

**PENGARUH PEMANASAN AWAL BAHAN BAKAR SOLAR TERHADAP  
KONSUMSI BAHAN BAKAR MOTOR DIESEL**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Persyaratan Untuk Menyelesaikan Program Strata Satu  
Pada Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik  
Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang*



**Oleh**

**ADE PEBRIAN**

**1307309/2013**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF**

**JURUSAN TEKNIK OTOMOTIF**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

**2016**

**HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI**

**PENGARUH PEMANASAN AWAL BAHAN BAKAR SOLAR  
TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR MOTOR DIESEL**

Nama : Ade Pebrian  
BP. NIM : 2013.1307309  
Jurusan : Teknik Otomotif  
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif  
Fakultas : Teknik

Padang, Februari 2016

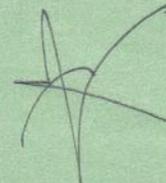
Disetujui Oleh:

**Pembimbing I**



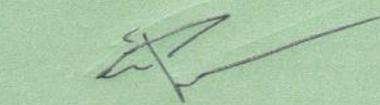
**Drs. Bahrul Amin, ST, M.Pd**  
NIP. 19630212 198603 1 026

**Pembimbing II**



**Donny Fernandez, S.Pd, M.Sc**  
NIP. 19790118 200312 1 003

**Ketua Jurusan Teknik Otomotif**



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

## PENGESAHAN SKRIPSI

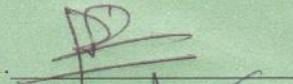
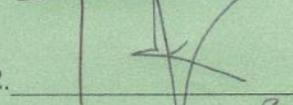
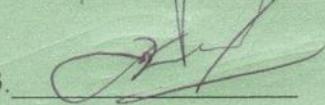
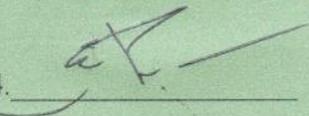
Nama : Ade Pebrian  
NIM : 1307309/2013

Dinyatakan lulus setelah mempertahankan skripsi di depan Tim Penguji  
Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Jurusan Teknik Otomotif  
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang  
dengan judul

### **Pengaruh Pemanasan Awal Bahan Bakar Solar Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Motor Diesel**

Padang, 9 Februari 2016

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	<b>Drs. Bahrul Amin, ST, M.Pd</b>	1. 
2. Sekretaris	<b>Donny Fernandez, S.Pd, M.Sc</b>	2. 
3. Anggota	<b>Drs. H. Erzeddin Alwi, M.Pd</b>	3. 
4. Anggota	<b>Drs. Martias, M.Pd</b>	4. 



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN  
PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK OTOMOTIF Jl. Prof Dr. Hamka Kampus  
UNP Air Tawar Padang 25171  
Telp. (0751)7055922 FT: (0751)7055644, 445118 Fax .7055644  
E-mail : info@ft.unp.ac.id



### SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Ade Pebrian**  
NIM/TM : 1307309/2013  
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif  
Jurusan : Teknik Otomotif  
Fakultas : FT UNP

Dengan ini menyatakan, bahwa skripsi saya dengan judul **“Pengaruh Pemanasan Awal Bahan Bakar Solar Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Motor Diesel”** adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukuman sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di institusi UNP maupun di masyarakat dan negara.

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

Padang, 9 Februari 2016

Saya yang menyatakan,



**Ade Pebrian**  
NIM. 1307309/2013

## ABSTRAK

### **Ade Pebrian : Pengaruh Pemanasan Awal Bahan Bakar Solar Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Motor Diesel**

Proses Pembakaran dalam motor diesel terjadi karena masuknya solar ke dalam ruang bakar yang berisi udara terkompresi dan bertemperatur tinggi sehingga membentuk campuran udara dan bahan bakar. Karena kondisi dalam ruang bakar telah berada di atas kondisi titik penyalaan sendiri dari campuran bahan bakar bakar – udara ini maka segera terbakarlah campuran tersebut menghasilkan tenaga/langkah kerja pada motor diesel.

Kualitas pembakaran dapat ditingkatkan dengan melakukan pemanasan awal pada bahan bakar. Pemanasan awal ini dapat dilakukan dengan memanaskan bahan bakar sebelum masuk ke ruang bakar dengan *preheater*. *Preheater* ini akan dipasang di saluran bahan bakar sebelum injektor. Pada penelitian ini mesin diesel dipakai sebagai alat uji. *Preheater* akan diberikan arus 10 A sehingga didapatkan suhu yang cukup untuk memanaskan bahan bakar sebelum diinjeksikan. Tahapan pertama membuat *preheater*, kemudian memasangnya disaluran bahan bakar dengan diapit oleh 2 buah plat alumunium sebagai penghantar panas.

Hasil penelitian ini didapat penurunan konsumsi bahan bakar pada putaran 650 RPM terjadi penurunan sebesar 19.75 %, pada putaran 2100 RPM terjadi penurunan sebesar 15,74 %, dan pada putaran 3100 RPM terjadi penurunan yang signifikan sebesar 36,22 %.

Kata Kunci : Pemanasan Awal, *pre-heater*, Motor Diesel, Konsumsi Bahan Bakar.

## KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, puji syukur peneliti haturkan kepada sang khalik. Karena atas izin-Nya peneliti dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul **“Pengaruh Pemanasan Awal Bahan Bakar Solar Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Motor Diesel”**. Penelitian ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan Program Studi Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang.

Dalam membuat penelitian ini peneliti banyak sekali menemui kesulitan dikarenakan keterbatasan ilmu yang dimiliki. Hal ini disebabkan karena masih terbatasnya kemampuan peneliti baik pengalaman maupun pengetahuan. Berkat bantuan dari berbagai pihak, peneliti dapat mengatasi kesulitan tersebut dan akhirnya dapat menyelesaikan penelitian ini. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini peneliti menyampaikan ucapan terima kasih kepada Bapak/Ibu:

1. Bapak Drs. Syahril, ST, MSCE, Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
2. Bapak Drs. Martias, M.Pd selaku Ketua Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang dan Penasehat Akademis.
3. Bapak Donny Fernandez, S.Pd, M.Sc selaku Sekretaris Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang dan Pembimbing II dalam penyusunan skripsi.
4. Bapak Drs. Bahrul Amin, ST, M.Pd selaku Pembimbing I dalam penyusunan skripsi.
5. Seluruh Dosen, Teknisi dan Staf Administrasi Jurusan Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang.

6. Kedua Orang Tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan kepada peneliti.
7. Seterusnya kepada semua pihak yang telah membantu demi kelancaran penulisan penelitian ini.

Peneliti berharap semoga bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada peneliti mendapat imbalan pahala dari Allah SWT. Peneliti sangat menyadari bahwa dalam penulisan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga peneliti sangat mengharapkan saran serta kritik yang membangun guna demi kesempurnaan penelitian ini. Akhirnya peneliti berharap agar hasil penelitian ini dapat memberikan sumbangan pemikiran dan informasi yang bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa serta para pembaca pada umumnya.

Padang, Februari 2016  
Peneliti

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK.....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	3
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah.....	4
E. Tujuan Penelitian.....	4
F. Manfaat Penelitian.....	5
<b>BAB II. KAJIAN PUSTAKA</b>	
A. Landasan Teori.....	6
1. Motor Diesel.....	6
2. Bahan Bakar.....	15
3. Konsumsi Bahan Bakar.....	19
4. Pengaruh Pemanasan Solar.....	23
5. Rangkaian <i>preheater</i> .....	24
B. Penelitian yang relevan.....	25
C. Kerangka Konseptual.....	26
D. Hipotesis Penelitian.....	26
<b>BAB III. METODE PENELITIAN</b>	
A. Desain Penelitian.....	27
B. Defenisi Operasional Variabel Penelitian.....	28
C. Instrumen Penelitian dan Teknik Pengambilan Data.....	29
D. Analisis Data.....	31
<b>BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>	
A. Hasil Penelitian.....	33
B. Pembahasan.....	37
C. Keterbatasan Penelitian.....	38
<b>BAB V. PENUTUP</b>	
A. Kesimpulan.....	40
A. Saran.....	40
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>42</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>44</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Pola penelitian .....	27
2. Spesifikasi Motor Diesel .....	29
3. Format Pengambilan Data Tingkat Konsumsi Bahan Bakar .....	31
4. Data Hasil Pengujian Waktu Perfoma Mesin Untuk 50 cc Bahan Bakar Pada Motor Diesel .....	33
5. Data Hasil Pengujian Waktu Perfoma Mesin Untuk 50 cc Bahan Bakar Pada Motor Diesel Dengan Menggunakan Preheater.....	33
6. Rekapitulasi Konsumsi Bahan Bakar Motor Diesel Tanpa Perlakuan .....	34
7. Rekapitulasi Konsumsi Bahan Bakar Pada Motor Yang Dipasang Preheater ..	34
8. Rekapitulasi Perbedaan Rata-Rata Konsumsi Bahan Bakar .....	35
9. Rekapitulasi Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Menggunakan Uji t .....	35

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Siklus Kerja Motor Diesel 4 Langkah .....	7
2. Proses pembakaran motor diesel .....	10
3. Injektor Tipe Lubang .....	14
4. Rangkaian Preheater .....	24
5. Grafik Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Antara Motor Tanpa Preheater Dengan Motor Yang Dipasang Preheater.....	36

# BAB I

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Sarana transportasi merupakan salah satu hal yang kini telah menjadi kebutuhan yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan manusia. Baik fungsinya sebagai penunjang operasional suatu perusahaan ataupun penunjang keperluan pribadi manusia untuk melakukan perjalanan yang cukup jauh. Keinginan untuk dapat bergerak dengan lebih cepat dan lebih kuat dari kemampuan ototnya sendiri manusia berusaha untuk menciptakan sarana transportasi yang sesuai dengan keinginannya. Kekuatan hewan menjadi pilihan yang pertama dilihat, namun karena keterbatasan kekuatan hewan maka manusia mencoba untuk melirik ke sumber energi yang lain. Berbagai jenis motor kemudian tercipta baik *internal combustion engine* maupun *external combustion engine* berhasil lahir dari tangan – tangan ahli teknik masa itu.

Saat ini motor bakar torak menjadi salah satu tenaga penggerak utama dalam sarana transportasi. Diantaranya motor bensin dan motor diesel merupakan 2 jenis motor yang paling banyak digunakan sebagai tenaga penggerak sarana transportasi manusia. Tidak berhenti sampai disini, hingga sekarang ini berbagai penelitian dan percobaan terus berlangsung untuk meningkatkan kemampuan dari motor – motor yang telah ada ataupun untuk menemukan sumber penggerak alternatif. Berbagai penemuan baru telah dihasilkan yang membuat perkembangan dalam dunia otomotif semakin pesat.

Di Indonesia kendaraan dengan tenaga penggerak motor diesel menjadi salah satu pilihan yang banyak disukai mengingat kemampuan yang dimilikinya dan terutama harga bahan bakarnya (solar) yang lebih murah dibanding dengan bahan bakar motor bensin. Dalam perkembangannya keinginan manusia untuk memiliki kendaraan yang mempunyai kemampuan yang lebih baik dengan konsumsi bahan bakar yang lebih hemat mendorong para ahli untuk melakukan berbagai percobaan dan penelitian untuk memodifikasi motor bakar torak yang sudah ada. Keinginan ini pula yang memotivasi penulis untuk mengangkat masalah ini sebagai judul skripsi. Untuk ini penulis memilih untuk meneliti sebuah motor diesel.

Proses Pembakaran dalam motor diesel terjadi karena masuknya solar ke dalam ruang bakar yang berisi udara terkompresi dan bertemperatur tinggi sehingga membentuk campuran udara dan bahan bakar. Kondisi dalam ruang bakar telah berada di atas kondisi titik penyalaan sendiri dari campuran bahan bakar bakar – udara ini maka segera terbakarlah campuran tersebut menghasilkan tenaga/langkah kerja pada motor diesel. Dalam kenyataannya pembakaran tersebut sering tidak dapat berlangsung dengan sempurna. Jumlah bahan bakar dalam ruang bakar yang tidak sesuai dengan kebutuhan, proses penginjeksian bahan bakar yang kurang baik atau kurang baiknya proses pencampuran bahan bakar dengan udara dalam ruang bakar seringkali menjadi penyebab ketidaksempurnaan proses pembakaran.

Dalam penelitian ini akan dicoba untuk mendapatkan campuran bahan bakar - udara yang lebih baik untuk memperbaiki proses pembakaran dalam

motor diesel. Hal ini akan ditempuh dengan melakukan pemanasan terhadap solar menggunakan *preheater* sebelum diinjeksikan ke dalam ruang bakar dengan tujuan untuk menurunkan viskositasnya agar nantinya setelah diinjeksikan dapat membentuk butiran – butiran yang lebih halus dan menghasilkan campuran bahan bakar – udara yang lebih homogen. Setelah itu dilakukan pengujian pada motor diesel untuk melihat bagaimana perubahan yang terjadi pada efisiensi motor bakar diesel jika dilakukan pemanasan terhadap bahan bakar yang digunakan. Dengan analisa terhadap data yang didapat dari pengujian diharapkan dapat diketahui seberapa besar pengaruh yang terjadi serta yang tak kalah pentingnya adalah hal – hal apakah yang perlu diperhatikan bila modifikasi ini dilakukan supaya didapatkan hasil yang optimum.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut.

1. Adanya kelemahan pada motor diesel konvensional dalam proses pencampuran bahan bakar dan udara sehingga mengakibatkan pembakaran tidak sempurna.
2. Adakah interaksi pengaruh pemanasan awal bahan bakar solar dengan menggunakan *preheater* untuk meningkatkan efisiensi motor bakar diesel.

### **C. Batasan Masalah**

Penelitian yang dilakukan, diarahkan untuk dapat mengetahui pengaruh pemanasan awal bahan bakar solar terhadap konsumsi bahan bakar motor diesel. Untuk mencapai hal tersebut pengujian dan analisa akan dilakukan dengan mengadakan perubahan terhadap variabel utama yaitu temperatur solar, sedangkan variabel – variabel yang lain akan dibuat konstan. Hal ini dilakukan agar data – data yang dihasilkan dapat benar – benar menunjukkan karakteristik pengaruh variabel utama tersebut di atas untuk meningkatkan efisiensi motor diesel.

### **D. Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah seberapa besar pengaruh pemanasan awal bahan bakar solar terhadap konsumsi bahan bakar motor diesel.

### **E. Tujuan Penelitian**

Dengan percobaan dan studi terhadap data yang dihasilkan, diharapkan penelitian mampu memberikan pengetahuan baru tentang karakteristik operasional motor diesel. Pengetahuan ini terutama berkaitan dengan pemanasan awal bahan bakar solar terhadap konsumsi bahan bakar motor diesel, dan berharap semoga modifikasi yang dilakukan akan berhasil memberikan pengaruh positif, yaitu memberikan campuran bahan bakar – udara yang lebih homogen dengan jumlah yang cukup sehingga motor dapat

menghasilkan efisiensi yang lebih baik jika dibandingkan dengan sebelum dimodifikasi.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Dengan tercapainya tujuan di atas maka bila nantinya modifikasi ini benar – benar diaplikasikan akan dapat menghemat biaya operasional dari kendaraan yang digunakan. Selain itu dengan diketahui pengaruh pemanasan awal bahan bakar solar terhadap konsumsi bahan bakar motor diesel, maka hal ini dapat menjadi masukan bagi penelitian selanjutnya untuk dikembangkan lebih lanjut dengan memasukan parameter – parameter yang lain untuk lebih menyempurnakan hasil yang didapat.

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **A. Landasan Teori**

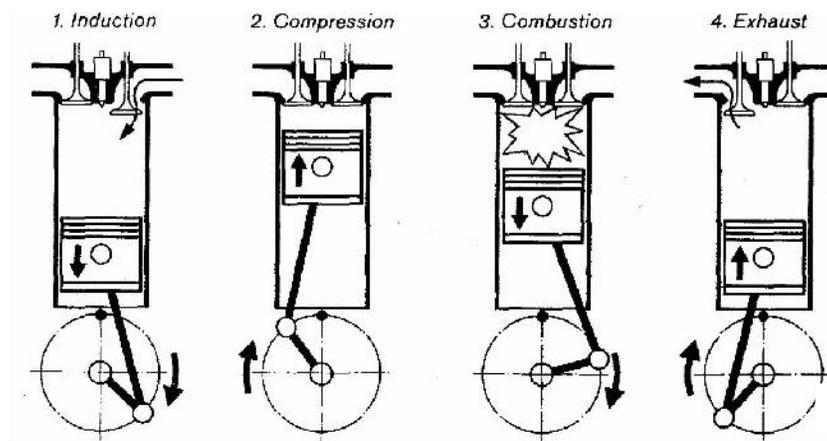
##### **1. Motor Diesel**

Motor diesel (*diesel engines*) atau yang dikenal dengan nama lain *compression ignition engine* pertama kali diciptakan oleh Rudolf Diesel, seorang ilmuwan berkebangsaan Jerman yang lahir di Paris, Perancis pada tahun 1858 dan meninggal tahun 1913. Pada mulanya motor ini diciptakan untuk menggunakan bahan bakar *pulverised* yang akan terbakar di udara bertekanan dan bersuhu tinggi, namun kenyataannya motor ini tidak dapat berfungsi maka kemudian Diesel menggunakan injektor untuk menginjeksikan bahan bakar cair yang akan terkabutkan di udara dengan tekanan dan suhu tinggi sehingga terbakar. Motor diesel ini pertama kali dapat berfungsi pada tahun 1897.

Motor diesel merupakan suatu motor bakar yaitu suatu alat yang mengubah energi dari energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik. Motor bakar dapat dibedakan menjadi dua kelompok yaitu motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) bila gas hasil pembakaran dan fluida kerja tidak terpisahkan oleh suatu dinding. Motor pembakaran luar (*external combustion engine*) bila gas hasil pembakaran dan fluida kerja dipisahkan oleh suatu dinding. Motor diesel ini menggunakan gas hasil pembakaran langsung sebagai fluida kerjanya maka ia termasuk kelompok motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*).

### a. Prinsip Kerja Motor Diesel 4 Langkah

Menurut langkah kerjanya motor diesel juga ada dua macam yaitu motor diesel 4 langkah dan motor diesel 2 langkah. Motor diesel 4 langkah adalah jenis motor diesel yang untuk melengkapi satu siklus kerjanya diperlukan 4 langkah gerakan piston (2 kali naik turun) atau 2 kali putaran poros engkol. Motor diesel 2 langkah memerlukan 2 langkah gerakan piston (satu kali naik turun) atau satu kali putaran poros engkol untuk melengkapi satu siklus kerjanya.



Gambar 1. Siklus kerja motor diesel 4 langkah  
(Sumber: Diesel Fuel Injection (1994:4))

Untuk lebih jelasnya berikut ini akan diuraikan mengenai siklus kerja motor diesel 4 langkah:

#### 1) Langkah Isap

Pada langkah ini, piston bergerak dari TMA ke TMB, katup isap membuka dan katup buang menutup sehingga udara segar masuk ke dalam silinder akibat adanya kevakuman melalui *intake manifold*.

## 2) Langkah Kompresi

Pada langkah kompresi, katup masuk dan katup buang tertutup, udara yang sudah masuk kedalam silinder akan ditekan oleh piston yang bergerak dari TMB ke TMA. Perbandingan kompresi pada motor diesel berkisar antara 1:15 sampai 1:22. Akhir langkah kompresi injektor menyemprotkan bahan bakar ke dalam udara panas yang tekanannya dapat mencapai 40 bar.

## 3) Langkah Usaha

Diikuti oleh pembakaran tertunda, pada awal langkah usaha bahan bakar yang sudah teratomisasi akan terbakar sebagai hasil pembakaran langsung dan membakar hampir seluruh bahan bakar. Tenaga yang dihasilkan pada langkah usaha ini sebagian disimpan dalam *flywheel* untuk melanjutkan proses kerja motor selanjutnya.

## 4) Langkah Buang

Katup masuk masih tertutup dan katup buang terbuka. Piston bergerak dari TMB menuju TMA sehingga mendorong gas sisa pembakaran (gas buang) keluar melalui katup buang yang terbuka. Akhir langkah buang katup masuk terbuka sehingga udara segar masuk ke dalam silinder dan ikut mendorong gas buang keluar.

### **b. Pembakaran pada Motor Diesel**

Pembakaran adalah reaksi kimia dari unsur-unsur bahan bakar dengan zat asam yang kemudian menghasilkan panas yang disebut *heat energy*. Oleh karena itu pada setiap pembakaran diperlukan bahan bakar,

zat asam dan suhu yang cukup tinggi untuk awal mulanya pembakaran.

Kristanto dan Tirtoatmodjo (2000; 8) mengemukakan bahwa:

“Proses pembakaran pada motor diesel tidak berlangsung sekaligus melainkan membutuhkan waktu dan berlangsung dalam beberapa tahapan. Disamping itu penyemprotan bahan bakar juga tidak dapat dilaksanakan sekaligus, tetapi berlangsung antara 30-40 derajat sudut engkol. Dalam hal ini tekanan udara akan naik selama langkah kompresi berlangsung”

Pembakaran dapat didefinisikan sebagai reaksi (*oksidasi*) yang berlangsung sangat cepat (0,001-0,002 detik) disertai pelepasan energi.

Ada tiga klasifikasi kecepatan pembakaran, yaitu:

- 1) *Explosive* adalah ledakan
- 2) *Deflagration* yaitu pembakaran dengan perambatan api *subsonic*.
- 3) *Detonation* adalah pembakaran dengan perambatan api *supersonic*.

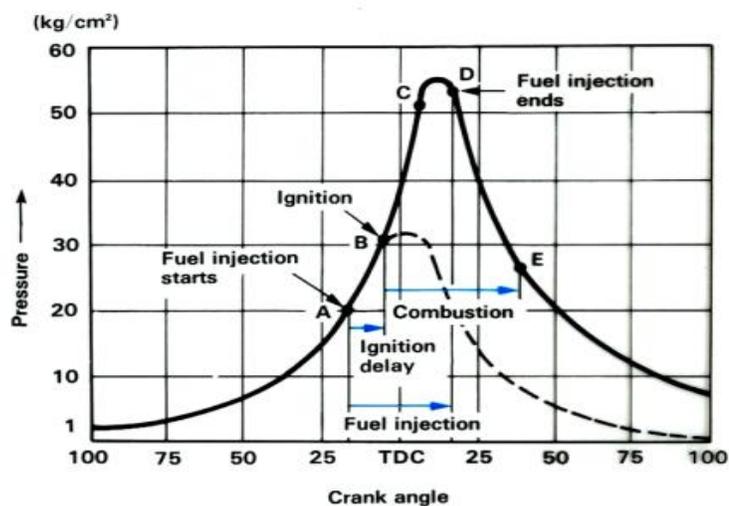
proses pembakaran dengan laju pembakaran sangat cepat dan tidak menampakkan adanya gelombang

Sejalan dengan pendapat Wiranto (1988:95) yang mengatakan bahwa “Proses pembakaran merupakan suatu reaksi kimia cepat antara bahan bakar (hidrokarbon) dengan oksigen dari udara yang tidak terjadi secara sekaligus, tetapi terjadi dalam beberapa tahapan”.

Pendapat lain dikemukakan oleh Daryanto (2003:14)

Udara dimasukkan ke dalam silinder melalui saluran masuk dan katup hisap kemudian dikompresikan oleh torak. Pada waktu yang sama bahan bakar dari tangki dialirkan ke dalam pompa injeksi dan dimampatkan sampai mencapai tekanan 80-500 kg/cm<sup>2</sup>.kemudian disemprotkan melalui nozzle pengabut dan posisi torak 15-32<sup>0</sup> sebelum titik mati atas (TMA). Bila perbandingan kompresi mesin berada di antara 15-32 maka tekanan udara yang dikompresikan akan mencapai 26 sampai

$40\text{kg/cm}^2$  dan suhunya mencapai  $500\text{-}700^\circ\text{C}$ . Selanjutnya bahan bakar yang disemprotkan ini akan berada pada kondisi dapat terbakar sendiri sehingga mudah terjadi proses pembakaran. Pembakaran yang terjadi dalam motor diesel terjadi hampir serentak di semua tempat. Berbeda dengan pembakaran pada motor bensin yang dimulai dari suatu tempat. Bahan bakar yang disemprotkan tadi berbentuk partikel-partikel yang terdiri dari berbagai ukuran dan masing-masing partikel mempunyai nilai suhu tersendiri tergantung pada tempat dimana kondisi campuran dan suhunya memenuhi syarat.



Gambar 2. Proses Pembakaran Motor Diesel  
Sumber : Mitsubishi M-Step II Diesel Engine (2008:3)

Secara garis besar proses pembakaran pada motor Diesel terbagi menjadi empat tahap, yaitu tahap persiapan pembakaran (*ignition delay*), tahap penyebaran api (*flame propagation*), tahap pembakaran langsung (*direct combustion*) dan tahap pembakaran akhir (*final combustion*).

#### 1) Tahap Persiapan Pembakaran (*Ignition delay*) (A-B)

Tahap ini merupakan tahap persiapan pembakaran. Bahan bakar disemprotkan oleh injektor berupa kabut ke udara panas dalam ruang bakar sehingga menjadi campuran yang mudah terbakar. Tahap

ini bahan bakar belum terbakar atau dengan kata lain pembakaran belum dimulai. Pembakaran dimulai pada titik B, peningkatan tekanan terjadi secara konstan, karena piston terus bergerak menuju TMA.

#### 2) Tahap Penyebaran Api (*Flame propagation*) (B-C)

Campuran yang mudah terbakar telah terbentuk dan merata diseluruh bagian dalam ruang bakar. Awal pembakaran mulai terjadi di beberapa bagian dalam silinder. Pembakaran ini berlangsung sangat cepat sehingga terjadilah letupan (*explosive*). Letupan ini berakibat tekanan dalam silinder meningkat dengan cepat. Akhir tahap ini disebut tahap pembakaran letupan dengan tekanan 30 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 3) Tahap Pembakaran Langsung (*Direct combustion*) (C-D)

Injektor terus menyemprotkan bahan bakar dan terakhir pada titik D karena injeksi bahan bakar terus berlangsung didalam udara yang bertekanan dan bersuhu tinggi, maka bahan bakar yang di injeksi akan langsung terbakar. Tahap ini pembakaran dikontrol oleh jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, sehingga tahap ini disebut tahap pengontrolan pembakaran.

#### 4) Tahap Pembakaran Akhir (*Final combustion*) (D-E)

Di titik D, injeksi bahan bakar berhenti, namun bahan bakar masih ada yang belum terbakar. Periode ini sisa bahan bakar diharapkan akan terbakar seluruhnya. Rabiman dan Arifin mengemukakan bahwa (2011: 8) “Apabila tahap ini terlalu panjang akan menyebabkan suhu gas buang meningkat dan efisiensi pembakaran berkurang”.

Beberapa penyebab terjadinya tertundanya pembakaran disebabkan jenis dan kualitas bahan bakar, temperatur udara yang dikompresikan, turbulensi udara, sistem pengabutan yang tidak sempurna, kondisi injektor yang tidak layak pakai, dan kerja pompa injeksi yang kurang baik.

### **c. Sistem Suplai Bahan Bakar**

Secara umum sistem penyaluran bahan bakar yang digunakan dalam motor diesel tersusun dari beberapa komponen utama seperti tersebut di bawah ini:

#### **a) Saringan Bahan Bakar**

Saringan bahan bakar sangat diperlukan untuk mencegah masuknya kotoran – kotoran yang terdapat dalam solar ke dalam pompa penyalur, pompa tekanan tinggi, dan injektor. Kotoran yang teradpat dalam aliran solar dapat menyebabkan kerusakan/keausan pada pompa dan juga dapat menyumbat saluran bahan bakar sehingga akan mengganggu kerja motor diesel.

#### **b) Pompa Penyalur Tekanan Rendah**

Pompa penyalur tekanan rendah digunakan untuk mengalirkan bahan bakar dari tangki bahan bakar ke pompa tekanan tinggi agar pompa tekanan tinggi selalu terisi bahan bakar. Tekanan alirannya selalu lebih tinggi dari tekanan udara atmosfer hal ini bertujuan agar seandainya terjadi kebocoran gelembung udara tidak dapat masuk ke dalam saluran bahan bakar, karena adanya gelembung udara akan mengganggu aliran bahan bakar.

c) Pompa Tekanan Tinggi

Pompa tekanan tinggi berfungsi untuk menyalurkan bahan bakar ke injektor untuk kemudian dimasukkan ke dalam ruang bakar pada saat yang telah ditentukan dan dengan jumlah yang sesuai dengan kebutuhan motor sehingga dapat menghasilkan daya yang optimum.

d) Injektor

Injektor merupakan alat yang menjadi penghubung antara pompa tekanan tinggi dan ruang bakar. Syarat injektor yang baik adalah:

- (a) Dapat memasukan bahan bakar ke dalam ruang bakar sesuai kebutuhan
- (b) Dapat mengabutkan bahan bakar dengan derajat pengabutan yang optimal.
- (c) Dapat mendistribusikan bahan bakar dengan baik sehingga pembakaran dapat sempurna.

Saat ini ada dua jenis injektor yang digunakan pada motor diesel, yaitu:

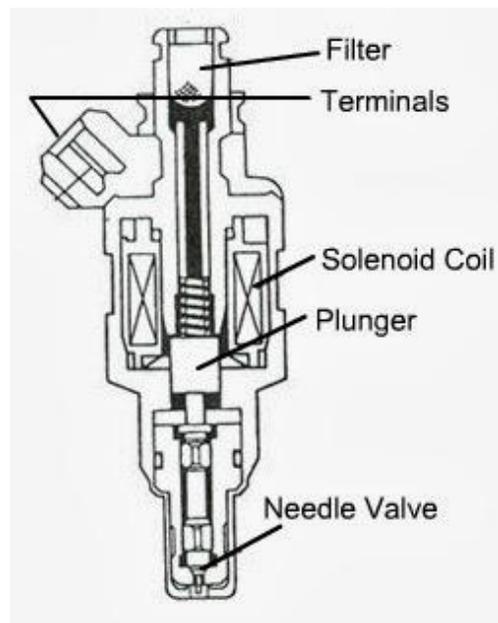
(a) Injektor Tipe Pasak (*Throttling pintle nozzle*)

Injektor jenis ini biasa digunakan pada motor diesel dengan sistem ruang bakar muka (*in-direct injection system*). Diameter lubang dari injektor jenis ini dapat mencapai 3 mm dan semprotannya berbentuk selubung kabut.

(b) Injektor Tipe Lubang (*Hole type nozzle*)

Injektor jenis ini digunakan pada motor diesel ruang bakar terbuka (*direct injection system*). Bentuk semprotan dari injektor ini ialah kerucut dengan diameter lubang berkisar 0,25 mm dan dengan jumlah lubang satu atau lebih.

Jenis injektor yang dipakai pada motor diesel yang digunakan dalam percobaan ini adalah tipe lubang



Gambar 3. Injektor tipe lubang  
(Sumber: Diesel Fuel Injection (1994:195 - 197))

## 2. Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan pada motor diesel atau yang biasa dikenal dengan nama solar merupakan hasil distilasi minyak bumi yang mempunyai temperatur didih antara 180 °C sampai 360 °C. Beberapa karakteristik solar yang perlu diperhatikan antara lain adalah:

### **1) Angka Setana**

Menurut Resuli Irawan Thalib (2011) Angka Setana atau CN (Cetane Number) adalah ukuran yang menunjukkan kualitas dari bahan bakar untuk diesel, dalam mesin diesel angka bahan bakar setana yang lebih tinggi akan memiliki periode pengapian lebih pendek daripada bahan bakar setana bernilai rendah. Singkatnya, semakin tinggi angka setana akan lebih mudah bagi bahan bakar untuk terbakar dalam kompresi.

Dengan bahan bakar yang mudah terbakar maka akan mengurangi ketukan dari mesin diesel, sehingga mesin akan lebih halus. Oleh karena itu bahan bakar yang lebih tinggi setana biasanya menyebabkan mesin untuk berjalan lebih lancar dan tenang . hal ini berbeda bila nilai setananya lebih rendah maka akan terjadi delay sehingga menambah ketukan pada proses pembakaran. Angka Sentana berbeda dengan angka oktan pada motor bensin.

### **2) Sifat – sifat pada Temperatur Rendah**

Arismunandar (2008) menjelaskan solar berada pada temperatur yang rendah maka akan terjadi proses presipitasi paraffin crystals yang dapat menyumbat filter bahan bakar sehingga menghambat aliran bahan bakar. Presipitasi paraffin ini akan mulai terjadi pada saat solar telah mencapai temperatur 0 °C. Oleh karena itu maka solar yang digunakan pada musim dingin harus diseleksi atau diperlakukan dengan hati - hati agar jangan sampai menimbulkan problem pada saat digunakan. Untuk

mengatasi hal ini umumnya pada pengilangan minyak ditambahkan bahan yang disebut “*flow improvers*”, yang akan membatasi pertumbuhan kristal yang terbentuk dari presipitasi parafin. Akhirnya kristal yang terbentuk hanya akan berukuran sangat kecil dan masih dapat melalui filter bahan bakar, cara ini akan dapat meningkatkan kemampuan penyaringan solar sampai  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Jika solar berada pada temperature rendah akan terjadi presipitasi paraffin yang dapat menyumbat filter bahan bakar dan menghambat aliran bahan bakar. Untuk mengatasi hal ini umumnya pada kilang minyak ditambahkan bahan yang disebut *flow improvers* yang membatasi pertumbuhan Kristal.

### 3) Titik Nyala (*Flash Point*)

Menurut Arismunandar (2008) “Titik nyala (*flash point*) adalah temperatur dan tekanan tertentu dimana bahan bakar akan membentuk uap dalam jumlah yang cukup yang akan bercampur dengan udara disekitarnya sehingga akan terbakar bila dekat dengan sumber penyalaaan. *Flash point* solar pada umumnya ialah berkisar  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ”.

Menurut pendapat ahli diatas penulis berkesimpulan bahwa titik nyala adalah titik dimana bahan bakar bisa terbakar ketika membentuk uap dan bercampur dengan udara di dekat titik penyalaaan.

### 4) Titik Didih (*Boiling Range*)

Arismunandar (2008) menjelaskan posisi titik didih suatu bahan bakar akan mempengaruhi sifat - sifat dari bahan bakar tersebut

sehingga hal ini perlu diperhatikan dalam penggunaan bahan bakar tersebut”. Bila suatu solar mempunyai titik didih yang rendah maka ia akan sesuai bila digunakan di daerah dengan iklim yang dingin, namun dilain pihak solar dengan titik didih yang rendah akan mempunyai angka cetane yang rendah. Bila suatu solar mempunyai titik didih yang tinggi maka hal ini akan meningkatkan proses terbentuknya jelaga pada proses pembakaran mengingat semakin sulitnya proses pembakaran solar tersebut dan dapat menyebabkan penyumbatan pada saluran injektor”.

Menurut pendapat ahli di atas dapat penulis kesimpulan titik didih yang rendah solar akan sesuai bila digunakan pada daerah dengan iklim dingin, namun solar dengan titik didih yang tinggi akan meningkatkan proses jelaga pada proses pembakaran dan dapat menyebabkan penyumbatan pada saluran injector.

##### **5) Kekentalan (*Viskositas*)**

Pada motor diesel bila digunakan solar dengan viskositas yang terlalu tinggi (terlalu kental) maka akan berpengaruh buruk pada penyaluran bahan bakarnya mengingat bahwa semakin besarnya hambatan untuk mengalir. Bila menggunakan solar yang terlalu rendah viskositasnya juga akan membawa pengaruh buruk, terutama karena berkurangnya kemampuan bahan bakar untuk fungsi pelumasan sehingga dapat menyebabkan keausan pada peralatan penginjeksian bahan bakar.

### **6) Kerapatan (*Density*)**

Kerapatan (*density*) dari solar akan mempengaruhi nilai kalor dari solar tersebut, dimana dengan semakin tinggi kerapatannya maka akan semakin tinggi pula nilai kalornya.

### **7) Kandungan Belerang (*Sulphur*)**

Umumnya solar mengandung belerang dalam komposisinya, jumlah kandungan belerang ini tergantung pada mutu minyak bumi yang digunakan sebagai bahan dasarnya. diinjeksikan oleh injektor ke ruang dari pompa injeksi.

### **8) Penggunaan Bahan Tambahan (*Additives*)**

Usaha untuk meningkatkan kualitas dari solar dengan penggunaan bahan tambahan (*additives*) telah banyak dilakukan sebagaimana juga dilakukan pada premium (bensin). Beberapa jenis *additives* yang ada beserta pengaruhnya antara lain:

- a) Bahan peningkat penyalan (*ignition improvers*) digunakan untuk meningkatkan angka cetana dan menghaluskan suara pembakaran dalam motor.
- b) Detergen digunakan untuk mencegah tersumbatnya nozzle.
- c) Penghambat korosi (*corrosion inhibitors*) digunakan untuk mencegah terkorosinya peralatan distribusi bahan bakar.

Konsentrasi dari *additives* yang digunakan sebaiknya adalah di bawah 0,1 % sehingga tidak mempengaruhi sifat – sifat fisik dari solar, misalnya : *density*, *viskositas* dan titik didih.

## 9) Nilai Kalor

### a) Kalor Pembakaran Atas (*High Heating Value*)

Kalor pembakaran atas merupakan panas yang dihasilkan pada pembakaran bahan bakar termasuk juga panas yang dipakai untuk menguapkan air (baik yang terjadi dari pembakaran itu sendiri maupun yang berasal dari uap bahan bakar itu). Nilai kalor pembakaran dari suatu bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{HHV} = 18650 + 40 (\text{°API} - 10) \text{ Btu/lb}$$

Dimana : HHV = Kalor pembakaran atas

°API = API gravity

### b) Kalor Pembakaran Bawah (*Low Heating Value*)

Kalor pembakaran bawah merupakan panas yang dihasilkan pada pembakaran bahan bakar tidak termasuk panas yang dipakai untuk menguapkan air (baik yang terjadi dari pembakaran itu sendiri maupun yang berasal dari uap bahan bakar itu). Nilai kalor pembakaran dari suatu bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{HHV} = 16610 + 40 (\text{°API} - 10) \text{ Btu/lb}$$

Dimana : HHV = Kalor pembakaran atas

°API = API gravity

### **3. Konsumsi Bahan Bakar**

#### **a. Pengertian Konsumsi Bahan Bakar**

Pulkrabek (2004: 65) menyebutkan “Untuk kendaraan transportasi umum konsumsi bahan bakar adalah dalam hal jarak tempuh per unit bahan bakar, seperti mil per galon ( mpg ). Dalam unit SI adalah umum menggunakan kebalikan dari ini, dengan (L/100km) menjadi suatu unit umum”.

Menurut pendapat ahli di atas dapat disimpulkan bahwa konsumsi bahan bakar yaitu jarak yang dapat ditempuh oleh mesin diesel dengan 1 liter bahan bakar solar atau banyaknya jumlah bahan bakar yang digunakan selama proses pembakaran dalam waktu tertentu.

#### **b. Faktor Faktor yang Mempengaruhi Konsumsi Bahan Bakar**

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pemakaian bahan bakar, yaitu :

##### **1) Putaran Mesin**

Marsudi (2010: 57) menyebutkan “untuk putaran stasioner, beban berat, percepatan tinggi, membutuhkan campuran kaya sedangkan untuk putaran mesin normal dan beban ringan maka dibutuhkan campuran miskin”. Konsumsi bahan bakar meningkat dengan kecepatan tinggi karena kerugian gesekan yang lebih besar. Pada kecepatan mesin rendah, semakin lama waktu per siklus memungkinkan kehilangan panas lebih banyak dan konsumsi bahan bakar naik (Pukrabek, 2004: 57).

Putaran mesin biasanya dinyatakan dalam satuan RPM (Rotasi Per Menit). Toyota step 2 (1972: 8-33) “Bila putaran mesin bertambah maka jumlah bahan bakar yang dipakai cenderung bertambah”.

## 2) Temperatur

Sunyoto (2008: 315) menyebutkan, “sebab mesin yang terlampau dingin akan mengakibatkan pemakaian bahan bakar menjadi boros”. Temperature yang terlalu tinggi menyebabkan pembakaran tidak sempurna. Karna pada saat akhir langkah kompresi campuran bahan bakar dan udara terbakar sendiri akibat titik nyala bahan bakar sudah tercapai.

### c. Perhitungan Nilai Konsumsi Bahan Bakar

Karakteristik unjuk kerja suatu motor bakar dinyatakan dalam beberapa parameter diantaranya adalah konsumsi bahan bakar. Konsumsi bahan bakar dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$F_c = \frac{V}{t} \cdot \text{bb} \cdot \dots \text{kg/jam} \dots \text{(H.N Gupta 2009: 504)}$$

Dimana:

$F_c$  = Jumlah pemakaian bahan bakar

$V$  = Volume bahan bakar yang dikonsumsi ( $\text{cm}^3$ )

$t$  = Waktu yang digunakan (detik)

$\text{bb}$  = Massa jenis bahan bakar (bensin  $0,7329 \text{ gr/cm}^3$ )

= Bilangan konversi

Kemudian konsumsi bahan bakar diubah kedalam *liter/jam*, dengan persamaan berikut:

$$m^{\circ}f = \frac{V_{bb} \text{ liter} / \text{jam}}{t}$$

Keterangan:

$m^{\circ}f$  = Konsumsi bahan bakar (*liter/jam*)

$V_{bb}$  = Jumlah bahan bakar yang digunakan ( $cm^3$ )

$t$  = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar (*detik*)

dimana:

$$1 \text{ cm}^3 = 10^{-3} \text{ liter}$$

$$1 \text{ dt} = 1/3600 \text{ jam}$$

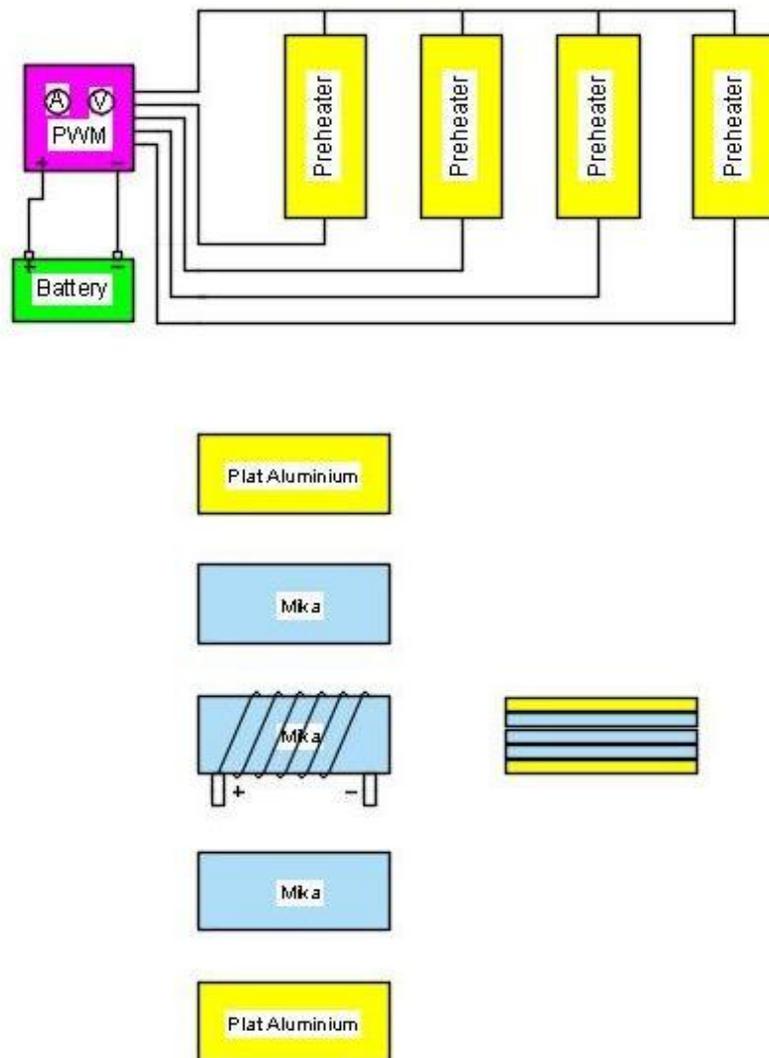
#### 4. Pengaruh Pemanasan / *preheater* Solar

Penelitian yang akan dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh–pengaruh yang dapat terjadi pada motor diesel bila dilakukan pemanasan terhadap solar sebelum diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Pengaruh – pengaruh yang akan diamati terutama terhadap efisiensi motor yang dihasilkan.

Dengan melakukan pemanasan terhadap solar maka akan menyebabkan perubahan pada sifat – sifat fisiknya, antara lain adalah *viskositas* dan *density*. Dimana dengan bertambahnya temperatur akan menurunkan densiti dan viskositas solar sehingga solar akan menjadi lebih encer. Diharapkan dengan penurunan viskositas ini akan menyebabkan solar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar dapat membentuk butiran – butiran yang lebih halus, sehingga campuran bahan

bakar dan udara akan lebih homogen dan proses pembakaran dalam ruang bakar akan lebih baik dan efisiensi mesin yang dihasilkan akan juga akan lebih baik. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pemanasan ini terhadap efisiensi mesin yang dihasilkan maka perlu dilakukan percobaan.

### 5. Rangkaian *preheater*



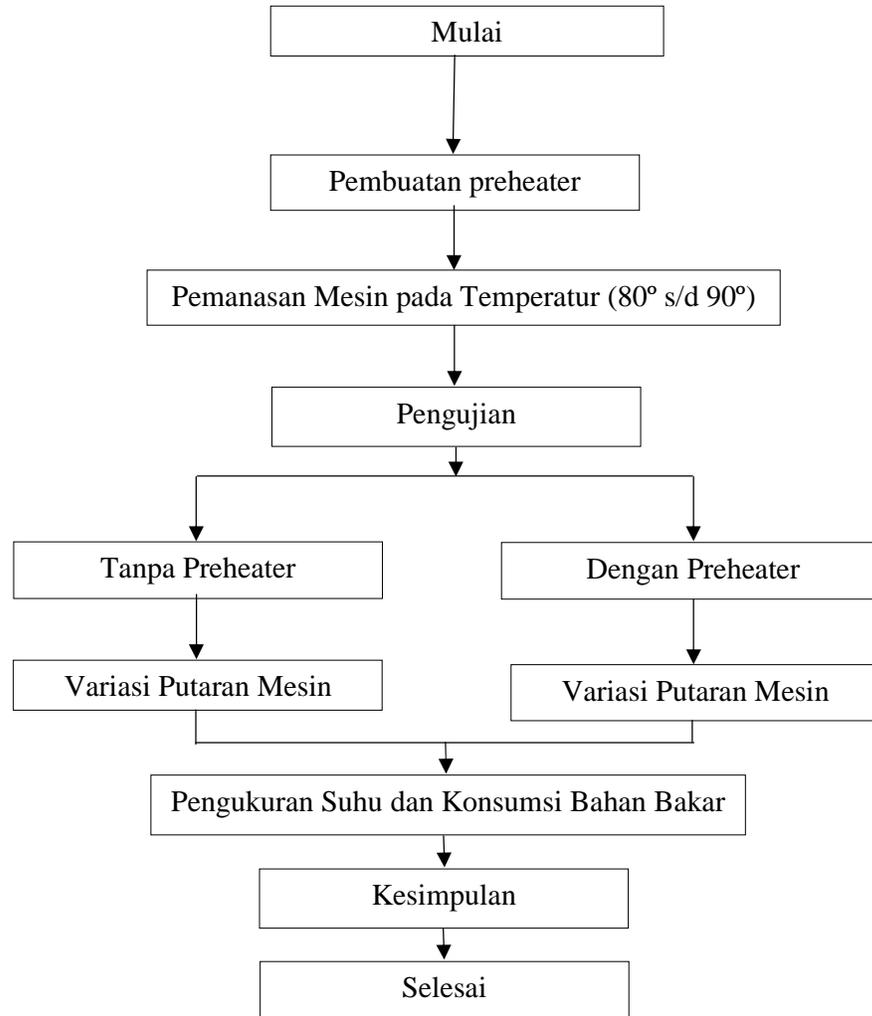
Gambar 4. Rangkaian *preheater*

## B. Penelitian yang Relevan

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

1. Sugiyarto. (2011). “Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Bensin melalui Media Pipa Tembaga di dalam *Upper Tank* Radiator terhadap Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) pada Mesin Daihatsu Taruna Tahun 2000”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Pemanasan Bahan Bakar Bensin melalui Media Pipa Tembaga di dalam *Upper Tank* Radiator mempengaruhi Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) pada Mesin Daihatsu Taruna Tahun 2000.
2. Mohlis, M. (2007) dengan penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Solar Melalui *Upper Tank* Radiator terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Kepekatan Asap Gas Buang pada Mesin Isuzu Panther”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Pemanasan Bahan Bakar Solar Melalui *Upper Tank* Radiator mempengaruhi Konsumsi Bahan Bakar dan Kepekatan Asap Gas Buang pada Mesin Isuzu Panther”. Pemanasan bahan bakar melalui upper tank radiator pada setiap tekanan injeksi nosel 100, 110, 120 kg/cm<sup>2</sup> dan putaran mesin 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 rpm terhadap konsumsi bahan bakar pada mesin Isuzu Panther. Konsumsi paling irit terjadi pada saluran pemanasan dengan panjang 1,35 m.

### C. Kerangka Konseptual



### D. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian dan kajian teori, hipotesis yang dapat dikemukakan dalam penelitian ini adalah: Terdapat Pengaruh pemanasan awal bahan bakar solar terhadap konsumsi bahan bakar motor diesel.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis data penelitian yang telah dibahas pada bagian sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan preheater pada Motor diesel setelah dianalisa, secara umum dapat menekan tingkat konsumsi bahan bakar. Pada putaran 650 RPM terjadi penurunan yang yaitu sebesar 3,07 L/jam. Pada putaran 2100 RPM terjadi penurunan sebesar 3,95 L/jam. Kemudian pada putaran 3100 RPM terjadi penurunan sebesar 12,28 L/jam.
2. Setelah dilakukannya analisa data secara keseluruhan dengan menggunakan uji *t*, maka diketahui bahwa hipotesis ( $H_a$ ) yang penulis ajukan positif terhadap konsumsi bahan bakar, yang mana dengan penggunaan *preheater* pada Motor diesel memberikan dampak yang signifikan terhadap konsumsi bahan bakar motor Diesel.

#### **B. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah lakukan, penulis menyarankan hal-hal sebagai berikut :

1. Penelitian ini masih terbatas hanya pada beberapa putaran mesin yang mewakili, sehingga pada penelitian lanjutan agar bisa dilakukan pada putaran yang lebih tinggi.

2. Sebaiknya dilakukan penelitian pada Motor yang baru dan kondisi mesinnya masih baik sehingga keakuratan hasil penelitian bisa semakin di tingkatkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Wiranto. (1988). *Penggerak Mula: Motor Bakar Torak*. Bandung: ITB.
- Daryanto. (2003). *Dasar-dasar Teknik Motor*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Daihatsu Motor. (1989). *F70, F75, F77 Engine Mechanical*. Daihatsu Motor Co Ltd
- H.J. Mukono. (2003). *Pencemaran Udara dan Pengaruhnya Terhadap Gangguan saluran Pernapasan*. Surabaya: Air Langga University Press.
- Mohlis, M. (2007) dengan penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Solar Melalui *Upper Tank* Radiator terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Kepekatan Asap Gas Buang pada Mesin Isuzu Panther
- Lipson, Charles, dkk. (1973). *Statistical Design And Analysis Of Engineering Experiments*. Tokyo: McGraw-Hill.
- Resuli Irawan Thalib. (2011). *Uji Produktivitas Generator Hidrogen dan Pemanfaatannya sebagai Fuek Booster Pada Motor Bakar Bensin*. Jakarta. Universitas Indonesia.
- Suharsimi. (2000). *Manajemen Penelitian*. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- \_\_\_\_\_ (2006). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Sugiyarto. (2011). “Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Bensin melalui Media Pipa Tembaga di dalam *Upper Tank* Radiator terhadap Emisi Gas Buang Karbon Monoksida (CO) pada Mesin Daihatsu Taruna Tahun 2000”
- Sunyoto. Karnowo. & S.M., Bondan Respati. (2008). *Teknik Mesin Industri Jilid 1 Untuk SMK*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Suliyono. Marsudi. (2010). *Pengaruh Penggunaan Turbo Cyclone Dan Busi Iridium terhadap Emisi Gas Buang Pada Motor Bensin 4 Tak*”. JTM (Vol 02 No. 02 tahun 2013). Hlm 1 – 9.