasilkan tenaga mekanik. Menurut Fessenden & Fessenden (1992 : 103), Pembakaran adalah reaksi cepat suatu senyawa dengan oksigen. Sedangkan Secara umum pembakaran didefinisikan sebagai reaksi kimia atau reaksi persenyawaan bahan

bakar dengan oksigen dengan diikuti oleh sinar dan panas, (Toyota Step 2, 1994 : 2-2).

Menurut Suyanto (1989 : 248) menyatakan bahwa, Pembakaran didalam motor adalah hal yang sangat menentukan besarnya tenaga yang dihasilkan motor dengan masuknya sejumlah campuran bahan bakar dan udara kedalam silinder dari motor tersebut. Pembakaran didalam silinder merupakan reaksi kimia antara unsur hidrokarbon dengan oksigen, yang diikuti dengan timbulnya panas. Panas yang dilepaskan selama proses pembakaran inilah yang digunakan oleh motor untuk menghasilkan tenaga. Proses pembakaran disini adalah proses secara fisik yang terjadi didalam silinder selama pembakaran terjadi. Sedangkan secara kimia menurut Pulkrabek (2006:140) pembakaran stoikiometri adalah sebagai berikut,



Reaksi tersebut dapat dilihat bahwa proses pembakaran yang baik atau *Carbon* (C_8) dibakar seluruhnya menjadi 8CO_2 sedangkan Hidrogen (H_{18}) dibakar seluruhnya menjadi $9\text{H}_2\text{O}$. Tahap terjadinya pembakaran bahan bakar dan udara dalam ruang bakar berlangsung sangat singkat dan cepat.

Berdasarkan penjelasan diatas maka dapat dikatakan bahwa, pembakaran ialah suatu proses reaksi kimia antara hidrokarbon bercampur dengan udara/oksigen yang terjadi didalam mesin dan dibantu dengan panas atau percikan bunga api busi sehingga

terjadinya ledakan/tekanan yang pada akhirnya menghasilkan tenaga mekanik dari pembakaran tersebut dalam bentuk torsi dan daya mesin.

Ada beberapa proses pembakaran yang terjadi pada motor bakar yaitu:

a. Pembakaran Sempurna (Normal)

Pembakaran sempurna ialah pengubahan suatu senyawa hidrocarbon menjadi CO_2 dan H_2O (Fessenden & Fessenden, 1992 : 103). Gupta (2009 : 159) menyatakan Pembakaran disebut normal ketika penyebaran nyala api berlanjut ke ujung dari ruang pembakaran tanpa ada perubahan secara mendadak atau secara teratur dalam bentuk dan kecepatannya. Toyota Step 2 (1994 : 2-2) menyatakan, Mekanisme pembakaran normal dalam motor bensin dimulai pada saat terjadinya loncatan api busi. Selanjutnya api membakar bahan bakar yang berada di sekelilingnya dan terus menjalar ke seluruh bagian sampai semua partikel bahan bakar terbakar habis.

Di dalam pembakaran normal, pembagian nyala api pada waktu *ignition delay* (waktu penyalaan) terjadi merata pada seluruh bagian. Mekanisme pembakaran dalam motor ini bersifat kompleks, di mana pembakaran akan berlangsung beberapa fase. Perlu diketahui adanya proses perambatan api dan adanya pembakaran (*combustion*). Ketika partikel bahan bakar di kompresikan, tekanan dan suhunya naik, sehingga terjadi reaksi

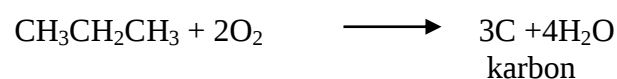
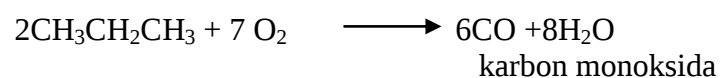
kimia di mana molekul-molekul *hydrocarbon* terurai dan bergabung dengan oksigen dan udara.

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat dikatakan bahwa pembakaran sempurna ialah pembakaran yang terjadi ketika busi memercikkan api saat akhir langkah kompresi sehingga campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar habis seluruhnya dengan merata dengan kecepatan relatif konstan.

b. Pembakaran Tidak Sempurna

Pembakaran tak sempurna menghasilkan karbon monoksida, atau kadang - kadang karbon dalam bentuk arang atau jelaga (Fessenden & Fessenden, 1992 : 103). Suyanto (1989 : 257) mengatakan bahwa, Pembakaran tidak normal adalah pembakaran yang terjadi di dalam silinder dimana nyala api dari pembakaran ini tidak menyebar dengan teratur dan merata sehingga menimbulkan masalah atau bahkan kerusakan pada bagian-bagian dari motor dapat terjadi akibat dari pembakaran tidak sempurna.

Pembakaran tak sempurna secara kimia menurut Fessenden & Fessenden (1992:103),



Pembakaran tidak sempurna merupakan proses pembakaran dimana sebagian bahan bakar tidak ikut terbakar, atau tidak terbakar bersama pada saat keadaan yang dikehendaki. Bila oksigen dan hidrokarbon tidak bercampur dengan baik maka akan terjadi proses pembakaran tidak normal. Pembakaran tidak sempurna antara lain: Detonasi/*knocking*, *pre-ignition*, dan pembakaran tidak lengkap.

1) Detonasi/*knocking*

Penjelasan tentang detonasi menurut Daryanto (2004:15) yang menyatakan bahwa, Keterlambat pembakaran diperpanjang atau pada masa ini terjadi peristiwa pembakaran terlampau cepat maka sejumlah bahan bakar akan segera menyala dan dalam periode kedua akan terjadi penyebaran api secara berlebihan, hal ini akan menghasilkan kenaikan tekanan terlampau cepat dan mengakibatkan getaran serta suara, peristiwa demikian dikenal dengan istilah “Knocking”.

Hal ini akan menimbulkan ledakan (Detonasi) yang menghasilkan gelombang berupa suara ketukan. Akibatnya tenaga mesin akan berkurang dan jika sering terjadi akan memperpendek umur mesin.

Berdasarkan penjelasan diatas maka dapat disimpulkan bahwa, detonasi ialah proses terbakarnya sendiri bagian campuran bahan bakar yang terjauh dari busi sehingga

timbulnya ledakan(detonsasi) yang menghasilkan gelombang kejutan berupa ketukan (knocking). akibat suhu dalam ruang bakar terlalu tinggi atau penyebaran api lambat.

2) *Pre ignition*

Penjelasan tentang *Pre ignition* menurut Toyota Step 2 (1994:2-4) yang menyatakan bahwa,

“Gejala pembakarannya adalah *pre-ignition*, peristiwanya hampir sama dengan knocking tetapi terjadi hanya pada saat busi belum memercikan bunga api. Disini bahan bakar terbakar dengan sendirinya sebagai akibat dari tekanan dan suhu yang cukup tinggi sebelum terjadinya busi menyala. Tekanan dan suhu tadi dapat membakar gas bakar tanpa pemberian api dari busi”.

Jama dkk (2008 : 189) yang menyatakan bahwa,

“Bila suhu elektroda tengah melebihi 800 °C, maka akan terjadi peningkatan kotoran oksida dan terbakarnya elektroda tersebut. Pada suhu 950 °C elektroda busi akan menjadi sumber panas yang akan membakar campuran bahan bakar dan udara tanpa percikan bunga api dari busi, hal ini dikenal dengan *pre ignition* yaitu dimana terbakarnya campuran bahan bakar tidak disebabkan oleh percikan bunga api dari busi”. Jika terjadi *pre ignition*, maka daya mesin akan turun, karena waktu pengapian tidak tepat dan elektroda busi bahkan piston bisa retak”.

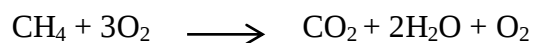
Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwa *pre-ignition* adalah peristiwa pembakaran yang terjadi sebelum sampai pada saat yang di kehendaki, dimana campuran bahan bakar dan udara terbakar dengan sendirinya, akibat dari tekanan dan suhu yang cukup tinggi dalam ruang bakar, sehingga tekanan yang dihasilkan dari proses pembakaran

tidak maksimal yang nantinya mengakibatkan daya mesin akan menurun.

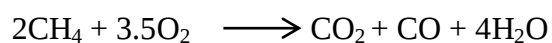
3) Pembakaran Tidak Lengkap

Pembakaran tidak lengkap terjadi diakibatkan oleh terbakarnya campuran bahan bakar dan udara di dalam ruang bakar sebelum busi memercikkan bunga api. Hal ini dikutip dari Toyota Step 2 (1994 : 2-4) yang mengatakan bahwa, Pembakaran yang normal pada motor bensin adalah dimulai pada saat terjadinya loncatan bunga api pada busi dan membakar semua campuran bahan bakar dan udara di dalam ruang bakar.

Pembakaran yang tidak lengkap yaitu pembakaran yang ada kelebihan atau kekurangan *oxygen* atau *hydrogen* (Toyota step 2 , 1994:2-4). Contoh reaksi kelebihan oksigen:



Toyota step 2 (1994 : 2–4) menyatakan contoh reaksi kekurangan oxygen:



Berdasarkan penjelasan diatas maka dapat dikatakan bahwa, pembakaran tidak lengkap merupakan pembakaran dimana campuran bahan bakar kelebihan atau kekurangan oksigen atau hydrogen. Jika hal tersebut terjadi maka akan

berakibat pada turunya tenaga yang dihasilkan oleh mesin, yakni torsi dan daya mesin.

c. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pembakaran

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses pembakaran di dalam silinder. Faktor-faktor tersebut ialah: temperatur, kerapatan campuran, komposisi dan turbulensi yang ada pada campuran (Suyanto, 1989 : 257). Sedangkan menurut Gupta (2009 : 167), Faktor-faktor yang mempengaruhi pembakaran mesin yaitu; komposisi campuran, beban, perbandingan kompresi, kecepatan, turbulensi dan bentuk ruang bakar, dan letak busi.

Berdasarkan pendapat diatas maka dapat dikatakan bahwa, faktor - faktor yang mempengaruhi proses pembakaran ialah temperatur bahan bakar, kerapatan serta komposisi campuran bahan bakar, perbandingan kompresi, beban, posisi busi dan turbulensi maupun bentuk ruang bakar.

4. Bahan Bakar

Bahan bakar minyak yang ada sekarang dibuat dari minyak mentah, cairan berwarna hitam yang dipompa dari perut bumi dan biasa disebut dengan petroleum. Cairan ini mengandung hidrokarbon. Atom-atom karbon dalam minyak mentah ini berhubungan satu dengan yang lainnya dengan cara membentuk rantai yang panjangnya yang berbeda-beda. Molekul hidrokarbon dengan panjang yang berbeda akan memiliki sifat dan kelakuan yang berbeda pula. CH_4

(metana) merupakan molekul paling “ringan”; bertambahnya atom C dalam rantai tersebut akan membuatnya semakin “berat”. Empat molekul pertama hidrokarbon adalah metana, etana, propana dan butana. Dalam temperatur dan tekanan kamar, keempatnya berwujud gas, dengan titik didih masing-masing -107°C , -67°C , -43°C dan -18°C . Berikutnya, dari C_5 sampai dengan C_{18} berwujud cair, dan mulai dari C_{19} ke atas berwujud padat. Dengan bertambah panjangnya rantai hidrokarbon akan menaikkan titik didihnya, sehingga kita bisa memisahkan hidrokarbon ini dengan cara destilasi. Prinsip inilah yang diterapkan di pengilangan minyak untuk memisahkan berbagai fraksi hidrokarbon dari minyak mentah.

Tahap awal proses pengilangan berupa proses destilasi (penyulingan) yang berlangsung di dalam Kolom Distilasi Atmosferik dan Kolom Distilasi Vacuum. Di kedua unit proses ini minyak mentah disuling menjadi fraksi-fraksinya, yaitu gas, distilat ringan (seperti minyak bensin), distilat menengah (seperti minyak tanah, minyak solar), minyak bakar (gas oil), dan residu. Pemisahan fraksi tersebut didasarkan pada titik didihnya. Kolom distilasi berupa bejana tekan silindris yang tinggi (sekitar 40 m) dan di dalamnya terdapat tray-tray yang berfungsi memisahkan dan mengumpulkan fluida panas yang menguap ke atas. Fraksi hidrokarbon berat mengumpul di bagian bawah kolom, sementara fraksi-fraksi yang lebih ringan akan mengumpul di bagian-bagian kolom yang lebih atas. Fraksi-fraksi

hidrokarbon yang diperoleh dari kolom distilasi ini akan diproses lebih lanjut di unit-unit proses yang lain, seperti: *Fluid Catalytic Cracker*, dll (Hariyono, 2007 : 7--8).

Tabel 1. Fraksi Distilasi

Jangka Titik Didih (°C)	Banyaknya Atom karbon	Nama	Penggunaan
Di bawah 30	1-4	Fraksi gas	Bahan bakar pemanas
30 – 180	5 – 10	Bensin	Bahan bakar mobil
180 -230	11 – 12	Minyak tanah	Bahan bakar Jet
230 -305	13 – 17	Minyak gas	Bahan bakar diesel, pemanas.
305 – 405	18 – 25	Minyak gas berat	Bahan bakar pemanas
Sisa : (1) Minyak bisa menguap: minyak minyak pelumas, lilin parafin, vaselin. (2) Bahan tak bisa menguap: aspal dan arang minyak bumi.			

Sumber: (Fessenden & Fessenden,1992:104)

a. Bahan Bakar Pertamax

Pertamax merupakan jenis bahan bakar dengan angka oktan 92. Pertamax dianjurkan digunakan untuk kendaraan bahan bakar bensin yang mempunyai perbandingan kompresi tinggi (9,1:1 sampai 10,0:1). Bensin dengan bilangan oktan tinggi mempunyai periode penundaan yang panjang (Arismunandar, 1988:85). Pada bahan bakar pertamax ditambahkan aditif sehingga mampu membersihkan kotoran atau kerak yang ada dalam ruang bakar. Bahan bakar pertamax tidak menggunakan campuran timbal sehingga dapat mengurangi racun emisi gas buang. Pada tabel berikut ini dapat dilihat spesifikasi bensin pertamax RON 92.

Tabel 2. Spesifikasi Bensin Pertamina RON 92

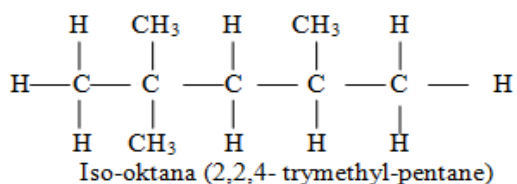
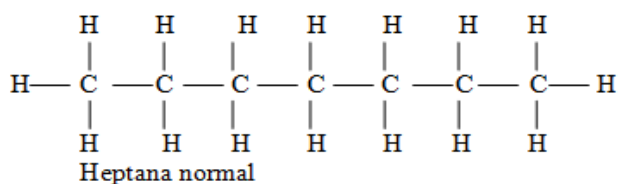
No	KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN		METODE UJI	
			MIN	MAKS	ASTM	LAIN
1.	Bilangan Oktana Riset	RON	92,0	-	D 2699	
2.	Stabilitas Oksidasi	Menit	480	-	D525	
3.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,05 ¹⁾	D 2622 / D 4294	
4.	Kandungan Timbal (Pb)	gr/liter	-	0,013 ²⁾	D 3237	
5.	Kandungan Fosfor	mg/ l	-	-	D 3231	
6.	Kandungan Logam (Mn, Fe, dll)	mg/l	-	-	D 3831	
7.	Kandungan Silikon	mg/kg	-	-	IICP-AES (Merujuk metode in house dengan batasan deteksi = 1 mg/kg)	
8.	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,7 ³⁾	D8848 4815	
9.	Kandungan Olefin	%	-	4)	D 1319	
10.	Kandungan Aromatik	%	-	50,0	D 1319	
11.	Kandungan Benzena	%	-	5,0	D 4420	
12.	Distilasi:				D 86	
	10% vol. penguapan	°C	-	70		
	50% vol. Penguapan	°C	77	110		
	90% vol. penguapan	°C	130	180		
	Titik didih akhir	°C	-	215		
	Residu	% v/v	-	2,0		
13.	Sedimen	m	-	1	D 5452	
14.	Unwashed Gum	mg/100	-	70	D 381	
15.	Washed Gum	mg/100	-	5	D 381	
16.	Tekanan Uap	kPa	45	60	D 5191 / D 323	
17.	Berat Jenis (pada suhu 15 °C)	kg/m ³	715	770	D 4052 / D 1298	
18.	Korosi Bilah tembaga	Merit	Kelas 1		D 130	
19.	Uji Doctor		Negatif			IP 30
20.	Belarang Mercantan	% massa	-	0,002	D 3227	
21.	Penampilan Visual		Jernih dan terang			
22.	Warna		Biru			
23.	Kandungan Pewarna	gr/100	-	0,13		

Sumber: (www.Pertamina.com)**b. Angka Oktan**

Angka oktan pada bensin adalah suatu bilangan yang menunjukkan kemampuan bertahan terhadap detonasi atau *knocking* . makin besar angka oktan bensin tersebut maka makin besar pula kemampuan bertahan bensin terhadap detonasi/*knocking*. Angka oktan tergantung pada struktur senyawa hidrokarbon yang

terdapat pada bensin tersebut. Sedangkan anti *knocking* suatu bahan bakar /bensin diukur oleh mesin CFR (*Cooperative Fuel Research*) dengan mencari persentase volume iso-oktana dalam campuran tersebut (dengan coba coba) sehingga dapat diperoleh intensitas detonasi yang sama seperti semula. Intensitas detonasi diukur dengan *Knock meter*.

Untuk motor bensin ditetapkan heptana normal dan iso-oktana sebagai bahan bakar pembanding. Heptana normal adalah bahan bakar hidrokarbon (rantai lurus) yang mudah berdetonasi didalam motor bensin dinyatakan sebagai bahan bakar dengan bilangan oktana sama dengan 0. Iso-oktana (rantai bercabang) adalah bahan bakar hidrokarbon yang tidak mudah berdetonasi dinyatakan sebagai bahan bakar dengan bilangan oktana sama dengan 100. Rumus molekul bensin menurut Arismunandar (1988:86) :



Maka bilangan oktana dari suatu bahan bakar adalah bilangan yang menyatakan berapa persen volume iso-oktana dalam campuran yang terdiri dari iso-oktana dan n-heptana yang mempunyai kecenderungan berdetonasi sama dengan bahan bakar tersebut. Jadi bilangan oktana dari suatu bahan bakar adalah 87 apabila bahan bakar tersebut mempunyai kecenderungan berdetonasi sama (dalam mesin CFR pada kondisi standar) jika perbandingan dengan suatu campuran yang terdiri dari 87 % volume isooktana dan 13 % volume heptana normal.

Berdasarkan penjelasan diatas maka dapat disimpulkan bahwa, apabila bahan bakar bensin pertamax yang mempunyai bilangan oktan/ RON 92 yang berarti campuran bahan bakar tersebut terdiri dari 92 % volume isooktana dan 8% volume heptana normal dan semakin tinggi nilai oktan nya maka semakin besar ketahanan bahan bakar untuk berdetonasi sendiri atau menghasilkan gelombang ketukan (*knocking*).

5. Campuran Bahan Bakar Dan Udara

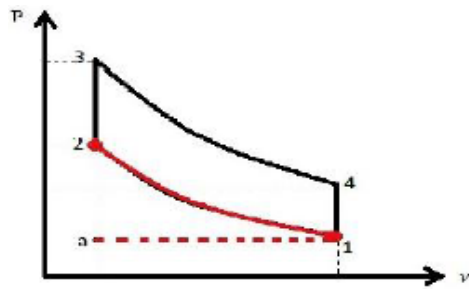
Bahan bakar yang dikirim kedalam silinder mesin harus ada dalam kondisi mudah terbakar agar dapat menghasilkan efisiensi tenaga yang maksimum. Bensin agak sulit terbakar apabila tidak diubah menjadi gas. Bensin tidak dapat terbakar dengan sendirinya maka oleh sebab itu , bensin harus dicampur dengan udara dalam perbandingan yang tepat. Untuk mendapatkan campuran udara dan

bahan bakar yang baik, uap bensin harus dicampur dengan sejumlah udara yang tepat (Soedarmo, 2008 : 28). Menurut Soenarta dan Furuhamu (1995: 21), Sekalipun perbandingan campuran sudah bagus, bila sebahagian bahan bakar tidak dapat menguap, maka akan mengakibatkan campuran menjadi kurus, sehingga tidak dapat terbakar dengan baik. Bahan bakar bensin akan dapat menguap 100% kira – kira pada suhu diatas 100 °C (Haryono, 1989:74).

6. Pemanasan Bahan Bakar

Menurut Putu Tenaya (2013 : 106) tentang dasar teori pemanasan bahan bakar yang menyatakan bahwa,

“Pemanasan bahan bakar adalah proses menaikkan temperatur bahan bakar dari temperatur normalnya. Apabila bahan bakar dengan temperatur awal T_0 °C dalam keadaan diam, maka pada saat dipanaskan dengan temperatur akhir T_n °C akan mengakibatkan perubahan pergerakan fluida atau bahan bakar, karena adanya pergerakan akibat pemanasan tersebut maka kemampuan molekul bahan bakar melepaskan diri dari lingkungannya menjadi lebih cepat sehingga mempermudah proses pengabutan bahan bakar pada ruang bakar yang berkorelasi dengan performa mesin. Dalam pemanasan bahan bakar harus sesuai dengan temperatur kerja yang dimiliki bahan bakar. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemanasan bahan bakar yaitu *flash point* dan *fire point* bahan bakar agar tidak terjadinya peristiwa terbakarnya bahan bakar dengan sendirinya akibat pemanasan mencapai temperatur *fire point*-nya (*auto ignition*). Selain memperhatikan temperatur bahan bakar, temperatur kerja mesin pada saat terjadi pembakaran (*ignition*) juga perlu mendapat perhatian agar tidak terjadi *detonasi* pada ruang bakar”.



Gambar 2. Diagram P-V baku Otto

Diketahui: $T_2 = 1727^\circ\text{C}$

$r = 10,7$ (perbandingan kompresi pada tabel spesifikasi mesin)

Ditanya : T_a (temperatur masuk bahan bakar menuju ruang bakar) ?

Jawab :

$$T_1 = \frac{1}{r^{(k-1)}} \times T_2$$

$$T_1 = \frac{1}{10,7^{(1,4-1)}} \times 1727^\circ\text{C}$$

$$= 673,53^\circ\text{C}$$

Sehingga, $T_a = \frac{T_1}{r}$

$$T_a = \frac{673,53^\circ\text{C}}{10,7}$$

$$T_a = 62,95^\circ\text{C}$$

Dari perhitungan diatas, maka diketahui temperatur pemanasan bahan bakar harus di bawah $62,95^\circ\text{C}$ (Tenaya, 2013 : 106).

Menurut Hariyono (2007:65-66) menjelaskan bahwa,

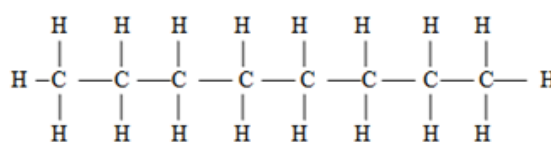
“Dengan adanya pemanasan awal bahan bakar maka bahan bakar yang masuk sebelum ke ruang bakar temperaturnya naik, temperatur yang naik akan merenggangkan ikatan molekul-molekul bahan bakar dimana bahan bakar mudah menguap dan

mengikat oksigen sehingga memperkaya pemasukan campuran bahan bakar dengan udara”.

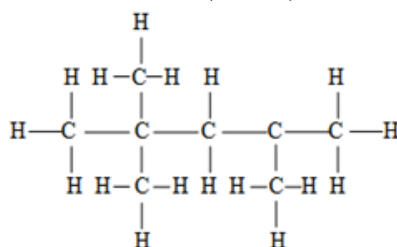
Menurut Nasikin (Wijaya 2016:26) menyatakan bahwa:

“Proses pemanasan bahan bakar bensin membuat rantai lurus oktana (pembuat nilai oktan dalam bensin) dengan rumus kimia C_8H_{18} jadi bercabang makin banyak, nilai oktan juga meninggi. Misalnya rantai oktan lurus bernilai 50, maka rantai cabangnya (iso-oktana) dapat mencapai 100 oktan. Panas tinggi dan katalis merupakan dua faktor yang tak dapat dipisahkan. Rantai hanya dapat lepas dengan adanya katalis. Energi pemutus rantai perlu suhu $200^{\circ}C$, sedangkan suhu radiator berkisar $80-90^{\circ}C$ ”.

Struktur molekul bahan bakar bensin:



Octane(C_8H_{18})



Isooctane (2,2,4- trimethylpentane)

Sumber : Gupta (2009:231)

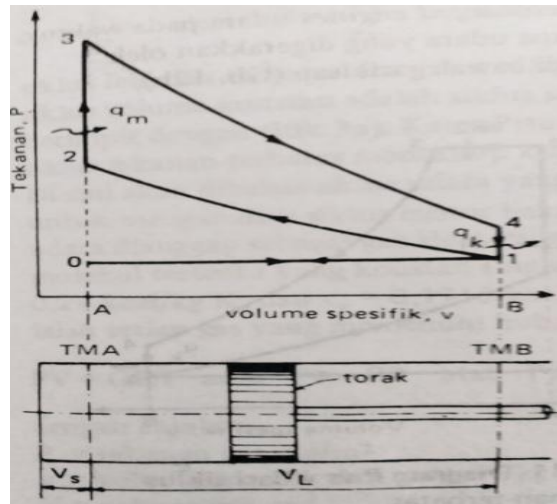
Menurut Suyanto (1989 : 129) menyatakan bahwa,

“salah satu karakteristik bahan bakar yang harus dimiliki bahan bakar adalah penguapan. Penguapan di sini yang dimaksud adalah kemampuan bahan bakar untuk berubah dari bentuk cair menjadi gas. Karena bahan bakar yang masuk ke dalam silinder harus berbentuk gas yang bercampur dengan udara maka sifat mudah menguap dari bensin atau premium ini sangat diperlukan. Tingkat kemudahan menguap yang dimiliki bahan bakar untuk motor bensin harus tepat sesuai dengan kebutuhan motor tersebut, yaitu motor mudah distarter, tidak menimbulkan vapoor lock, cepat memanaskan motor, percepatan yang halus, irit penggunaan bahan bakar, dan bebas dari pengotoran ruang engkol”.

Berdasarkan penjelasan diatas maka dapat diambil kesimpulan bahwa, Pemanasan bahan bakar adalah menaikkan temperatur bahan bakar dari temperatur awalnya dalam keadaan diam, maka bahan bakar setelah dipanaskan dengan temperatur akhir tertentu, maka akan terjadinya perubahan pergerakan bahan bakar akibat dari pemanasan, sehingga molekul bahan bakar lebih cepat menguap dan mengalami kenaikan tekanan yang akan memperbanyak pemasukan campuran bahan bakar dan udara dalam karburator. Pemanasan bahan bakar tidak boleh melebihi temperatur kerja bahan bakar agar bahan bakar tidak terbakar sendiri.

Pemanasan bahan bakar sebagai upaya memperbaiki sistem pengabutan masih awam bagi sebagian besar masyarakat. Pemanasan lewat air radiator (sistem pendingin mesin) hanya membantu proses pengabutan di spuyer nosel atau karburator pada mesin bensin. Karena bensin semula berbentuk cair dengan dipanaskan akan berubah menjadi gas dan memiliki tekanan, sehingga bahan bakar lebih mudah terbakar. Jika pembakaran sempurna secara otomatis pembakaran bahan bakar akan lebih hemat dan tenaga bertambah meningkat, karena tidak ada kerak carbon akibat sisa pembakaran.

7. Siklus Otto



Sumber : Arismunandar (2005:15)

Gambar 3. Diagram P vs V dari siklus volume konstan

Perhatikan suatu silinder berpiston yang berisi udara didalamnya. Pada mulanya piston berada pada kedudukan titik mati bawah (TMB) yang ditunjukkan dengan titik 1 pada diagram. Piston mengompresikan udara secara adiabatik dari keadaan 1 sampai mencapai titik mati atas (TMA), keadaan 2. kemudian panas dimasukkan kedalam udara dengan spontan pada volume konstan hingga mencapai keadaan pada titik 3. Kemudian piston kembali ke titik mati bawah, melakukan ekspansi secara adiabatik sehingga dicapai keadaan pada titik 4. Sekarang kedudukan piston pada titik mati bawah, dan panas dikeluarkan pada volume konstan sampai keadaan mula-mula dicapai lagi.

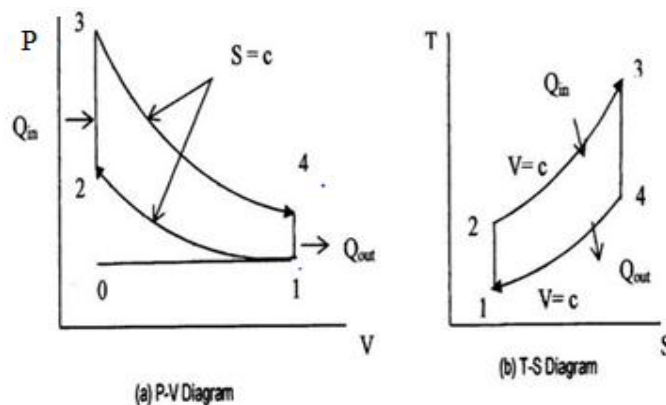
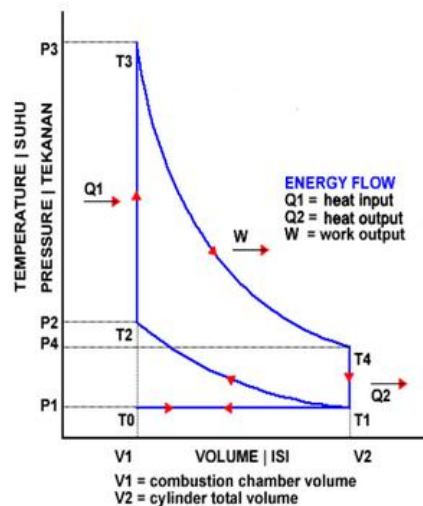
Sampai disini, secara teoritis sistem telah menjalani satu siklus dengan lengkap, sehingga sistem dapat melanjutkan dengan siklus berikutnya. Namun pada kenyataannya, gas - gas itu terdiri dari hasil pembakaran hidrokarbon, sehingga diperlukan langkah pembuangan, untuk

membersihkan silinder dari hasil-hasil pembakaran dengan membuka katup buang dan piston bergerak dari TMB ke TMA. Langkah pembuangan ini terjadi pada tekanan konstan antara keadaan 1 dan keadaan a. Pada TMA, katup buang ditutup dan katup masuk terbuka. Piston sekarang bergerak kembali dari TMA ke TMB pada tekanan konstan dan pada langkah ini udara diisi kembali kedalam silinder pada tekanan konstan untuk dikompresikan kembali pada siklus berikutnya. Pada siklus baku udara, pengisian kembali silinder tidak diperlukan karena fluida yang sama akan menjalani siklus berikutnya secara terus menerus. Perlu dicatat bahwa seperti yang ditunjukkan pada diagram P-V, tidak ada kerja bersih yang dilakukan pada gabungan langkah buang dan langkah hisap (pengisian). Jadi Kedua langkah ini dalam siklus ideal tidak mempengaruhi kerja bersih yang dilakukan oleh sistem 1-2-3-4-1 yang penting dalam analisa termodinamis. Siklus baku udara otto terdiri dari proses - proses reversibel sebagai berikut:

1. Proses 1-2, kompresi secara adiabatik ($Q = 0$)
2. Proses 2-3, pemasukkan panas secara isochoris ($V = \text{konstan}$)
3. Proses 3-4, ekspansi secara adiabatik ($Q = 0$)
4. Proses 4-1, pengeluaran panas secara isochoris ($V = \text{konstan}$)

Disamping itu boleh mempertimbangkan langkah buang 1- a dan langkah hisap a-1, untuk melengkapi meskipun ini tidak perlu (Ginting, 1989:211-212).

Siklus mesin 4 langkah dapat dijabarkan dalam siklus Otto udara standar yang terdiri dari 6 fase yaitu: pemasukan, pemampatan, pemanasan, pendayaan, pendinginan dan pembuangan. Enam fase siklus ini dapat digambarkan dalam diagram *PVT* (*Pressure, Volume, Temperature*) sebagai berikut:



Gambar 4. P-V dan T- S Diagram
Sumber : (Satiadiwiria, 1986)

1. Fase Pemasukkan (Campuran Bahan Bakar dan Udara)

Garis $T_0 - T_1$ adalah garis fase proses tekanan tetap dan suhu tetap yang menggambarkan langkah pemasukkan gas campuran udara dan bahan bakar pada tekanan dan suhu tetap dari karburator ke silinder

mesin, ketika katup masuk membuka dan piston turun 180 derajat, ruang silinder membesar. Dalam proses ini, tekanan gas P dan suhu gas T tetap dan setara tekanan dan suhu standar normal udara luar, karena katup masuk terbuka. Volume silinder V membesar dari V_1 ke V_2 , sehingga bobot molekul gas campuran bahan bakar dan udara dalam silinder bertambah.

$$P_0 = P_1 \quad \dots \text{ (Pulkrabek, 2004:74)}$$

2. Fase Pemampatan (Kompresi Gas)

Garis T_1 - T_2 adalah garis fase proses yang menggambarkan langkah pemampatan gas campuran udara dan bahan bakar dalam silinder, ketika katup masuk tertutup dan katup buang tertutup dan piston naik 180 derajat, ruang silinder mengecil. Dalam proses ini volume silinder dan volume gas V mengecil dari V_1 ke V_2 , bobot molekul gas campuran bahan bakar dan udara tetap. Tekanan gas P meningkat dari P_1 ke P_2 dan suhu gas T meningkat dari T_1 ke T_2 .

$$P \cdot V = m \cdot RT$$

3. Fase Pemanasan dan Pembakaran Gas

Garis $T_2 - T_3$ adalah proses pada volume tetap yang menggambarkan proses pemanasan dan penyalaan dan pembakaran gas campuran bahan bakar dan udara oleh percikan api busi, ketika kedua katup tertutup. Dalam proses ini volume gas tetap pada V_1 , tetapi karena pemanasan, tekanan gas meningkat naik dari P_2 ke P_3 , sehingga suhu meningkat naik dari T_2 ke T_3 dan terjadi peledakan gas

campuran bahan bakar dan udara oleh percikan api busi.

$$Q_{2-3} = Q_{in} = m_f Q_{HV} n_c = m.c_v(T_3 - T_2) \quad \dots \text{ (Pulkrabek, 2004:75)}$$

4. Fase Pendayaan (Usaha)

Garis $T_3 - T_4$ adalah garis proses yang menggambarkan langkah pendayaan karena pembakaran gas campuran udara dan bahan bakar dalam silinder ketika kedua katup tertutup sehingga silinder turun 180 derajat, ruang silinder membesar. Dalam proses ini volume silinder V membesar dari V_1 ke V_2 , bobot gas campuran tetap, tekanan gas P merosot turun dari P_3 ke P_4 dan suhu gas T merosot turun dari T_3 ke T_4 .

5. Fase Pendinginan Gas Sisa Pembakaran.

Garis $T_4 - T_1$ adalah proses volume konstan yang menggambarkan proses pendinginan dan pengeluaran tenaga panas hasil pembakaran, ketika katup buang terbuka. dalam proses ini, volume gas tetap pada V_2 , bobot gas campuran tetap tekanan gas turun dari P_4 ke P_1 sehingga suhu gas merosot turun dari T_4 ke T_1 .

$$Q_{4-1} = Q_{out} = m.c_v(T_1 - T_4) \quad \dots \text{ (Pulkrabek, 2004:76)}$$

6. Fase Pembuangan (Pengeluaran Gas Sisa Pembakaran).

Garis $T_1 - T_0$ adalah fase proses tekanan tetap yang menggambarkan langkah pembuangan sisa pembakaran, piston naik, ruang silinder mengecil, dimana tekanan gas P dan suhu gas T tetap setara tekanan atmosfer (udara luar) karena katup buang terbuka. Volume silinder V mengecil dari V_2 ke V_1 , sehingga bobot gas sisa

pembakaran berkurang.

Analisa Termodinamika Diagram P-V Berdasarkan Proses 1 – 2

Proses 1 – 2 : Langkah kompresi isentropik, semua katup tertutup. Piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA). Temperatur pada titik 2.

Campuran bahan bakar dan udara yang dimampatkan oleh piston yang bergerak ke titik mati atas (TMA) juga mengakibatkan temperatur dalam silinder naik menjadi T_2 .

$$T.V^{k-1} = C$$

$$T_1.V_1^{k-1} = T_2.V_2^{K-1}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{K-1} \quad \text{Dimana, } \frac{V_1}{V_2} = r \rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{r}$$

$$\text{Maka, } \frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{r^{k-1}}$$

$$T_2 = T_1.r^{k-1}$$

$$T_2 = 49^\circ\text{C} . 10,7^{1,4-1}$$

$$T_2 = 49^\circ\text{C} . 2,580$$

$$T_2 = 126,42^\circ\text{C}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka, temperatur pemanasan bahan bakar T_2 adalah $126,42^\circ\text{C}$ tidak melewati temperatur nyala (*flash point*) bahan bakar itu sendiri. Temperatur nyala dengan sendirinya tanpa ada pengaruh api dari luar bensin adalah $\pm 380^\circ\text{C}$ (Toyota Step 2, 1994:2-5). Temperatur pemanasan bahan bakar T_2

tidak boleh melewati temperatur nyala (*flash point*) dari bahan bakar itu sendiri atau $T_2 < T_{SIT}$. Agar tidak terjadinya *pre-ignition* (campuran bahan bakar terbakar dengan sendirinya). Sehingga tidak mengurangi daya ledak dari campuran bahan bakar dengan udara maka sebaliknya akan menambah daya ledak dari bahan bakar itu sendiri.

Proses 2 – 3: Penambahan kalor pada volume konstan

Mencari T_3 kita lihat proses 2-3 (isokhoris) dengan menggunakan rumus kalor masuk (Q_{in}/Q_m) :

$$Q_{in} = m \cdot c_v (T_3 - T_2)$$

$$Q_{in} = m \cdot c_v T_3 - m \cdot c_v T_2$$

$$Q_{in} + m \cdot c_v T_2 = m \cdot c_v T_3$$

$$T_3 = \frac{Q_{in} + m \cdot c_v T_2}{m \cdot c_v}$$

Proses 3-4: Langkah Ekspansi Isentropik

Temperatur pada titik 4: Setelah piston mencapai titik mati bawah (TMB) sejumlah kalor dikeluarkan dari dalam silinder sehingga temperatur fluida kerja akan turun menjadi T_4 .

$$T \cdot V^{k-1} = C$$

$$T_3 \cdot V_3^{k-1} = T_4 \cdot V_4^{k-1}$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{k-1} \rightarrow V_3 = V_2 \quad \text{Dan} \quad V_4 = V_1, \text{ karena } \frac{V_1}{V_2} = r, \text{ maka } \frac{V_3}{V_4} = \frac{1}{r}$$

$$\text{Jadi, } T_4 = T_3 \cdot r^{k-1}$$

Efisiensi Termal

Efisiensi termal suatu mesin didefinisikan sebagai perbandingan antara energi keluaran dengan energi kimia yang masuk yang dikandung bahan bakar dalam bentuk bahan bakar yang dihisap kedalam ruang bakar. Efisiensi termal sesuai definisinya merupakan parameter untuk mengukur efisiensi bahan bakar.

$$n_{th} = 1 - \left(\frac{T_1}{T_2} \right) \quad \dots(\text{ibid},76)$$

Menurut Hidayat (2012:28), efisiensi panas adalah perbandingan antara jumlah panas yang dihasilkan Q_1 dan energi panas yang hilang Q_2 maka energi panas yang diubah menjadi tenaga mekanis sebesar $Q_1 - Q_2 = Q_3$. Jadi besarnya efisiensi panas atau *Thermal Efficiency* (n_{th}) adalah :

$$\begin{aligned} TE &= W / Q \\ &= (Q_1 - Q_2) / Q_1 \\ &= 1 - Q_2 / Q_1 \\ &= 1 - (T_4 - T_1) / (T_3 - T_2) \\ &= 1 - 1 / CR \quad \dots (\text{Hidayat}, 2012:20) \end{aligned}$$

8. Heat Exchanger

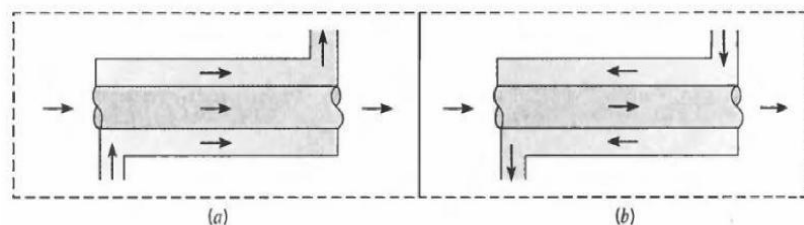
Proses pertukaran panas sistem pendingin terjadi antara dua fluida yang berada pada perbedaan temperatur dan dipisahkan oleh dinding yang terbuat dari bahan yang mempunyai konduktivitas thermal yang tinggi dan membuangnya ke lingkungan. Alat yang digunakan dalam aplikasi pertukaran panas disebut alat penukar panas (*heat exchanger*) yang dalam aplikasinya dapat ditemukan pada radiator dan lain-lain. Alat penukar panas (*heat exchanger*) merupakan suatu alat yang menghasilkan perpindahan panas dari suatu fluida

yang temperaturnya lebih tinggi ke fluida yang temperaturnya lebih rendah. Proses perpindahan panas tersebut dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung. Pada pemanasan bahan bakar perpindahan panas terjadi secara tak langsung. Penukar panas kontak tak langsung pada alat ini fluida panas tidak berhubungan langsung (*indirect contact*) dengan fluida dingin (bahan bakar). Jadi proses perpindahan panasnya itu mempunyai media perantara, seperti pipa, plat, atau peralatan jenis lainnya. Untuk meningkatkan efektivitas pertukaran energi, biasanya bahan permukaan pemisah dipilih dari bahan-bahan yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi seperti tembaga dan aluminium. Contoh dari penukar kalor seperti ini sering di jumpai antara lain radiator, evaporator AC, *ekonomiser air preheater* dan lain-lain. Adapun tujuan perpindahan panas antara lain:

- a. Memanaskan atau mendinginkan fluida hingga mencapai temperature tertentu yang dapat memenuhi persyaratan untuk proses selanjutnya, seperti pemanasan: menaikkan suhu, merubah fase (Menguapkan, melarutkan, melelehkan), mempertahankan suhu proses (memberi panas proses yang membutuhkan-endhoterm).
- b. Mengubah keadaan (fase) fluida : destilasi, evaporasi, kondensasi dan lain-lain.

Alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) secara tipikal diklasifikasikan berdasarkan susunan aliran (*flow arrangement*) dan tipe konstruksi. Penukar kalor yang paling sederhana adalah satu

penukar kalor yang mana fluida panas dan dingin bergerak atau mengalir pada arah yang sama atau berlawanan dalam sebuah pipa berbentuk bundar (atau pipa rangkap dua). Pada susunan aliran sejajar (*parallel-flow arrangement*) yang ditunjukkan gambar 5 (a) fluida panas dan dingin masuk pada ujung yang sama, mengalir dalam arah yang sama dan keluar pada ujung yang sama. Pada susunan aliran berlawanan (*counter flow arrangement*) yang ditunjukkan gambar 5 (b) kedua fluida tersebut pada ujung yang berlawanan, mengalir dalam arah yang berlawanan, dan keluar pada ujung yang berlawanan (Incropera, 2007).



Gambar 5. Klasifikasi Arah aliran fluida

9. Proses Perpindahan Panas

Perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan suhu pada daerah tersebut.

Macam-macam proses perpindahan kalor, yaitu :

1. Perpindahan kalor secara konduksi.

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu rendah dalam suatu

medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Secara umum laju aliran kalor secara konduksi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad \dots \text{ (Holman J.P,1994:2)}$$

Keterangan:

q = laju aliran kalor (W)

k = konduktifitas termal bahan ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

A = luas penampang (m^2)

dT/dx = gradient suhu terhadap penampang tersebut, yaitu

laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah

aliran panas x.

2. Perpindahan kalor secara konveksi

Perpindahan kalor secara konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat an cair atau gas. Perpindahan kalor secara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya di atas suhu fluida disekitarnya berlangsung dalam beberapa tahap. Pertama, kalor akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel- partikel fluida yang berbatasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel fluida

tersebut. Kedua, partikel-partikel tersebut akan bergerak ke daerah suhu yang lebih rendah dimana partikel tersebut akan bercampur dengan partikel-partikel fluida lainnya.

Perpindahan kalor secara konveksi dapat dikelompokkan menurut gerakan alirannya, yaitu konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Apabila gerakan fluida tersebut terjadi sebagai akibat dari perbedaan densitas (kerapatan) yang disebabkan oleh gradient suhu maka disebut konveksi bebas atau konveksi alamiah (*natural convection*). Bila gerakan fluida tersebut disebabkan oleh penggunaan alat dari luar, seperti pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa.

Laju perpindahan kalor antara suatu permukaan plat dan suatu fluida dapat dihitung dengan hubungan :

$$q_c = h_c A \Delta T \quad \dots \text{ (Holman J.P,1994:11)}$$

dimana, q_c = Laju perpindahan kalor secara konveksi (W)

$$h_c = \text{Koefisien perpindahan kalor konveksi} \\ (\text{W/m}^2.\text{K})$$

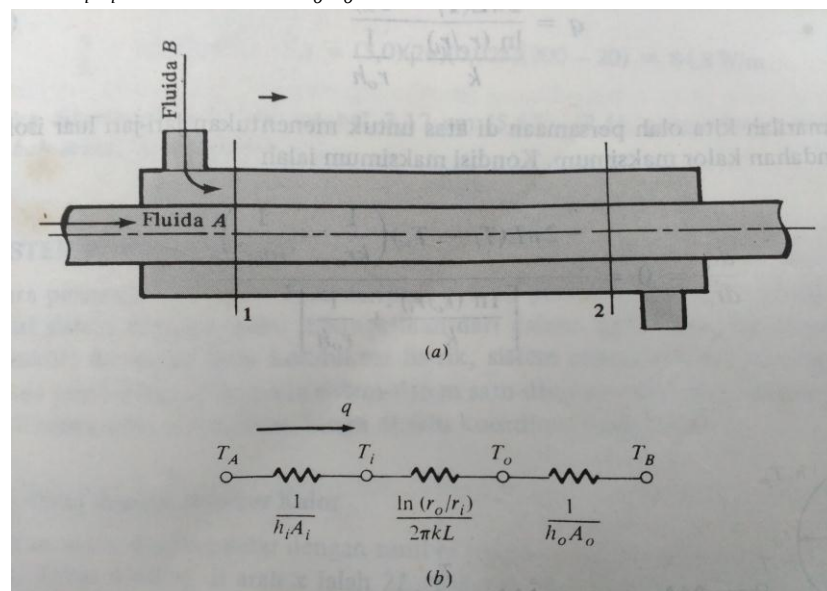
$$A = \text{Luas perpindahan kalor (m}^2\text{)}$$

$$\Delta T = \text{Beda antara suhu permukaan } T_w \text{ dan suhu fluida } T_\infty$$

Untuk silinder bolong yang terkena lingkungan konveksi di permukaan bagian dalam dan luarnya , analogi tahanan

listriknya ialah seperti pada gambar 6. Dimana disini pun T_A dan T_B ialah suhu kedua fluida. Perhatikan bahwa dalam hal ini luas bidang konveksi tidak sama untuk kedua fluida. Luas bidang ini bergantung dari diameter dalam tabung dan tebal dinding. Dalam hal ini, perpindahan kalor menyeluruh dinyatakan dengan persamaan sesuai dengan jaringan termal sebagaimana ditunjukkan pada gambar 6. Besaran A_i dan A_o merupakan luas permukaan dalam dan luar tabung dalam.

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_i A_i} + \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o A_o}} \quad \dots(\text{Holman J.P, 1991: 34})$$



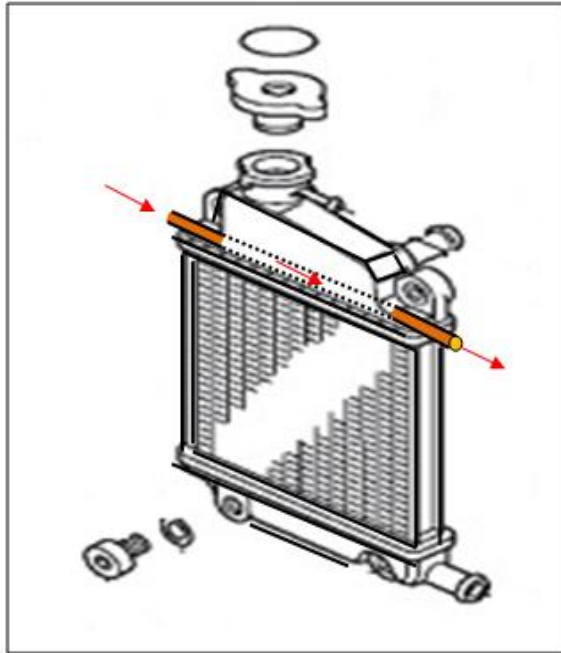
Sumber: (Holman J.P,1991: 33)

Gambar 6. Analogi tahanan untuk silinder bolong dengan kondisi batas konveksi.

Dalam penelitian ini menggunakan konsep pemanasan pada radiator dengan membuat saluran dengan pipa tembaga yang dimodifikasi. Komponen yang digunakan sebagai pemanas bahan bakar sebagai berikut:

a. Radiator

Radiator mendinginkan cairan pendingin yang telah menjadi panas setelah mendinginkan mesin. Radiator terdiri dari tangki air bagian atas (*upper water tank*), tangki air bagian bawah (*lower water tank*) dan radiator core pada bagian tengahnya. Cairan pendingin masuk ke dalam *upper tank* dari selang atas (*upper hose*). *upper tank* dilengkapi dengan tutup radiator untuk menambah air pendingin. Selain itu juga dihubungkan dengan slang ke *reservoir tank* sehingga air pendingin atau uap yang berlebihan dapat ditampung. *lower tank* dilengkapi dengan *outlet* dan kran penguras. Inti radiator terdiri dari pipa-pipa yang dapat dilalui air pendingin dari *upper tank* ke *lower tank*. Selain itu juga dilengkapi dengan sirip-sirip pendingin fungsinya untuk menyerap panas dari cairan pendingin (New Step 1 Toyota Astra Motor, 2003 : 3-31). Pada gambar berikut ini dapat dilihat bagaimana pemasangan pemanas dengan pipa tembaga pada *upper tank* radiator.



Sumber: *Manual book Honda Vario*
 Gambar 7. Pemasangan Pemanas dengan Pipa Tembaga pada *Upper Tank* Radiator.

b. Pipa Tembaga

Pipa tembaga digunakan untuk menyalurkan bahan bakar dari *fuel tank*/ tangki bahan bakar sebelum masuk ke karburator.

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Lambangnya berasal dari bahasa Latin *Cuprum*. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang cepat sekali. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak, dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Konfigurasi atom Cu adalah : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^1$, sehingga Cu cenderung melepaskan 1 elektron valensinya dan sangat baik jika digunakan sebagai konduktor dan mudah untuk didapatkan.

Tabel 3. Konduktivitas Berbagai Bahan Pada Temperatur Ruang

Bahan	Konduktivitas	Klasifikasi
Emas (Siver)	$6,7 \times 10^7$	Konduktor
Tembaga (Copper)	$6,7 \times 10^7$	Konduktor
Aluminium	$6,7 \times 10^7$	Konduktor
Brass	$6,7 \times 10^7$	Konduktor
Tungsten	$6,7 \times 10^7$	Konduktor
Nikel (Nicel)	$6,7 \times 10^7$	Konduktor
Besi (Ion)	$6,7 \times 10^7$	Konduktor
Mercury	$6,7 \times 10^7$	Konduktor
Graphite	$6,7 \times 10^4$	Konduktor
Air Laut	$\sim 4,0$	Konduktor
Germanium Intrinsik	$\sim 2,2$	Semikonduktor intrinsik
Ferrite	$\sim 1,0 \times 10^{-2}$	Semikonduktor intrinsik
Silikon Intrinsik	$\sim 0,44 \times 10^{-3}$	Semikonduktor intrinsik
Akuades (destiled water)	$\sim 1,0 \times 10^{-4}$	Isolator
Bakelit	$\sim 1,0 \times 10^{-9}$	Isolator
Glass	$\sim 1,0 \times 10^{-12}$	Isolator
Mika	$\sim 1,0 \times 10^{-15}$	Isolator
Kuarsa (Quartz)	$\sim 1,0 \times 10^{-17}$	Isolator

Sumber: (Gunawan, 2012:2)

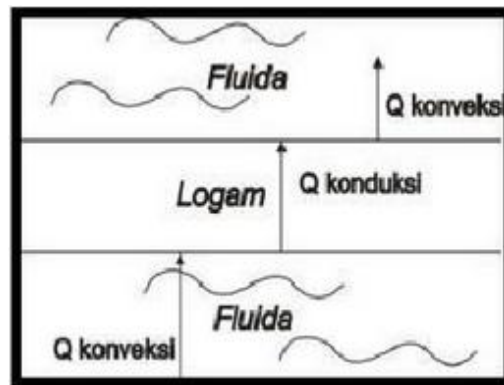
Tabel diatas menjelaskan mengenai konduktivitas atau kemampuan suatu bahan sebagai penghantar. Terlihat bahwa konduktivitas bahan dapat dibagi menjadi tiga yaitu, Konduktor (dari Emas sampai Air laut), Semikonduktor (dari Germanium sampai Silikon) dan Isolator (dari Akuades sampai Kuarsa). Bahan penghantar yang paling banyak digunakan adalah tembaga, karena tembaga merupakan bahan penghantar yang paling baik setelah emas dan harganya pun murah karena banyak terdapat dimana-mana atau bahan yang mudah didapat.

Pipa tembaga memiliki sifat terutama dalam hal konduktivitas listrik dan juga memiliki sifat yang baik dalam hal konduktivitas panas atau bisa dikatakan penghantar panas yang baik. Pipa tembaga sangat mudah disambung melalui proses

penyolderan serta pengelasan. Pipa tembaga termasuk golongan logam berat dimana memiliki titik lebur 1.085°C . Pipa tembaga yang digunakan dalam penelitian ini berdiameter 5 mm sebanyak 1 pipa dengan panjang keseluruhan 420 mm. Pipa tembaga akan di pasang di *upper tank* radiator sebagai tempat mengalirnya bahan bakar dari *fuel tank*/ tangki bahan bakar sebelum ke karburator. Bahan bakar yang mengalir didalam pipa tembaga akan terkonveksi panas dari fluida yang ada pada radiator, sehingga bahan bakar akan mendapatkan pertambahan nilai kalori bakar, dan bahan bakar semula cair akan berubah menjadi bahan bakar setengah gas.

c. Cara Kerja Alat Pemindah Panas Dari Pipa Tembaga Pada *Upper Tank Radiator*.

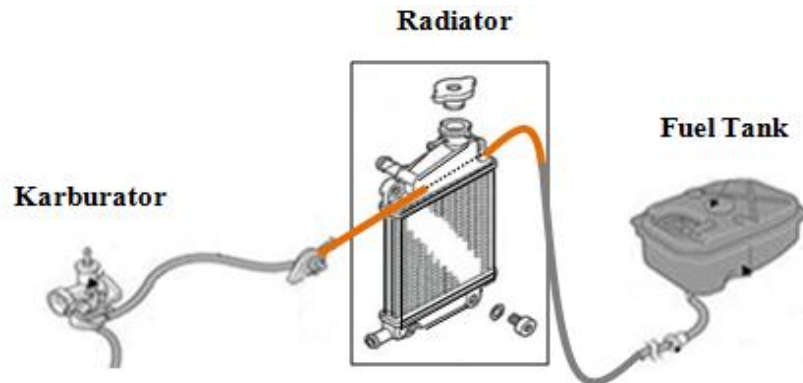
Pada dasarnya prinsip kerja dari alat penukar kalor (*heat exchanger*) yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada temperatur berbeda di mana transfer panas dilakukan secara kontak tidak langsung, yaitu Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisah, yaitu pipa tembaga. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir.



Gambar 8. Perpindahan Panas pada *Heat Exchanger* (Djunaidi, 2009)

Bahan bakar yang ada dalam *fuel tank* di suplai ke karburator mengalir melalui pipa tembaga yang berada pada *upper tank* Radiator. Pada saat air radiator pada *upper tank* radiator sudah mencapai suhu kerja mesin atau suhu air radiator mencapai 80 – 90°C. Maka pipa tembaga yang berada pada *upper tank* radiator otomatis mengalami kenaikan suhu dari suhu normalnya sehingga pipa tembaga menjadi panas dan bahan bakar yang berada dalam pipa tembaga akan terkonveksi panas dari pipa tembaga sehingga mengalami kenaikan suhu dari suhu normalnya. Oleh sebab itu bahan bakar yang berada dalam pipa tembaga menjadi panas yang disebabkan oleh panas air radiator yang berada pada *upper tank* radiator.

d. Pemasangan Pemanasan Bahan Bakar melalui *Upper Tank* Radiator dengan Pipa Tembaga pada Sepeda Motor.



Gambar 9. Skema Pemasangan Aliran Pemanasan Bahan Bakar melalui *Upper Tank* Radiator pada Sepeda Motor.

e. Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Terhadap Torsi dan Daya

Metode pemanasan bahan bakar adalah mengalirkan bahan bakar pada saluran bahan bakar melalui media pemanas yaitu memanfaatkan panas air pendingin pada radiator dengan membuat saluran dengan pipa tembaga pada *upper tank* radiator .

Menurut Sudirman (2006 : 34) yang menyatakan bahwa, Media pemanas yang digunakan bisa memanfaatkan sirkulasi air pendingin radiator atau bisa juga menggunakan pemanas (*heater*), penambahan gas HHO, dan proses pemanasan bahan bakar dapat membuat pembakaran lebih sempurna. Menurut Mahendra (2016 : 5), Pembakaran yang sempurna akan membuat konsumsi bahan bakar semakin irit dan torsi yang dihasilkan bisa meningkat, pemanasan juga membuat nilai oktan bahan bakar bensin meninggi.

Pengaruh pemanasan bahan bakar menurut Suwondo (2014 : 1) yang menyatakan bahwa, Pemanasan bahan bakar berpengaruh

terhadap unjuk kerja mesin dan konsumsi bahan bakar. Kenaikan temperatur bahan bakar menghasilkan kondisi optimum untuk unjuk kerja mesin dan emisi gas buang. Hal ini juga berlaku pada kenaikan kecepatan putar mesin.

Menurut Tenaya (2013:116) yang menyatakan bahwa,

“Apabila dalam proses pencampuran udara terdapat sebagian bahan bakar yang tidak menguap maka distribusi campuran menjadi sangat tidak homogen. Campuran tersebut menjadi kurus, yang berarti bahwa perbandingan udara lebih banyak dari pada bahan bakar sehingga sulit untuk terbakar pada ruang bakar yang mengakibatkan unjuk kerja mesin berkurang. Kondisi seperti ini dapat berakibat pada konsumsi bahan bakar menjadi tidak efektif terhadap kebutuhan mesin dan menurunnya unjuk kerja mesin, sehingga dapat diasumsikan bahwa bila bahan bakar dipanaskan hingga dibawah *temperature fire point* maka bahan bakar lebih cepat menguap. Bahan bakar akan lebih mudah bercampur dengan udara dan pembakaran menjadi lebih sempurna”.

Pada pembakaran premixed pemanasan campuran udara dengan bahan bakar akan membuat reaksi penguraian atau pemutus ikatan-ikatan bahan bakar menjadi sangat intensif, reaksi ini dapat membentuk radikal bebas atau ion dalam jumlah besar di dalam penyalaan dan radikal bebas ini merupakan rantai pembawa untuk memacu reaksi, sehingga pembakaran akan menjadi lebih sempurna (Zel'dovich, 1938). Sehingga terobosan dalam menyiasati untuk memperbaiki unjuk kerja mesin dapat dilakukan dengan cara memberikan perlakuan panas pada bahan bakar sebelum memasuki ruang bakar sehingga campuran udara dan bahan bakar menjadi lebih homogen.

Berdasarkan beberapa penjelasan diatas, maka dapat diketahui bahwa pemanasan bahan bakar dengan memanfaatkan panas air pendingin radiator dapat meningkatkan unjuk kerja atau performa mesin kendaraan yaitu torsi dan daya. serta dengan pemanasan bahan bakar juga dapat mengakibatkan berkurangnya kadar emisi gas buang.

B. Penelitian Yang Relevan

Penelitian yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan ini untuk memperkuat teori - teori yang telah dikemukakan dalam kajian teoritis dengan tidak menyamakan seluruh isi yang terkandung pada penelitian tersebut. Adapun penelitian yang relevan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

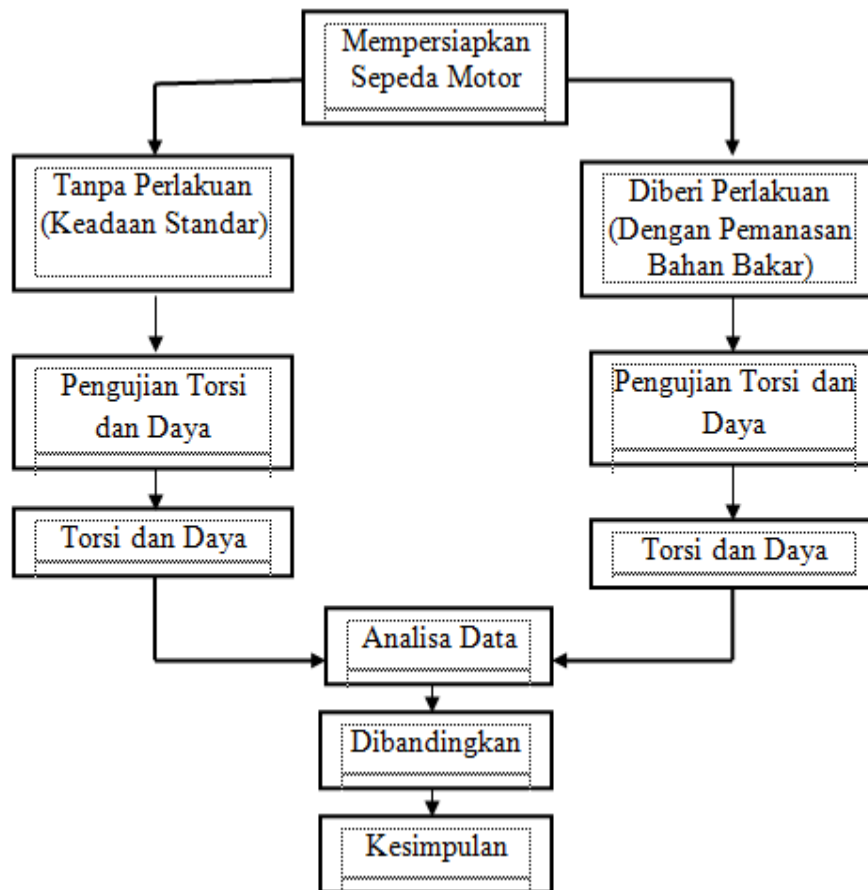
1. Toni dwi putra, dkk (2013), yaitu dalam jurnalnya “Pemanasan Bahan Bakar Bensin Dengan Komponen Radiator Sebagai Upaya Meningkatkan Kinerja Mesin Bensin 4 Langkah” hasil penelitiannya menunjukkan bahwa Untuk efisiensi efektif dan efisiensi indikasi cenderung naik setelah bahan bakar dipanaskan, yaitu pada putaran mesin 2000 rpm disini terjadi kenaikan efisiensi yang signifikan dari 3.851 % menjadi 6.511% kondisi ini terjadi setelah bahan bakar dipanaskan.jadi pada putaran tinggi (2000 - 2500 rpm) pembakarannya lebih sempurna. Dapat disimpulkan bahwa bahan bakar yang telah dipanaskan lewat radiator mempunyai keuntungan dapat menghemat bahan bakar (premium) dan meningkatkan kinerja mesin.

2. I Gusti Ngurah Putu Tenaya, dkk (2013), dalam jurnal yaitu “Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Dengan Media Radiator Pada Mesin Bensin Bertipe Injeksi Terhadap Unjuk Kerja Mesin” Pada Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, pada pengujian dengan memberikan *treatment* pemanasan bahan bakar, unjuk kerja mesin yaitu torsi dan daya meningkat, sedangkan konsumsi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik menurun dibandingkan tanpa pemanasan bahan bakar.
3. Joko Suwondo (2014), yaitu dalam jurnal penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Penampang Lintang Pipa Pemanasan Bahan Bakar Dengan Media Radiator Terhadap Unjuk Kerja Mesin Toyota Kijang 5K”. Pada Penelitian ini dapat disimpulkan bahwa, hasil penelitiannya menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan pada pengujian terhadap unjuk kerja mesin dan pengaruhnya terjadi pada konsumsi bahan bakar, daya mesin dan efisiensi mesin.

Secara umum perbedaan mendasar antara penelitian relevan diatas dengan penelitian yang akan peneliti laksanakan yaitu Objek penelitian menggunakan Mesin Sepeda Motor Honda Vario konvensional yang masih menggunakan sistem bahan bakar karburator.

C. Kerangka Konseptual

Berdasarkan latar belakang dan kajian teori yang telah dikemukakan diatas, maka kerangka konseptual dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 10. Kerangka Konseptual

D. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan kajian teori yang telah dibahas pada bagian sebelumnya, maka hipotesis dalam penelitian ini adalah: “Adanya Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Melalui *Upper Tank* Radiator Dengan Pipa Tembaga Terhadap Torsi dan Daya Sepeda Motor Empat Langkah”.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan maka, dapat disimpulkan hasil penelitian sebagai berikut:

1. Adanya peningkatan torsi yang dihasilkan sepeda motor empat langkah honda vario pada putaran mesin 6500 rpm yaitu, dari 6,72 N.m dalam keadaan tanpa pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator dengan pipa tembaga, meningkat 0,35 N.m atau 4,95% menjadi 7,07 N.m akibat dari pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator dengan pipa tembaga. Dan adanya peningkatan daya yang dihasilkan sepeda motor empat langkah honda vario pada putaran mesin 8000 rpm yaitu; dari 6,3 HP dalam keadaan tanpa pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator dengan pipa tembaga, meningkat 0,5 HP atau 7,35 % menjadi 6,8 HP akibat penggunaan pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator dengan pipa tembaga.
2. Pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator dengan pipa tembaga berpengaruh terhadap torsi dan daya mesin yang dihasilkan sepeda motor empat langkah honda vario 110cc karburator.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat disampaikan yaitu:

1. Bagi Penelitian ini, diharapkan pada saat melakukan penelitian atau pengujian pemanasan bahan bakar. Temperatur pemanasan bahan bakar harus terkontrol sekali karena pada saat melakukan pengujian dengan *dynamometer* waktu yang dibutuhkan pengujian torsi dan daya sepeda motor sangat singkat sekali. karena akan mempengaruhi hasil dari pengujian torsi dan daya yang mengalami peningkatan sedikit. Dan temperatur mesin benar - benar panas sesuai speknya.
2. Bagi pembaca, diharapkan dapat menggunakan penelitian ini sebagai referensi untuk penelitian lanjutan mengenai pengaruh pemanasan bahan bakar melalui *upper tank* radiator dengan pipa tembaga terhadap torsi dan daya mesin dengan menggunakan berbagai bentuk saluran pipa tembaga dan bahan bakar yang digunakan bervariasi. serta disarankan untuk melakukan penelitian pengaruh pemanasan bahan bakar terhadap konsumsi bahan bakar spesifik (Sfc).
3. Bagi mahasiswa perlu lebih giat dan ditingkatkan lagi kemauan dan kemampuan yang dapat mendukung ilmu yang ditekuni di bidang otomotif, mengingat perkembangan teknologi yang semakin pesat dari tahun - ketahunnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arends. BPM dan Berenschot. H. 1980. *Motor Bensin*. Jakarta: Erlangga.
- Arismunandar, Wiranto. 2005. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak Edisi Kelima*. Bandung: ITB.
- Bondan T. Sofyan. 2010. *Pengantar Material Teknik*. Jakarta: Salemba Teknik.
- Bungin, Burhan. 2011. *Metodologi Penelitian Kuantitatif*. Jakarta: Prenada Media.
- Daryanto. 2008. *Motor Bakar Untuk Mobil*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Djokosetyardjo, M.J. 2006. *Ketel Uap*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Djunaidi. 2009. “Pemeliharaan Tube\Side Penukar Kalor Rsg-Gas Jangka Pendek Dan Jangka Panjang”. Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN. Kawasan Puspitek Serpong Tangerang : Banten.
- Fessenden, Ralp J & Fessenden, Joan S. 1992. *Kimia Organik Edisi Ketiga Jilid1*. Jakarta: Erlangga.
- Ginting, Raja Ulungan. 1989. *Dasar-dasar Termodinamika*. Jakarta: P2LPTK.
- Gunawan Putu Nopa. 2012. “Material Elektro Teknik”. Univeritas Hasanuddin.
- Gupta, H.N. 2013. *Fundamental of Internal Combustion Engine*. Delhi : PHI Learning Private. Ltd.
- Halderman, James. D and Chase D. Mitchell, Jr. 2005. *Automotive Engine: Theory and Servicing*. New Jersey: Pearson Education.
- Habibun, Wijaya. 2016. “Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Melalui Media Radiator Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pada Sepeda Motor Empat Langkah Honda Vario”. *Skripsi*. Padang: Teknik Otomotif UNP.
- Haryono, G. 1989. *Uraian Praktis Mengenal Motor Bakar*. Semarang: Aneka Ilmu.
- Heywood, John B. 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Hidayat, Wahyu. 2012. *Motor Bensin Modern*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Holman, J.P. 1991. *Perpindahan Kalor*. Jakarta. Erlangga.