



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS TERHADAP  
KINERJA MESIN OTTO BERBAHAN BAKAR PERTAMAX**

**SKRIPSI**

**LUTHFIE AHMADDANI  
0706198663**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
DESEMBER 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS TERHADAP  
KINERJA MESIN OTTO BERBAHAN BAKAR PERTAMAX**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar menjadi  
Sarjana Teknik**

**LUTHFIE AHMADDANI**

**07 06 19 86 63**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
DESEMBER 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : LUTHFIE AHMADDANI**

**NPM : 0706198663**

**Tanda Tangan : .....**

**Tanggal : 22 Desember 2009**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Luthfie Ahmaddani  
NPM : 0706198663  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : **PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS  
TERHADAP KINERJA MESIN OTTO  
BEBAHAN BAKAR PERTAMAX**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : **Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng** (.....)

Penguji : **Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D** (.....)

Penguji : **Dr. Ir. Danardono AS, DEA. PE** (.....)

Penguji : **Dr. Agus Pamitraan, ST. M.Sc** (.....)

Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 22 Desember 2009

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

**Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto , M.Eng**

Selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.

Harapan penulis kiranya skripsi ini dapat memberikan pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah pada kita semua. Amin.

Depok, 22 Desember 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Luthfie Ahmaddani  
NPM : 0706198663  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**”PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS TERHADAP KINERJA MESIN  
OTTO BERBAHAN BAKAR PERTAMAX”**

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 22 Desember 2009

Yang menyatakan

( Luthfie Ahmaddani )

## ABSTRAK

Nama : Luthfie Ahmaddani  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : PENGARUH PENAMBAHAN KATALIS TERHADAP  
KINERJA MESIN OTTO BERBAHAN BAKAR  
PERTAMAX

Indikator kualitas dari motor pembakaran dalam adalah performa dan gas buang. Salah satu factor yang mempengaruhi kualitas adalah bahan bakarnya. Metode untuk menaikkan kualitas bahan bakar yaitu dengan menambahkan katalis ke dalamnya. Tujuannya adalah untuk mengikat molekul oksigen dengan mudah sehingga mendapatkan proses pembakaran yang lebih baik. Tujuan lain yaitu untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi yang baik untuk lingkungan. Penelitian ini menggunakan bensin (Pertamax) sebagai bahan bakar. Tipe katalis A dimasukkan kedalam tangki bahan bakar. Tipe katalis B diletakkan saluran bahan bakar antara karburator dan pompa bahan bakar. Pengujian juga menggunakan kombinasi keduanya. Hasil penelitian dari penggunaan kedua jenis katalis tersebut menunjukkan peningkatan Daya (BHP), efisiensi Thermal, dan pengurangan konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang

Kata Kunci :  
Pertamax, katalis bahan bakar, mesin Otto, performa mesin, gas buang

## ABSTRACT

Nama : Luthfie Ahmaddani  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul : THE CATALYST EFFECT ON OTTO ENGINE  
PERFORMANCE WITH PERTAMAX FUEL

The indicators quality of internal combustion engines are performance and exhaust gas condition. One of the factors is the quality of fuel that is used. The method to increase fuel quality is by added fuel with catalyst. The purpose is the fuels can bind oxygen easily and get the better combustion process. Other purposes are to decrease fuels consumption and good for the environment. This research use gasoline (Pertamax) as fuels. The type of catalyst is A that is input to fuel tank. The second type is B, which is passed by fuel and is located between carburetor and fuel pump. The experiments also use both of fuel catalyst combination. The result of experiments indicates that utilization both of catalyst combination can increase BHP average and thermal efficiencies. The results also show that decrease the specific fuel consumption and emission compare to gasoline result.

Keywords:

Pertamax, fuel catalyst, Otto engine, engine performance, exhausts gas

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL .....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	2
1.3. Pembatasan Masalah .....	3
1.4. Metodologi Penelitian .....	3
1.5. Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II DASAR TEORI.....</b>	<b>5</b>
2.1 Mesin Otto .....	5
2.2 Siklus Ideal .....	6
2.2.1 Siklus Ideal .....	6
2.2.2 Siklus Aktual .....	9
2.3 Parameter Kinerja Mesin.....	10
2.3.1 Laju Konsumsi Bahan Bakar (FC).....	10
2.3.2 Specific Fuel Consumption (SFC).....	10
2.3.3 Brake Horse Power (BHP).....	11
2.3.4 Effisiensi Termal.....	12
2.4 Bahan Bakar .....	13

2.4.1	Bahan Bakar Hidrokarbon .....	13
2.4.2	Bahan Bakar Minyak .....	13
2.4.3	Bilangan Oktan.....	14
2.4.4	RON, MON dan AKI.....	15
2.5	Emisi Gas Buang.....	16
2.5.1	Proses Pembakaran dalam Mesin Otto.....	16
2.5.2	Hidrokarbon (HC).....	19
2.5.3	Karbon Monoksida.....	20
2.5.4	Karbon Dioksida .....	21
2.5.5	Nitrogen Oksida .....	21
2.5.6	Oksigen .....	21
2.6	Cara Kerja Katalis.....	22
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>23</b>
3.1	Metodologi Penelitian .....	23
3.1.1	Tempat Pengujian .....	23
3.1.2	Variasi Pengujian .....	24
3.1.3	Skema Instalasi Pengujian .....	25
3.1.4	Teknik Pengumpulan Data.....	25
3.2	Prosedur Pengujian .....	26
3.2.1	Prosedur Menjalankan Motor Otto .....	26
3.2.2	Prosedur Pengukuran Motor Otto .....	26
3.2.3	Prosedur Menghentikan Motor Otto .....	27
3.2.4	Prosedur Menghidupkan Gas Analyzer .....	27
3.2.5	Prosedur Pengoperasian Gas Analyzer .....	28
3.2.6	Prosedur Mematikan Gas analyzer.....	28
3.3	Metodologi Pengolahan Data.....	28
3.3.1	Konsumsi Udara Masuk ( Gs ).....	29
3.3.2	Laju Konsumsi Bahan Bakar ( FC ).....	30
3.3.3	Laju Konsumsi Bahan Bakar Spesifik ( SFC ) .....	30
3.3.4	Laju Aliran Gas Buang ( Gg ).....	30
3.3.5	Air Fuel Ratio ( AFR ) .....	30

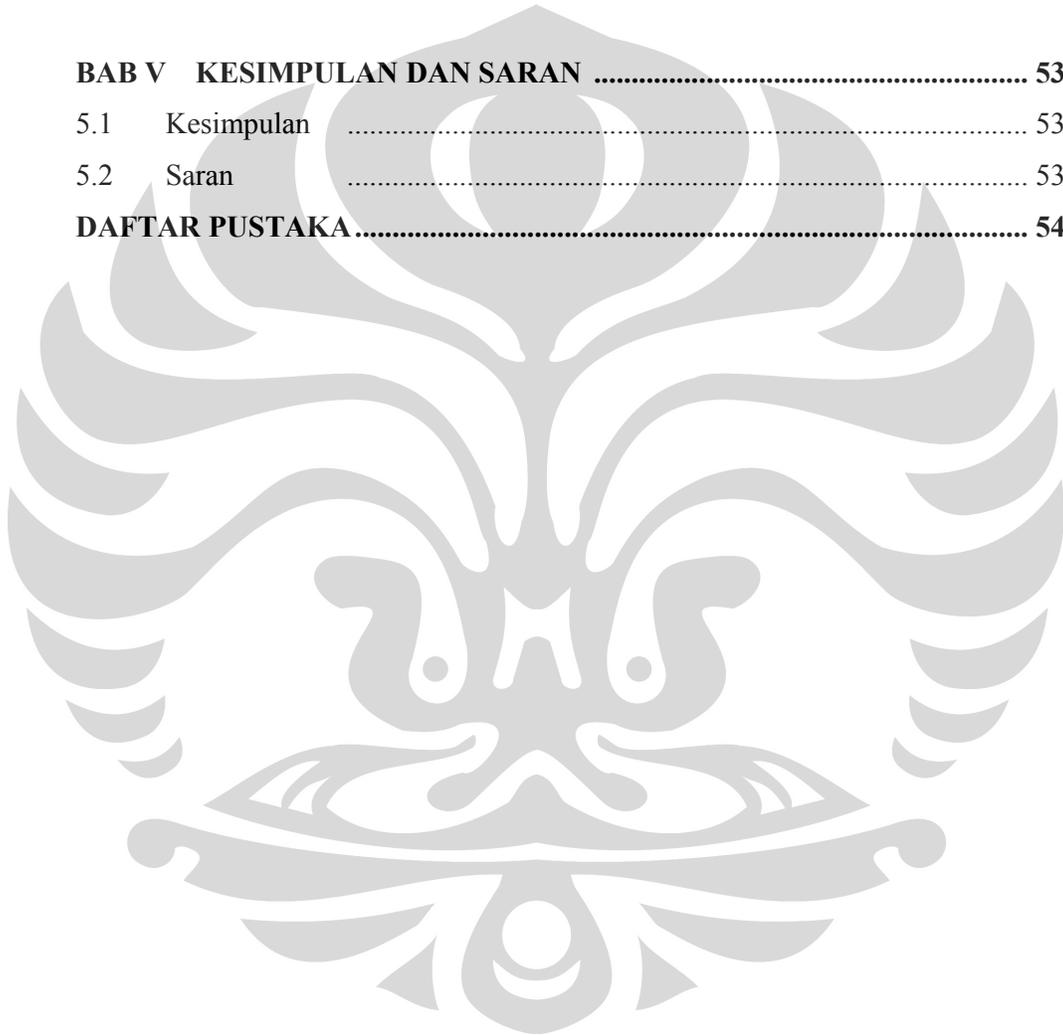
3.3.6	Excess Air Factor ( $\lambda$ ) .....	31
3.3.7	Daya ( BHP, Brake Horse Power ).....	31
3.3.8	Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ ).....	31
3.3.9	Metode Penggambaran Grafik .....	32

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 33**

4.1.	Analisa Bahan Bakar Pertamina Dengan Variasi Katalis Pada Putaran Tetap 1700 rpm .....	33
4.1.1.	Analisa Daya (BHP).....	33
4.1.2.	Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC).....	34
4.1.3.	Analisa Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ ) .....	34
4.1.4.	Analisa Kadar Emisi .....	35
4.1.4.1.	Analisa Kadar Hidrokarbon (HC) .....	35
4.1.4.2.	Analisa Kadar Karbon Monoksida (CO).....	35
4.2.	Analisa Bahan Bakar Pertamina Dengan Variasi Katalis Pada Bukaannya Throttle Tetap 20% .....	36
4.2.1.	Analisa Daya (BHP).....	36
4.2.2.	Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC).....	37
4.2.3.	Analisa Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ ) .....	37
4.2.4.	Analisa Kadar Emisi .....	38
4.2.4.1.	Analisa Kadar Hidrokarbon (HC) .....	38
4.2.4.2.	Analisa Kadar Karbon Monoksida (CO).....	38
4.3.	Analisa Perbandingan Bahan Bakar Pertamina Dengan Variasi Katalis Pada Putaran Tetap 1700 rpm.....	39
4.3.1.	Analisa Daya (BHP).....	39
4.3.2.	Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC).....	40
4.3.3.	Analisa Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ ) .....	42
4.3.4.	Analisa Kadar Emisi .....	43
4.3.4.1.	Analisa Kadar Hidrokarbon (HC) .....	43
4.3.4.2.	Analisa Kadar Karbon Monoksida (CO).....	44
4.4.	Analisa Perbandingan Bahan Bakar Pertamina Dengan Variasi Katalis Pada Bukaannya Throttle Tetap 20% .....	46

4.4.1. Analisa Daya (BHP).....	46
4.4.2. Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC).....	47
4.4.3. Analisa Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ ) .....	49
4.4.4. Analisa Kadar Emisi .....	50
4.4.4.1. Analisa Kadar Hidrokarbon (HC) .....	50
4.4.4.2. Analisa Kadar Karbon Monoksida (CO).....	51

<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>53</b>
5.1 Kesimpulan .....	53
5.2 Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>54</b>



## DAFTAR GAMBAR

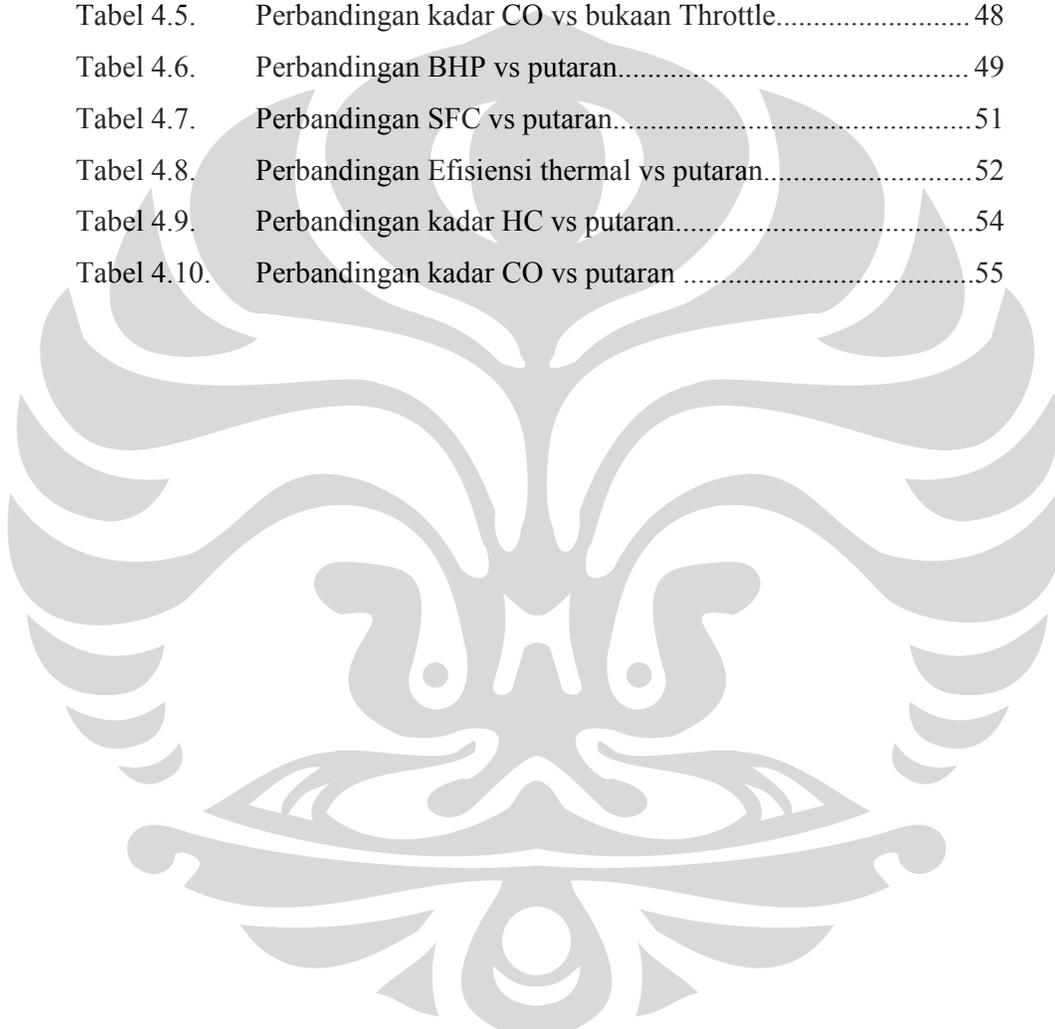
Gambar 1.1.	Katalis Jenis A.....	2
Gambar 1.2.	Katalis Jenis B.....	2
Gambar 2.1.	Siklus otto ideal.....	6
Gambar 2.2.	Langkah kerja pada motor Otto 4 langkah.....	9
Gambar 2.3.	Siklus otto aktual.....	9
Gambar 2.4.	Rantai karbon iso oktana.....	15
Gambar 2.5.	Komposisi hasil pembakaran motor bensin.....	17
Gambar 2.6.	Kadar polutan pembakaran motor bensin.....	18
Gambar 2.7.	Grafik kadar emisi terhadap komposisi udara.....	18
Gambar 2.8.	Campuran premium – udara dan gas buang.....	19
Gambar 3.1.	Skema instalasi pengujian motor otto.....	25
Gambar 4.1.	Daya terhadap bukaan throttle.....	34
Gambar 4.2.	SFC terhadap bukaan throttle.....	35
Gambar 4.3.	Efisiensi thermal terhadap bukaan throttle.....	35
Gambar 4.4.	Kadar hidrokarbon terhadap bukaan throttle.....	36
Gambar 4.5.	Kadar Karbon monoksida terhadap bukaan throttle.....	36
Gambar 4.6.	Daya terhadap putaran.....	37
Gambar 4.7.	SFC terhadap putaran.....	38
Gambar 4.8.	Efisiensi thermal terhadap putaran.....	38
Gambar 4.9.	Kadar hidrokarbon terhadap putaran.....	39
Gambar 4.10.	Kadar Karbon monoksida terhadap putaran.....	40
Gambar 4.11.	Perbandingan daya terhadap bukaan throttle.....	41
Gambar 4.12.	Perbandingan SFC terhadap bukaan throttle.....	42
Gambar 4.13.	Perbandingan Efisiensi thermal terhadap bukaan throttle....	43
Gambar 4.14.	Perbandingan Kadar hidrokarbon terhadap bukaan throttle..	45
Gambar 4.15.	Perbandingan Kadar Karbon monoksida terhadap bukaan throttle.....	47
Gambar 4.16.	Perbandingan Daya terhadap putaran.....	49
Gambar 4.17.	Perbandingan SFC terhadap putaran.....	50
Gambar 4.18.	Perbandingan Efisiensi thermal terhadap putaran.....	52

Gambar 4.19. Perbandingan Kadar hidrokarbon terhadap putaran..... 53  
Gambar 4.20. Perbandingan Kadar Karbon monoksida terhadap putaran... 54



## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Perbandingan BHP vs bukaan Throttle.....	41
Tabel 4.2.	Perbandingan SFC vs bukaan Throttle.....	43
Tabel 4.3.	Perbandingan Efisiensi thermal vs bukaan Throttle.....	44
Tabel 4.4.	Perbandingan kadar HC vs bukaan Throttle.....	46
Tabel 4.5.	Perbandingan kadar CO vs bukaan Throttle.....	48
Tabel 4.6.	Perbandingan BHP vs putaran.....	49
Tabel 4.7.	Perbandingan SFC vs putaran.....	51
Tabel 4.8.	Perbandingan Efisiensi thermal vs putaran.....	52
Tabel 4.9.	Perbandingan kadar HC vs putaran.....	54
Tabel 4.10.	Perbandingan kadar CO vs putaran .....	55



## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	JENIS KATALIS.....	55
LAMPIRAN 2	DATA PENGUJIAN.....	56
LAMPIRAN 3	HASIL PENGOLAHAN DATA.....	59
LAMPIRAN 4	ALAT UKUR UJI EMISI DAN CONTROL PANEL....	63
LAMPIRAN 5	SPESIFIKASI DAN KETERANGAN ALAT UJI.....	64



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Bertambahnya penggunaan kendaraan bermotor berbanding lurus dengan meningkatnya jumlah konsumsi bahan bakar. Pada mesin otomotif, bahan bakar merupakan salah satu syarat untuk menghasilkan proses pembakaran.

Berkaitan dengan proses pembakaran, kesempurnaan pembakaran di dalam motor bakar dipengaruhi oleh kualitas bahan bakar. Hal ini dapat dilihat dari performa mesin dan efisiensi pembakaran pada mesin. Konsumsi bahan bakar juga merupakan faktor yang penting, mengingat bahwa sifat bakar fosil yang terbatas dan jumlahnya yang terus berkurang. Selain itu, efek dari pembakaran yang tidak sempurna didalam ruang bakar pada mesin kendaraan, juga dapat mengakibatkan buruknya kualitas emisi yang dihasilkan oleh proses pembakaran tersebut. Emisi dihasilkan akibat adanya molekul bahan bakar yang tidak terbakar dan ikut terbuang bersama gas sisa pembakaran. Dengan menumpuknya emisi gas hasil pembakaran bahan bakar fosil dapat menyebabkan berbagai masalah pada lingkungan. Salah satu dampak negatif yang ditimbulkan adalah efek rumah kaca. Efek rumah kaca dapat menyebabkan naiknya temperatur global rata-rata, mencairnya es di kutub, perubahan cuaca yang tidak teratur, dan lain-lain.

Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat yang dapat membantu pembakaran sehingga jumlah molekul bahan bakar yang tidak terbakar dapat ditekan sekecil mungkin. Pada proses kimia, alat yang dibutuhkan untuk memperbaiki kualitas proses reaksi biasa disebut katalis.

Katalis pada bahan bakar dapat membuat jumlah molekul bahan bakar yang terbakar menjadi lebih banyak. Sehingga perbandingan antara bahan bakar dan udara lebih mendekati ke arah nilai yang ideal.

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan efek pemakaian katalis pada bahan bakar premium dengan beberapa variasinya. Katalis yang digunakan ada dua type, dicelupkan kedalam tangki bahan bakar dan dilewatkan oleh aliran bahan bakar.

Dengan perbandingan bahan bakar dan udara yang pas, diharapkan performa mesin, efisiensi dan emisi yang dihasilkan oleh proses pembakaran memiliki nilai yang lebih baik.

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan skripsi ini adalah sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Ekstensi di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Adapun tujuan khusus penelitian ini adalah untuk mengetahui :

1. Daya yang dihasilkan mesin otto dengan menggunakan Katalis tipe A dan tipe B berbahan bakar Pertamax.

Penggunaan katalis A dengan cara dicelupkan kedalam tangki bahan bakar dan untuk katalis B dengan cara dipasang pada saluran bahan bakar.



Gambar 1.1. Katalis jenis A



Gambar 1.2. Katalis jenis B

2. Pengaruh laju konsumsi bahan bakar spesifik dari tiap penggunaan katalis beserta kombinasi keduanya.
3. Pengaruh penggunaan katalis terhadap nilai efisiensi thermal
4. Pengaruh kadar emisi gas buang akibat penggunaan katalis A dan B

### 1.3 Pembatasan Masalah

Pada penelitian ini, pengujian dilakukan terhadap mesin otto dengan penambahan katalis A dan B. Efek dari penggunaan produk tersebut terhadap mesin otto dapat diketahui dengan melihat daya yang dihasilkan, perubahan laju konsumsi bahan bakar spesifik, nilai efisiensi thermal, dan emisi gas buang yang dihasilkan.

Adapun permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Penelitian menguji dan menganalisa katalis A dan B serta perpaduan keduanya pada mesin otto type J-16 (Nissan Motor Co, Ltd) 1567 cc.
2. Pengujian dan analisa hanya dilakukan pada mesin otto berbahan bakar Pertamina
3. Kinerja dari penggunaan katalis A dan B dan kombinasinya pada mesin otto dapat dilihat dari daya yang dihasilkan, laju konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi thermal dan kadar emisi gas buang yang dihasilkan.

### 1.4 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan rangkaian urutan kegiatan sebagai berikut:

- Memilih subjek penelitian.
- Melakukan studi literatur.
- Melakukan instalasi alat uji.
- Melakukan eksperimen pengujian prestasi mesin.
- Melakukan eksperimen pengujian gas buang.
- Mengumpulkan dan mengolah data-data yang diperoleh dalam bentuk grafik dan menganalisanya.
- Membuat kesimpulan.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini ditulis dengan sistematika sebagai berikut :

## BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan awal mengenai latar belakang masalah, tujuan penulisan, ruang lingkup permasalahan, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan skripsi.

## BAB II : DASAR TEORI

Pada bab ini akan dibahas mengenai teori-teori yang mendukung penulisan tugas akhir ini antara lain konsep motor pembakaran dalam empat langkah, proses pembakaran bahan bakar, parameter prestasi mesin, gas buang kendaraan bermotor, jenis katalis

## BAB III : METODOLOGI PENGUJIAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini menjelaskan alat pengujian, variasi pengujian, prosedur pengujian, metode pengambilan dan pengolahan data yang diperoleh selama pengujian.

## BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi pengolahan data hasil pengujian beserta analisa hasil pengolahan data tersebut. Keseluruhan data yang didapat akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik pendukung.

## BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari semua hasil pengujian dan analisa penulis beserta beberapa saran-saran yang diperlukan.

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Mesin Otto

Motor otto merupakan salah satu dari jenis motor pembakaran dalam. Motor ini menggunakan campuran bahan bakar dengan udara yang dikompres di ruang bakar sebelum terjadinya pembakaran. Selanjutnya, energi yang timbul dari proses pembakaran tersebut akan mendorong piston dan diteruskan ke poros untuk digunakan sebagai daya yang berguna.

Motor Otto juga dikenal sebagai motor premium dan dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. Motor premium 2 langkah (2 tak)
2. Motor premium 4 langkah (4 tak)

Motor bakar 2 langkah merupakan suatu motor pembakaran dalam yang membutuhkan dua kali gerakan piston pada tiap silindernya untuk mendapatkan satu kali pembakaran (menghasilkan power). Kedua gerakan tersebut adalah satu kali gerakan ke atas dan satu kali gerakan ke bawah atau satu kali putaran poros engkol (3600).

Langkah kerja motor 2 langkah meliputi:

1. Langkah naik (*upward stroke*)
2. Langkah turun (*down stroke*)

Mesin 4 langkah merupakan salah satu jenis motor pembakaran dalam dimana tiap silindernya membutuhkan empat kali gerakan piston untuk memperoleh satu kali pembakaran (Power). Gerakan tersebut adalah dua kali gerakan ke atas dan dua kali gerakan ke bawah atau dua kali putaran poros engkol (7200).

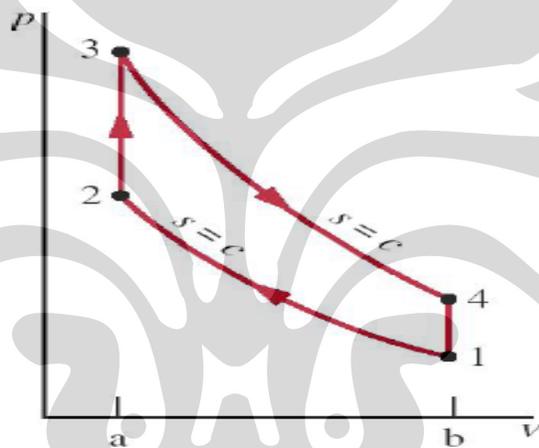
Langkah kerja motor 4 langkah ini adalah :

1. Langkah hisap (*intake stroke*)
2. Langkah tekan atau kompresi (*compression stroke*)
3. Langkah kerja (*power stroke*)
4. Langkah buang (*exhaust stroke*)

## 2.2 Siklus Ideal

### 2.2.1 Siklus Ideal

Pada umumnya mesin mobil dan sepeda motor mempergunakan mesin 4 langkah, dimana proses pembakaran terjadi pada setiap empat langkah gerakan piston atau dua kali putaran poros engkol. Dengan anggapan bahwa katup masuk dan katup keluar terbuka dan tertutup tepat pada saat piston berada pada titik mati atas (TMA) dan titik mati bawah (TMB). Piston bergerak di antara bagian atas dan bagian bawah silinder. Bagian atas silinder dinamakan titik mati atas dan bagian bawah disebut titik mati bawah. Panjang atau jarak gerak piston dari TMA hingga ke TMB disebut panjang langkah atau stroke.



Gambar 2.1. Siklus Otto Ideal

Keterangan gambar:

- a) 1 – 2 : Langkah kompresi
- b) 2 - 3 : Pemasukan kalor yang dilakukan pada volume konstan  
Secara ideal pemasukan kalor tidak memerlukan waktu. Namun pada kenyataannya proses pemasukan energy masih memerlukan waktu karena pembakaran sendiri masih perlu waktu untuk merambat
- c) 3 - 4 : Langkah kerja
- d) 4 - 1 : Pelepasan kalor pada volume konstan. Pada kenyataannya pelepasan kalor terjadi sepanjang waktu sepanjang langkah kerja.

Berikut akan dibahas proses pada tiap langkah piston pada kerja mesin empat langkah:

1. Langkah hisap (*intake stroke*).

Langkah ini dimulai ketika piston bergerak dari titik mati atas TMA menuju titik mati bawah TMB, pada saat itu katup isap membuka katup buang dalam keadaan tertutup. Melalui katup isap, campuran bahan bakar dan udara masuk ke dalam silinder. Katup akan menutup pada saat piston berada pada titik mati bawah TMB.

2. Langkah tekan atau kompresi (*compression stroke*).

Setelah mencapai TMB piston bergerak kembali menuju TMA, Campuran bahan bakar yang terisap tadi kini terkurung di dalam silinder dan dimampatkan oleh piston yang bergerak menuju TMA. Volume campuran bahan bakar dan udara tersebut menjadi kecil sehingga temperatur dan tekanannya menjadi naik dan mengakibatkan campuran tersebut mudah terbakar. Beberapa saat sebelum piston mencapai TMA, gas yang telah mencapai tekanan optimum tersebut dibakar oleh bunga api yang berasal dari busi. Sementara itu piston masih bergerak menuju TMA berarti volume ruang bakar menjadi semakin kecil sehingga tekanan dan temperature gas dalam silinder menjadi semakin tinggi.

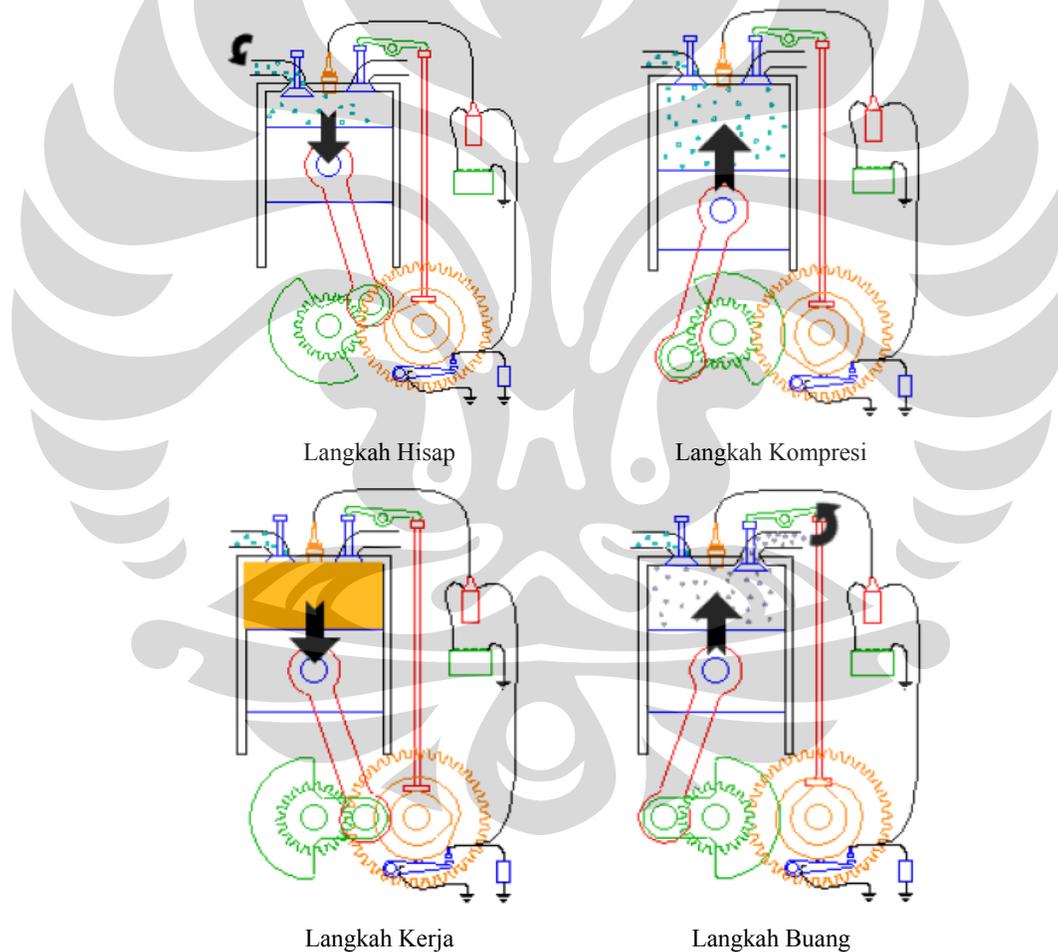
3. Langkah kerja (*power stroke*).

Gas yang merupakan hasil pembakaran yang terjadi memiliki tekanan dan suhu yang tinggi akan mengembang dan mendorong piston ke bawah, sehingga dengan tenaga yang sangat kuat, piston ditekan dan dipaksa kembali hingga TMB. Pada langkah ini, katup masuk dan katup buang tertutup. Pada saat ini, pertama kali tenaga panas diubah menjadi tenaga mekanis (tenaga mesin). Tenaga ini kemudian disalurkan melalui batang piston (*connecting rod*) dan oleh poros engkol (*crankshaft*) diubah menjadi tenaga putar.

#### 4. Langkah buang (*exhaust stroke*)

Saat piston telah mencapai TMB katup buang mulai terbuka sedangkan katup isap tetap dalam keadaan tertutup. Piston bergerak kembali menuju TMA mendesak gas pembakaran keluar dari dalam silinder melalui katup buang. Langkah tersebut merupakan langkah terakhir dari siklus kerja motor 4 langkah. Dengan terbuangnya gas sisa hasil pembakaran ke udara bebas, maka kerja dari motor 4 langkah telah selesai untuk satu siklus kerja.

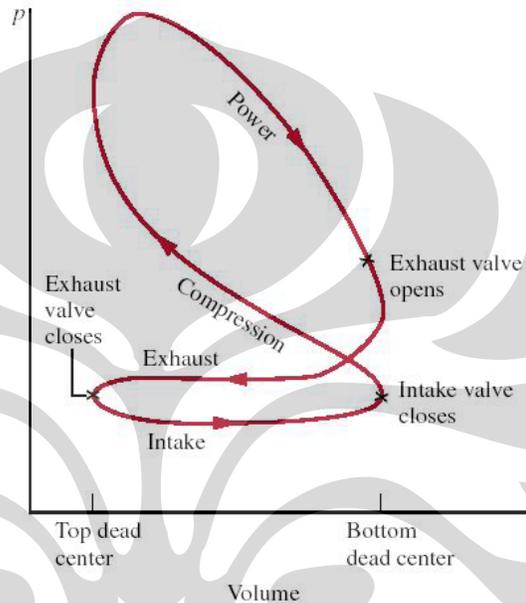
Dengan terbuangnya gas sisa hasil pembakaran ke udara bebas, maka kerja dari motor 4 langkah telah selesai untuk satu siklus kerja. Berikut adalah gambar dari langkah kerja pada motor 4 langkah:



Gambar 2.2. Langkah Kerja pada Motor 4 Langkah

### 2.2.2 Siklus Aktual

Pada kenyataannya, motor otto tidak bekerja 100% seperti yang digambarkan pada gambar di atas. Pada proses sebenarnya, akan terjadi *loss* akibat dari banyak faktor. Faktor *loss* tekanan, *loss* volume dan lain-lain. Dengan memasukan parameter-parameter *loss* tersebut tadi, maka siklus ideal dari motor Otto akan menjadi seperti berikut:



Gambar 2.3. Siklus Otto Aktual

Dari gambar 2.3 dapat kita lihat sebagai berikut:

- Proses pemasukan energi dimulai sebelum titik mati atas (TMA) sampai beberapa saat setelah TMA.
- Proses pelepasan kalor sudah dimulai sebelum piston sebelum mencapai titik mati bawah (TMB).
- Katup buang terbuka beberapa saat sebelum piston mencapai TMB. Gas buang dilepas ke lingkungan pada tekanan yang masih lebih tinggi dari tekanan lingkungan

Pada siklus sebenarnya banyak hal yang membuat berbeda dengan siklus Otto yang ideal. Misalnya penyekatan ruang bakar yang tidak sempurna dan pelepasan kalor ke lingkungan yang terjadi sejak awal proses pembakaran.

### 2.3 Parameter Kinerja Mesin

Beberapa parameter yang dicatat selama pengujian unjuk kerja mesin digunakan sebagai data mentah yang kemudian diolah menjadi data hasil pengujian. Dari data hasil pengujian akan terlihat ada tidaknya peningkatan atau penurunan performa mesin yang diuji dengan menggunakan bahan bakar Pertamina Plus<sup>®</sup> dan campurannya dengan aditif dan katalis. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan dengan parameter Daya, Specific fuel consumption, Efisiensi Thermal dan komposisi gas buangnya. Hasil akhir dari pengujian bahan bakar dengan zat aditif sebagai campurannya variasi komposisi yang didapat akan dibandingkan sebagai pembandingan dan direpresentasikan ke dalam bentuk grafik. Berikut ini akan diuraikan metode perhitungannya, sedangkan tabel data mentah serta tabel hasil perhitungan akan disertakan pada lampiran.

#### 2.3.1 Laju Konsumsi Bahan Bakar (FC)

Konsumsi bahan bakar per satuan waktu ( *FC* ) dapat ditentukan melalui persamaan berikut :

$$FC = \frac{3600 \times V_g}{t} \quad [\text{Liter/Jam}] \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana : *FC* = Konsumsi bahan bakar [liter/jam]

*V<sub>g</sub>* = Volume bahan bakar yang dipergunakan [liter]

*T* = Waktu yang dibutuhkan [detik]

#### 2.3.2 Specific Fuel Consumption (SFC)

*Specific Fuel Consumption* (SFC) merupakan parameter yang biasa digunakan pada motor pembakaran dalam untuk menggambarkan pemakaian bahan bakar. *Specific Fuel Consumption* didefinisikan sebagai perbandingan antara laju aliran massa bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan. Dapat pula dikatakan bahwa *Specific Fuel Consumption* (SFC) menyatakan seberapa efisien bahan bakar yang disuplai ke mesin dapat dijadikan daya output.

Nilai SFC yang rendah mengindikasikan pemakaian bahan bakar yang irit, oleh sebab itu, nilai SFC yang rendah sangat diinginkan untuk mencapai efisiensi

bahan bakar. Persamaan untuk menghitung Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) adalah sebagai berikut :

$$SFC = \frac{FC}{BHP} \quad [\text{Liter/Kwh}] \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

### 2.3.3 Brake Horse Power (BHP)

*Brake Horse Power*, merupakan daya yang diukur dan diukur pada poros mesin. Daya ini merupakan daya yang dihasilkan mesin kepada beban-beban (inersia mobil, gesekan udara, dll.). Nilai dari *Brake Horse Power* lebih sedikit daripada daya yang dibangkitkan oleh gas pembakaran didalam silinder. Hal ini dikarenakan terjadinya gesekan mekanik dan beban-beban tambahan, seperti pompa oli.

Salah satu cara untuk mengukur *Brake Horse Power* adalah dengan meletakkan suatu alat ukur pada poros mesin. Alat yang digunakan adalah elektrik dinamometer. Dinamometer yang berfungsi untuk mengukur torsi ( $T$ ) yang dihasilkan oleh mesin pada putaran tertentu. Torsi merupakan besaran yang menyatakan kemampuan mesin untuk melakukan kerja, sedangkan Daya adalah nilai dimana kerja dapat dilakukan.

Besarnya BHP dapat ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$BHP = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot T}{1000 \cdot 60} \quad [\text{Kw}] \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

$$T = W \cdot g \cdot L \quad [\text{Nm}]$$

$$T = \text{Torsi} \quad [\text{N/m}]$$

$$W = \text{Beban pada dinamometer} \quad [\text{kgf}]$$

$$G = \text{Gaya gravitasi} = 9.81 \quad [\text{m/s}^2]$$

$$L = \text{Panjang lengan torsi} \quad [\text{m}]$$

$$N = \text{Putaran mesin} \quad [\text{rpm}]$$

### 2.3.4 Efisiensi Termal

Sumber energi untuk menggerakkan mesin adalah energi kimia yang tersimpan didalam bahan bakar. Fakta yang terjadi adalah piston, bagian mesin yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia menjadi tenaga, bekerja tidak terlalu efisien untuk mengubah seluruh energi kimia menjadi tenaga (energy mekanik). Lebih kurang sepertiga dari energi bahan bakar tersebut dikeluarkan melalui pipa pembuangan sebagai panas yang hilang, sepertiga lagi hilang ke sistem pendinginan mesin (radiator) dan hanya menyisakan lebih kurang sepertiga untuk digunakan sebagai pembangkit tenaga mesin.

Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ ) menunjukkan seberapa banyak daya yang dihasilkan oleh sejumlah laju panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar. Laju pelepasan panas sendiri merupakan hasil dari laju aliran bahan bakar dan nilai pembakaran bahan bakar. Sehingga untuk meningkatkan efisiensi thermal, daya output mesin dapat ditambah dengan cara meningkatkan laju aliran bahan bakar atau dengan menggunakan bahan bakar dengan nilai pembakaran yang tinggi. Efisiensi thermal dari motor Otto menyatakan besarnya efektifitas energy bahan bakar yang disuplai ke ruang bakar dalam menghasilkan kerja.

Efisiensi thermal dapat ditentukan melalui persamaan berikut :

$$\eta_{th} = \frac{BHP}{Q_f} \times 100\% \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :  $Q = H \times FC \times \rho$

BHP = Brake Horse Power

H = Nilai kalor bawah, LHV [kJ/kg]

$\rho$  = Massa jenis bahan bakar [kg/liter]

FC = Fuel consumption [liter/detik]

## 2.4 Bahan Bakar

### 2.4.1 Bahan Bakar Hidrokarbon

Alasan utama mengapa bahan bakar digolongkan sebagai bahan bakar hidrokarbon disebabkan karena komponen utama yang menyusunnya didominasi oleh unsur Hidrogen dan Karbon.

Hidrokarbon merupakan komponen utama dari pembentukan minyak bumi, senyawa hidrokarbon sebagai pembentuk utama dari minyak bumi dapat digolongkan dalam beberapa hal yaitu:

1. Parafin.

Parafin merupakan senyawa hidrokarbon jenuh yang mempunyai rumusan umum  $C_nH_{2n+2}$ . Minyak mentah yang disusun dari golongan parafin disebut parafin *base crude*.

2. Naphtenik atau siklo paraffin.

Naphtenik adalah senyawa hidrokarbon jenuh yang mempunyai sifat siklik, yang mempunyai rumusan umum  $C_nH_{2n}$ . Minyak mentah yang disusun dari golongan naphta disebut naphtenik *base crude*.

3. Aromatik.

Golongan aromatik merupakan senyawa hidrokarbon tidak jenuh yang tertutup, yang mempunyai rumusan umum  $C_nH_{2n-6}$ . sedangkan minyak mentah yang tersusun dari golongan aromatik disebut aromatik *base crude*.

2.4.2 Bahan Bakar Minyak

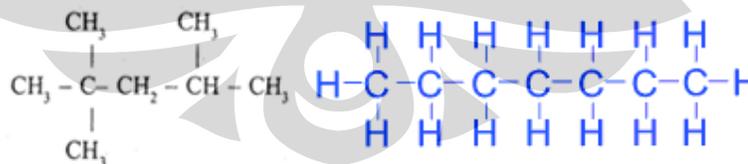
BBM terdiri dari berbagai jenis hidrokarbon yang berasal dari minyak bumi, dan sering pula terdiri dari campuran-campuran lain. Sifat mudah menguap di dalam mesin menentukan jenis hidrokarbon dan campuran yang digunakan pada BBM. Sifat mudah menguap tersebut disebut dengan *volatilitas*. Karena minyak bumi mentah mempunyai kadar volatilitas yang lebih rendah dan tinggi dari BBM, maka BBM harus dipisahkan dari minyak bumi mentah melalui proses destilasi, namun karena dengan proses tersebut jumlah BBM yang diperoleh sangat sedikit maka minyak bumi mentah harus melalui proses penyulingan yang lebih kompleks. Penyulingan minyak bumi mentah tersebut akan mengubah kadar volatilitas hidrokarbon yang lebih rendah atau lebih tinggi dari BBM menjadi sama dengan BBM. Bahan bakar premium memiliki sifat-sifat utama yang berbeda dengan bahan bakar lain. Sifat yang dimiliki oleh premium diantaranya :

1. Mudah menguap pada temperatur normal.
2. Tidak berwarna, tembus pandang dan berbau.
3. Mempunyai titik nyala rendah (-10 sampai 15°C).
4. Bermassa jenis rendah (0,60 – 0,78 kg/liter).
5. Dapat melarutkan oli dan karet.
6. Menghasilkan panas besar (39774,59 – 46054,79 kJ/kg).
7. Sedikit meninggalkan karbon setelah dibakar.

### 2.4.3 Bilangan Oktan

Bahan bakar diklasifikasikan berdasarkan mutu antiketuknya atau angka oktannya. Skala oktan yang dijadikan standar diseluruh dunia pertama kali dikembangkan pada tahun 1962 oleh Graham Edgar. Untuk angka 0 (nol) pada skala tersebut, Edgar memilih hidrokarbon rantai lurus n-Heptana (gambar 2.4) yang terbakar dengan *knocking* yang cukup kuat. Sedangkan untuk skala 100, Edgar memilih hidrokarbon rantai panjang 2,2,4 trimetilpentana jenuh iso-oktan (gambar 2.4) yang dapat menghindari timbulnya *knocking*.

Jadi pengertian dari angka oktan suatu bahan bakar adalah bilangan yang menyatakan berapa persen volume iso-oktana dalam campuran yang terdiri dari iso-oktana dan normal-heptana. Contoh sederhana adalah Premium dengan angka oktan 88, yang berarti campuran volume iso-oktana sebanyak 88% dan 12% volume normal-heptana. Bahan bakar yang baik haruslah memiliki angka oktan yang tinggi pada seluruh daerah destilasinya untuk mencegah terjadinya *knocking*.



Gambar 2.4. Rantai Karbon Iso Oktana dan Hepatana

Namun dalam perkembangannya bukan hanya oktana dan heptana saja yang menjadi campuran bahan bakar motor bensin. Terdapat senyawa-senyawa lainnya yang termasuk dalam campuran bahan bakar motor bensin. Jadi nilai

oktana bukan lagi presenasi komposisi campuran heptana dengan iso-oktana dari bahan bakar bensin, melainkan merupakan nilai prestasi bahan bakar motor bensin atas ketahanannya terhadap peristiwa *knocking*. Sedangkan prestasi campuran iso-oktana dengan heptana sendiri merupakan acuan saat kita akan mengukur kualitas bahan bakar motor bensin.

Untuk mendapatkan mendapatkan bensin dengan angka oktan yang cukup tinggi, dapat dilakukan dengan cara – cara sebagai berikut:

- b) Memilih minyak bumi yang mempunyai kandungan aromatik tinggi, dalam trayek didih bensin.
- c) Meningkatkan kandungan aromatik melalui pengolahan reformasi, atau alkana bercabang, atau olefin bertitik didih rendah.
- d) Menambah aditif peningkat angka oktan seperti timbal alkil, biasanya timbal tetra etil (TEL) dan timbal tetra metil (TML) dan aditif oksigenat.
- e) Menggunakan komponen berangka oktan tinggi sebagai ramuan, misalnya alcohol atau eter.

Angka oktan tidak bertujuan menambah kandungan energi bensin, melainkan untuk memanfaatkan semaksimal mungkin energi yang dapat diperoleh pada proses pembakaran dan melindungi mesin terhadap kerusakan akibat detonasi. Premium yang dinaikkan oktannya tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai kalornya

#### 2.4.4 RON, MON dan AKI

Dalam menentukan standar referensi bahan bakar, saat ini ada dua macam angka oktan yang umum digunakan, yaitu angka oktan riset atau *Research Octane Number* (RON) yang memberikan gambaran mengenai unjuk kerja dalam kondisi pengendalian normal dan angka oktan motor atau *Motor Octane Number* (MON) yang memberikan gambaran mengenai unjuk kerja dalam kondisi pengendalian yang lebih berat, kecepatan tinggi atau kondisi beban tinggi. Kecenderungan bahan bakar untuk mengalami ketukan bergantung pada struktur kimia hidrokarbon yang menjadi penyusun premium. Pada umumnya, hidrokarbon aromatik, olefin dan isoparafin mempunyai sifat antiketuk yang relatif baik,

sedangkan n – paraffin mempunyai angka oktan yang kurang baik, kecuali yang berat molekulnya rendah.

Angka oktan pada dunia otomotif ditentukan dari pengujian pada mesin dengan silinder tunggal dengan rasio kompresi yang bervariasi (4:1 s/d 18:1) yang dikenal sebagai *Cooperative Fuels Research (CFR) engine*, di mana bahan bakar dibandingkan dengan bahan bakar rujukan yang terbuat dari n – heptana ( angka oktan 0) dan iso-oktana (angka oktan 100).

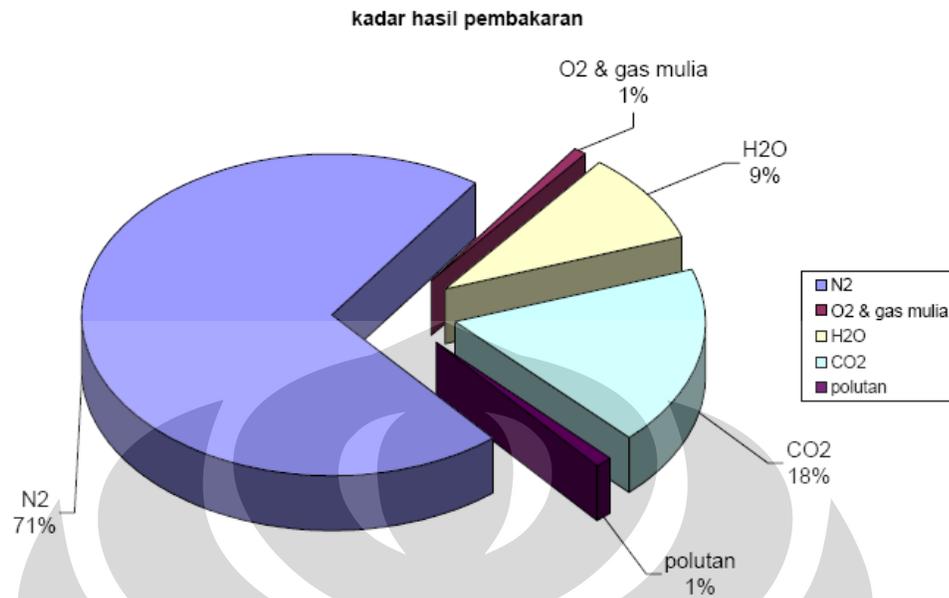
Eropa dan Indonesia menggunakan RON, sedangkan di Negara lain seperti Amerika digunakan Anti Knock Index (AKI). AKI adalah nilai rata-rata dari RON dan MON  $\left( \frac{RON + MON}{2} \right)$

## 2.5 Emisi Gas Buang

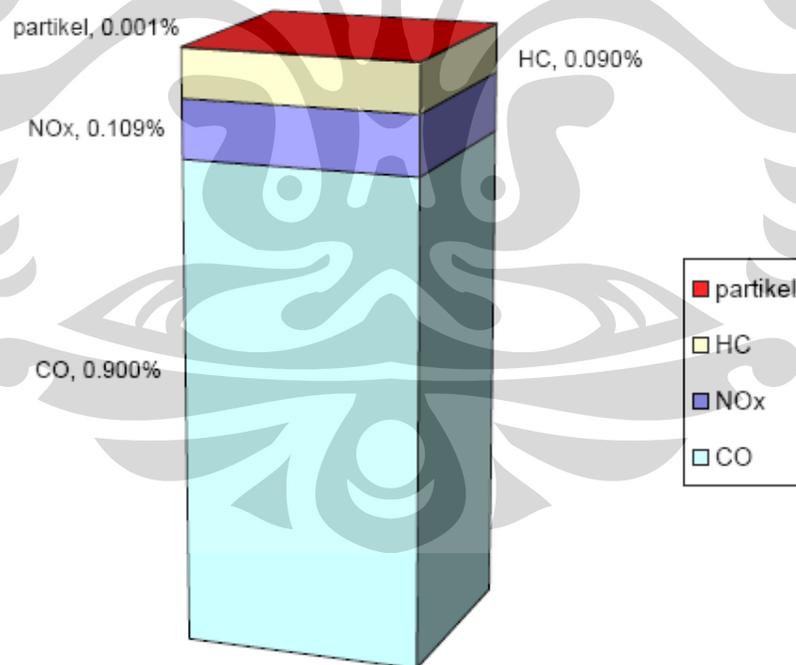
Dalam mendukung usaha pelestarian lingkungan hidup, negara-negara di dunia mulai menyadari bahwa gas buang kendaraan merupakan salah satu polutan atau sumber pencemaran udara terbesar oleh karena itu, gas buang kendaraan harus dibuat sebersih mungkin agar tidak mencemari udara. Pada negara-negara yang memiliki standar emisi gas buang kendaraan yang ketat, ada 5 unsur dalam gas buang kendaraan yang akan diukur yaitu senyawa HC, CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> dan senyawa NO<sub>x</sub>. Sedangkan pada negara-negara yang standar emisinya tidak terlalu ketat, hanya mengukur 4 unsur dalam gas buang yaitu senyawa HC, CO, CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>.

### 2.5.1 Proses Pembakaran dalam Mesin Otto

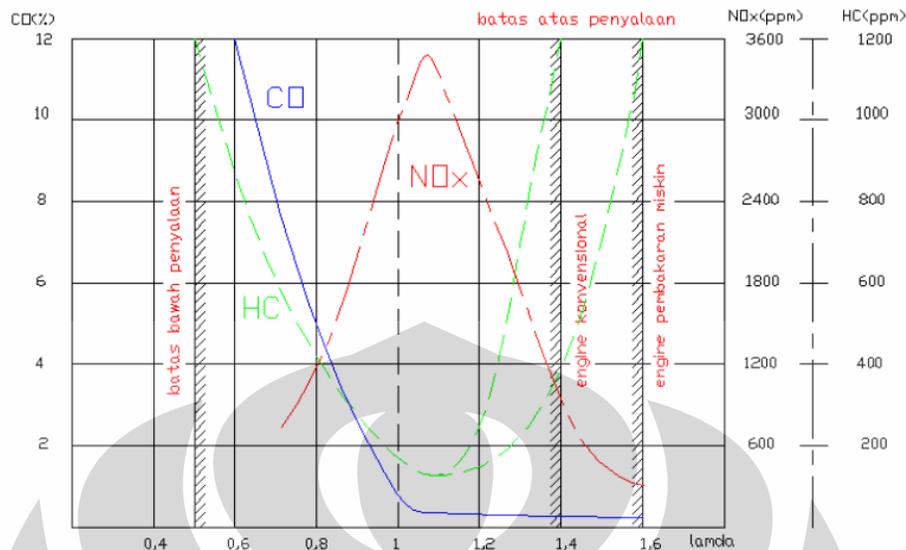
Pada proses pembakaran, selain menghasilkan karbondioksida, air dan energi ada beberapa senyawa yang dihasilkan juga. Diantaranya Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC) dan Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>). Pola pembentukan emisi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.5. Komposisi Hasil Pembakaran Motor Bensin

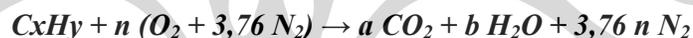


Gambar 2.6. Kadar Polutan Pembakaran Motor Bensin

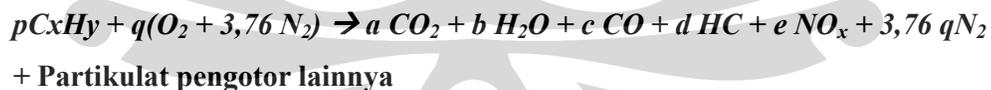


Gambar 2.7. Grafik kadar emisi terhadap komposisi udara

Pada proses pembakaran sempurna, hasil pembakaran yang terbentuk adalah  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Proses pembakaran sempurna dapat dinyatakan dalam reaksi berikut :



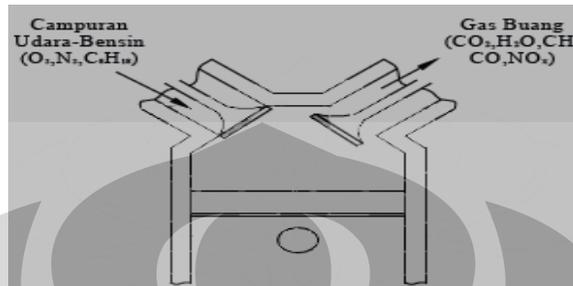
Komposisi dari gas buang tersebut, dapat kita lihat pada gambar di atas. Sedangkan proses pembakaran tidak sempurna menghasilkan gas buang berupa CO,  $\text{NO}_x$ , HC dan partikulat pengotor lainnya. Proses pembakaran tidak sempurna dapat dituliskan dalam reaksi sebagai berikut :



HC merupakan sisa bahan bakar yang tidak ikut terbakar. CO terbentuk akibat kurangnya kadar  $\text{O}_2$  dalam proses pembakaran, sehingga yang terbentuk bukanlah  $\text{CO}_2$  melainkan CO karena HC yang ada berikatan dengan  $\text{O}_2$ .  $\text{NO}_x$  terbentuk pada temperatur tinggi di saat campuran udara dengan bahan bakar berlebihan. Proses pembakaran mesin premium tidak terjadi dengan sempurna karena banyak alasan, diantaranya:

1. Waktu pembakaran singkat.
2. Overlapping katup.

3. Udara yang masuk tidak murni hanya oksigen.
4. Bahan bakar yang masuk tidak murni  $C_8H_{18}$ .
5. Kompresi tidak terjamin rapat semua.



Gambar 2.8. Campuran premium-udara dan gas buang

### 2.5.2 Hidrokarbon (HC)

Bensin adalah senyawa hidrokarbon, jadi setiap HC yang didapat di gas buang kendaraan menunjukkan adanya bensin yang tidak terbakar dan terbuang bersama sisa pembakaran. Apabila suatu senyawa hidrokarbon terbakar sempurna (bereaksi dengan oksigen) maka hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida ( $CO_2$ ) dan air ( $H_2O$ ). Proses pembakaran sempurna dapat dinyatakan dalam reaksi berikut :



Walaupun rasio perbandingan antara udara dan bensin (AFR=Air-to-Fuel-Ratio) sudah tepat dan didukung oleh desain ruang bakar mesin saat ini yang sudah mendekati ideal, tetapi tetap saja sebagian dari bensin seolah-olah tetap dapat bersembunyi dari api saat terjadi proses pembakaran dan menyebabkan emisi HC pada ujung knalpot cukup tinggi. Sumber emisi HC dapat dibagi menjadi dua bagian, sebagai berikut :

1. Bahan bakar yang tidak terbakar dan keluar menjadi gas mentah.
2. Bahan bakar terpecah karena reaksi panas berubah menjadi gugusan HC lain yang keluar bersama gas buang.



Sebab utama timbulnya HC adalah sebagai berikut :

1. Sekitar dinding ruang bakar bertemperatur rendah, dimana temperatur itu tidak mampu melakukan pembakaran.
2. Missing (*miss fire*) atau jumlah AFR tidak tepat.
3. Adanya *overlapping* katup (*kedua* katup sama-sama terbuka)

### 2.5.3 Karbon Monoksida

Karbon Monoksida (CO) merupakan gas yang beracun, tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, dan cenderung bereaksi dengan unsur lain. CO adalah gas yang tidak berwarna, juga tidak ada rasa maupun bau. Meskipun tidak langsung merusak paru-paru, tapi bila terhirup dan masuk kedalam aliran darah, akan terikat secara kimia dengan *hemoglobin* dalam sel-sel darah merah membentuk *carboxyhemoglobin*. Terikatnya *hemoglobin* oleh CO akan melumpuhkan kemampuannya untuk mengangkut oksigen ke otak, jantung dan organ tubuh yang lain karena CO mengikat *hemoglobin* 220 kali lebih kuat dari O<sub>2</sub> (oksigen).

Karbon Monoksida merupakan produk terbanyak yang dihasilkan dari suatu pembakaran yang tidak sempurna. Bila karbon di dalam bahan bakar terbakar dengan sempurna, akan terjadi reaksi yang menghasilkan CO<sub>2</sub> sebagai berikut :



Apabila unsur oksigen (udara) tidak cukup, maka pembakaran tidak sempurna sehingga karbon di dalam bahan bakar terbakar dalam suatu proses sebagai berikut :  $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$

Dengan kata lain, emisi CO dari kendaraan banyak dipengaruhi oleh perbandingan campuran antara udara dengan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar (AFR). AFR terlalu kaya bisa disebabkan antara lain karena masalah di *fuel injection system* seperti *fuel pressure* yang terlalu tinggi, sensor suhu mesin yang tidak normal, air filter yang kotor, karburator yang kotor atau setelahnya yang tidak tepat. Jadi untuk mengurangi CO, perbandingan campuran ini harus dibuat kurus (*excess air*).

#### 2.5.4 Karbon Dioksida

Konsentrasi CO<sub>2</sub> menunjukkan secara langsung status proses pembakaran di ruang bakar. Semakin tinggi maka semakin baik. Saat AFR berada di angka ideal, emisi CO<sub>2</sub> berkisar antara 12% sampai 15%. Apabila AFR terlalu kurus atau terlalu kaya, maka emisi CO<sub>2</sub> akan turun secara drastis. Apabila CO<sub>2</sub> berada dibawah 12%, maka kita harus melihat emisi lainnya yang menunjukkan apakah AFR terlalu kaya atau terlalu kurus.

#### 2.5.5 Nitrogen Oksida

Senyawa NO<sub>x</sub> adalah ikatan kimia antara unsur nitrogen dan oksigen. Dalam kondisi normal atmosphere, nitrogen adalah gas inert yang amat stabil yang tidak akan berikatan dengan unsur lain. Jika terdapat unsur N<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> pada temperatur 1800°C s/d 2000°C, akan terjadi reaksi pembentukan gas NO seperti berikut ini :

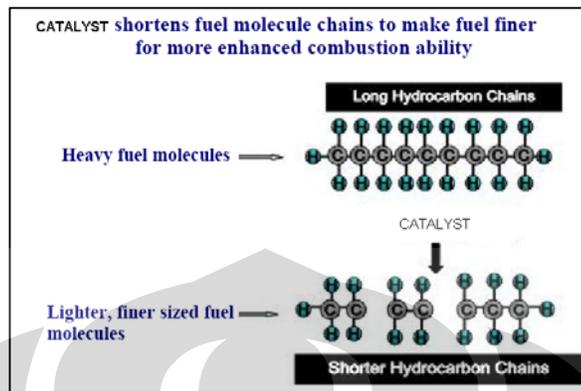


Senyawa NO<sub>x</sub> ini sangat tidak stabil dan bila terlepas ke udara bebas, akan berikatan dengan oksigen untuk membentuk NO<sub>2</sub>. Inilah yang amat berbahaya karena senyawa ini amat beracun dan bila terkena air akan membentuk asam nitrat. NO<sub>x</sub> di dalam gas buang terdiri dari 95% NO, 3 – 4% NO<sub>x</sub> dan sisanya N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan sebagainya.

#### 2.5.6 Oksigen

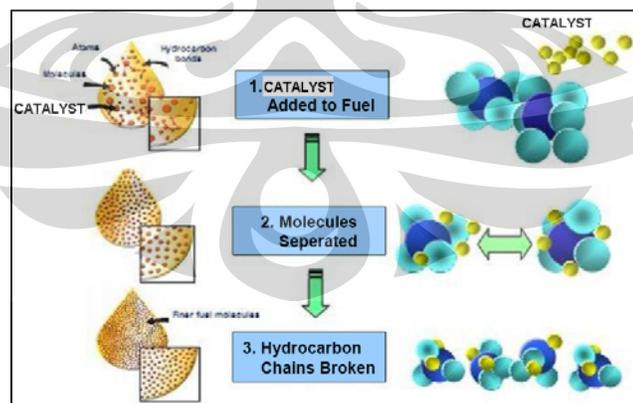
Tingginya konsentrasi senyawa NO<sub>x</sub> disebabkan karena tingginya konsentrasi oksigen ditambah dengan tingginya suhu ruang bakar. Untuk menjaga agar konsentrasi NO<sub>x</sub> tidak tinggi maka diperlukan kontrol secara tepat terhadap AFR dan suhu ruang bakar harus dijaga agar tidak terlalu tinggi.

## 2.6 Cara Kerja Katalis



Gambar 2.9. Proses pemecahan molekul akibat katalis

Katalis berbeda dengan zat aditif, jika aditif molekulnya ikut bereaksi dengan bahan bakar akan tetapi katalis tidak bereaksi dengan bahan bakar, akan tetapi hanya mengubah struktur molekul dari bahan bakar yang semula memiliki rantai karbon yang panjang dipotong menjadi molekul dengan rantai karbon yang lebih pendek. Hal ini mengakibatkan proses pembakaran di ruang bakar menjadi lebih efisien karena dengan molekul karbon yang lebih pendek maka molekul lebih mudah mengikat oksigen dalam proses pembakaran dan pembakaran menjadi lebih sempurna. Untuk gambar secara detail dapat dilihat pada gambar 2.10



Gambar 2.10. Proses pemecahan molekul akibat katalis

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Metodologi Penelitian**

Pengujian dilakukan untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada motor otto dengan penggunaan bahan bakar yang ditambahkan katalis yang berbeda dengan dasar acuan Pertamina tanpa katalis. Parameter utama yang diamati yaitu laju aliran bahan bakar, analisa gas buang yang dihasilkan dan dilanjutkan dengan menghitung beberapa perubahan karakteristik performansi dari mesin otto. Pengujian eksperimental ini didasarkan pada kondisi sebagai berikut :

- Kompresi rasio diambil dari kondisi standar motor sebesar 8,2:1
- Tekanan udara luar pada keadaan standar (1 atmosfer).
- Temperatur ambient dijaga antara 30°C (303°K) sampai 38°C (311°K).
- Aliran Bensin yang diamati setiap 50 mL.
- Konsumsi udara masuk tetap, tidak berubah-ubah.

Dalam pengujian ini diberikan beberapa batasan yang membatasi kebenaran data pengujian, antara lain :

- Kesalahan dalam pembacaan data.
- Tingkat ketelitian alat-alat pengujian yang digunakan.
- Metode analisa yang digunakan, dengan berbagai asumsi
- Kondisi peralatan dianggap sama untuk setiap kali percobaan.
- Bahan bakar yang digunakan sama, dibeli pada tempat yang sama

##### **3.1.1 Tempat Pengujian**

Tempat pelaksanaan pengujian adalah di Laboratorium Termodinamika Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

### 3.1.2 Variasi Pengujian

Pengujian dilakukan dalam berbagai variasi, agar analisa akhir yang didapatkan dapat memberikan gambaran secara tepat dan signifikan sejauh mana katalis dapat meningkatkan performa mesin. Variasi pengujian yang dilakukan meliputi :

#### 1. Variasi Penggunaan Jenis Katalis

Untuk kandungan bahan bakar, pengujian dilakukan dengan menggunakan 4 (empat) macam variasi, yang meliputi:

1. Pertamax murni tanpa campuran apapun.
2. Pertamax yang telah dimasukan katalis kedalam tangki bahan bakar (katalis jenis A)
3. Pertamax yang menggunakan katalis pada saluran bahan bakarnya (katalis jenis B)
4. Pertamax yang telah dimasukan katalis kedalam tangki bahan bakar dan kemudian dialirkan melalui katalis.

Berdasarkan campuran bahan bakar yang digunakan di atas, maka bahan bakar yang diujikan dinamakan:

- a. Pertamax
- b. Pertamax + Katalis A
- c. Pertamax + Katalis B
- d. Pertamax + Katalis A & B

#### 2. Variasi Bukaannya Throttle Terhadap Putaran Mesin Yang Tetap 1700 rpm

Putaran pada mesin diatur tetap 1700 rpm dengan mengatur pembebanan hingga didapat variasi bukaannya throttle mulai dari 10%, 20%, 30% dan diakhiri pada 40%.

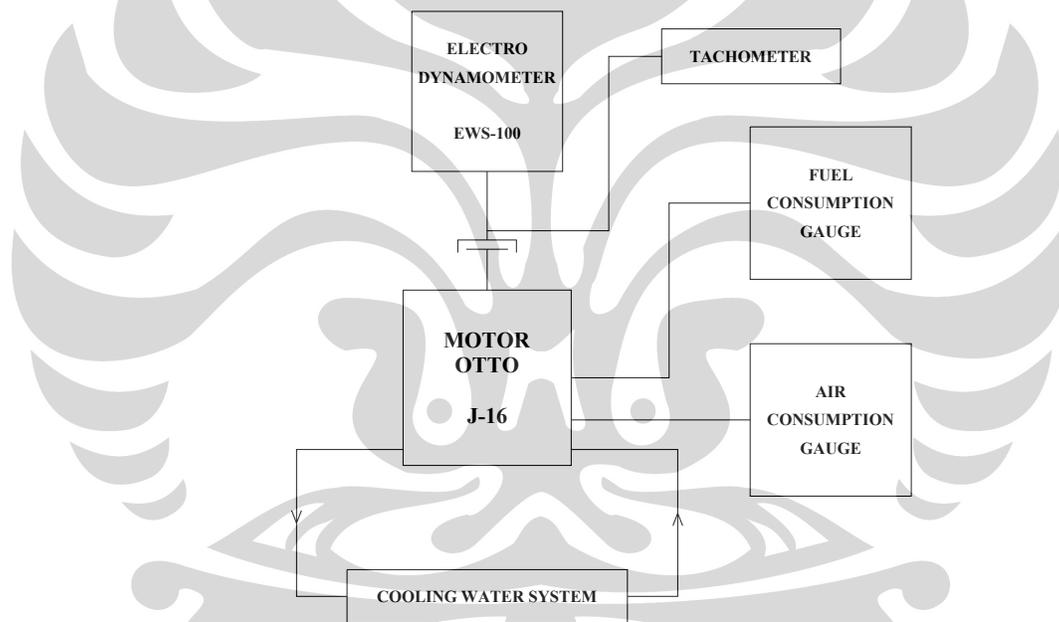
Tujuan dari pengujian ini adalah motor otto dikondisikan dalam keadaan menanjak. Diasumsikan bahwa beban mesin bertambah dikarenakan kendaraan dalam kondisi menanjak sehingga untuk menjaga kecepatan atau putaran motor yang tetap maka diperlukan penambahan bukaannya throttle

### 3. Variasi Putaran Mesin Terhadap Bukaannya Throttle Yang Tetap 20 %

Bukaan throttle diatur tetap pada bukaan 20 % dengan mengatur tombol pengatur bukaan throttle. Kemudian, putaran mesin divariasikan dengan mengatur pembebanan mulai dari 1300 rpm, 1500 rpm, 1700 rpm, 1900 rpm, sampai dengan 2100 rpm.

Tujuan dari pengujian ini adalah motor otto dikondisikan dalam keadaan berakselerasi (kondisi pada saat kendaraan beroperasi pada jalan bebas hambatan). Bukaannya throttle tetap, namun, seiring dengan berkurangnya beban pada kendaraan, maka putaran mesin akan bertambah.

#### 3.1.3 Skema Instalasi Pengujian



Gambar. 3.1. Skema Instalasi Pengujian Motor Otto

#### 3.1.4 Teknik Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan terdiri dari :

1. Data beban pada dinamometer yang dihasilkan (kgF)
2. Data temperatur udara yang masuk ( $^{\circ}\text{C}$ )
3. Data perbedaan tekanan pada pipa orifis (mm H<sub>2</sub>O)
4. Data laju aliran bahan bakar setiap 100 mL (detik).

5. Data kadar gas buang, yang meliputi CO<sub>2</sub> (%vol), CO (%vol), HC (ppm), O<sub>2</sub> (%vol) dan NO<sub>x</sub> (ppm).

### 3.2 Prosedur Pengujian

#### 3.2.1 Prosedur Menjalankan Motor Otto

1. Jalankan sirkulasi air pendingin ke mesin dan atur jumlah aliran *flow rate* dari air pendingin yang masuk ke mesin 40 liter/menit dengan memutar katup pengatur.
2. Aturilah dinamometer pada beban minimum dengan memutar *load controle* dan juga atur tekanan air yang masuk ke dinamometer minimum sebesar 1 atm untuk putaran mesin tidak melebihi 4500 Rpm.
3. Buka saluran bensin dari tangki sampai ke mesin.
4. Periksa permukaan pelumas dalam karte, kencangkan semua baut-baut yang kendur dan yakinkan bahwa motor akan bekerja dengan aman.
5. Pasanglah kabel aki untuk start dan periksalah sambungan-sambungan secara teliti, supaya tidak ada yang kendur.
6. Motor dihidupkan sampai jalan dan kemudian biarkan motor berjalan beberapa waktu ( $\pm 15-25$  menit) pada *idling speed* untuk pemanasan.
7. Periksa tekanan minyak pelumas (min 300 kN/m<sup>2</sup>) dan dengarkan apakah motor berjalan dengan baik.

#### 3.2.2 Prosedur Pengukuran Motor Otto

1. Sebelum mengadakan pengamatan dan pengukuran siapkanlah individual test-sheet dan main test sheet.
2. Pengamatan dilakukan sedapat mungkin secara serentak pada waktu motor sudah cukup steady.
3. Pada setiap set pengamatan, variasi putaran hendaknya dijaga tidak lebih dari 20 rpm
4. Untuk setiap kecepatan putaran dan bukaan throttle, catatlah secara serentak :
  - Gaya dari beban pada dinamometer (kgF)
  - Waktu setiap pemakaian bensin 50 cc (detik).
  - Temperatur udara yang masuk (°C).

- *Pressure drop* pada manometer dari *air flow rate* (mmH<sub>2</sub>O).
  - Presentase O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, HC dan NO<sub>x</sub> dalam gas buang.
5. Selama pengujian haruslah dijaga hal-hal sebagai berikut :
- Temperatur gas asap tidak lebih dari 800°C.
  - Perbedaan temperatur air masuk dan keluar dari manometer tidak lebih dari 50°F atau temperatur air keluar maksimum 60°F.
  - Pengujian pada beban penuh 100% dilakukan tidak lebih dari 15 menit.

### 3.2.3 Prosedur Menghentikan Motor Otto

1. Kurangi beban secara perlahan-lahan sampai pada beban minimum sambil mengurangi kecepatan putaran motor.
2. Biarkan motor berjalan pada putaran dan beban minimum sampai temperatur gas asap menjadi kira-kira 150°C.
3. Matikan motor dengan memutuskan hubungan listriknya.
4. Biarkan air pendingin bersirkulasi 15 menit lagi untuk mendinginkan motor secara perlahan.
5. Tutup semua katup-katup bensin, air pendingin, air ke dinamometer dan lepaskan kabel start dari aki serta buka *drainage valve* pada dinamometer.

### 3.2.4 Prosedur Menghidupkan Gas Analyzer

1. Menghubungkan kabel utama *gas analyzer* ke sumber listrik
2. Menekan tombol "ON/OFF" di bagian belakan untuk menyalakan *gas analyzer*
3. Setelah alat menyala, pada display kiri atas muncul kode '01' yang berarti proses pemanasan alat yang berlangsung maksimal 15 menit.
4. Selanjutnya, pada display akan muncul kode '21' yang berarti sedang berlangsung proses kalibrasi otomatis selama 2 menit.
5. Setelah itu, alat akan mengukur kandungan O<sub>2</sub> di udara bebas (sekitar 21%), kemudian menekan tombol pump untuk menampilkan kode '03' yang berarti *gas analyzer* berada dalam kondisi stand by dan siap untuk digunakan.

### 3.2.5 Prosedur Pengoperasian Gas Analyzer

1. Memasang kabel pengukur kecepatan putaran mesin pada kabel busi dengan memperhatikan arah tanda panah
2. Memasukkan probe ke dalam knalpot lalu tekan tombol 'pump' dan alat akan segera melakukan pengukuran
3. Menunggu hingga seluruh komponen sudah ditampilkan di layar, lalu tekan 'print' untuk mencetak hasil pengukuran.
4. Mengeluarkan probe dari knalpot jika sudah selesai
5. Menekan tombol 'pump' setelah proses mencetak selesai agar alat kembali pada posisi stand by
6. Hal-hal yang perlu diperhatikan :
  - a. Kode '71' (vacuum too low) atau '72' (vacuum too high) berarti aliran gas dari knalpot yang masuk ke dalam alat tersumbat.
  - b. Kode '81' (voltage too high) atau '82' (voltage too low)
  - c. Kode '92' (span O<sub>2</sub> factor) akan muncul bila sensor oksigen terlepas
  - d. Kode '00' akan muncul jika alat perlu diset ulang
  - e. Kode '61' berarti alat sedang melakukan tes kebocoran. Apabila setelah itu muncul '65' berarti alat mengalami kebocoran.

### 3.2.6 Prosedur Mematikan Gas analyzer

1. Memastikan alat berada pada kondisi stand by (kode '03') dan kemudian alat dimatikan dengan menekan tombol "ON/OFF"
2. Melepas kabel utama dari sumber listrik
3. Membersihkan embun pada selang dan filter pemisah kondensasi serta sisa karbon pada probe dengan menyemprotkan aliran udara kompresor agar tidak mampat saat digunakan lagi.

## 3.3 Metodologi Pengolahan Data

Pengolahan data dibutuhkan untuk membuktikan ada tidaknya peningkatan dari penambahan katalis pada Prtamax terhadap performa dari mesin, penghematan konsumsi bahan bakar dan komposisi gas buangnya. Parameter yang telah dicatat selama pengujian akan dimasukkan kedalam perhitungan lanjut dan

keluarannya dinamakan data olahan. Hasil akhir dari tiap bahan bakar yang didapat akan dibandingkan dengan bahan bakar Pertamina tanpa katalis sebagai pembanding (dasar acuan) dan dipresentasikan ke dalam bentuk grafik karakteristik Mesin Otto. Berikut ini akan diuraikan metode perhitungan untuk mendapatkan karakteristik motor otto (*Engine Research Test Bed Manual*).

### 3.3.1 Konsumsi Udara Masuk ( $G_s$ )

Persamaan untuk menghitung konsumsi udara masuk adalah sebagai berikut:

Persamaan untuk menghitung konsumsi udara masuk adalah sebagai berikut:

$$G_s = \alpha \times \varepsilon \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times \sqrt{2g \times \gamma_a (P_1 - P_2)} \quad [10^{-3} \times \text{Kg/s}] \dots\dots\dots (3.1)$$

dimana ;  $\alpha$  = Koefisien aliran yang melalui nozzle ( 0,822 ).

$\pi$  = 3,1415

$g$  = Gravitasi ( 9,8 m /s<sup>2</sup> )

$d$  = Diameter dalam nozzle ( 0,036 m )

$\varepsilon$  = Coefficient for incompressible fluid to compressible fluid  
(1,9.10<sup>-5</sup>)

$$\text{Relation of : } \frac{P_1 - P_2}{P_1} = \frac{\left( \frac{h_4 - h_3}{M_2} \right) / 13,5}{P_1} \cong 0$$

$$\gamma_a = \gamma_N \left( \frac{P_a - \varphi \cdot P_s}{760} \right) \left( \frac{273}{273 + \theta} \right) + \varphi \cdot \gamma_w$$

dimana ;  $\gamma_N$  = Berat spesifik udara kering ( 1,293 Kg /m<sup>3</sup> )

$P_a$  = Tekanan Atmosfir ( 761 mmHg )

$\varphi$  = Kelembapan relatif udara

$P_s$  = Tekanan uap air

$\theta$  = Temperatur udara kering

$\gamma_w$  = Berat spesifik uap

$$P_1 - P_2 = \frac{h_4 - h_3}{M_2}$$

### 3.3.2 Laju Konsumsi Bahan Bakar ( FC )

Konsumsi bahan bakar per satuan waktu ( FC – Fuel Consumption ) dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut :

$$FC = \frac{b}{t} \times \frac{3600}{1000} \quad [ \text{L/hr} ] \dots \dots \dots (3.2)$$

### 3.3.3 Laju Konsumsi Bahan Bakar Spesifik ( SFC )

Persamaan untuk menghitung Konsumsi Bahan Bakar Spesifik ( SFC – Specific Fuel Consumption ) adalah sebagai berikut :

$$SFC = \frac{FC}{P} \times \gamma \times 1000 \quad [ \text{g/ps/hr} ] \dots \dots \dots (3.3)$$

$$\text{dimana ; } P = \frac{2\pi \times W \times L \times N}{60 \times 75}$$

dimana ; L = Panjang lengan torsi dynamometer (0,358 m)

W = Beban pada dynamometer

N = Kecepatan putar dynamometer

$\gamma$  = Berat spesifik bahan bakar

### 3.3.4 Laju Aliran Gas Buang ( $G_g$ )

Persamaan untuk menghitung laju aliran gas buang adalah sebagai berikut :

$$G_g = G_s + \frac{FC}{3600} \quad [ \text{Kg/s} \times 10^{-3} ] \dots \dots \dots (3.4)$$

### 3.3.5 Air Fuel Ratio ( AFR )

Pembakaran hanya akan berlangsung dengan sempurna jika ada cukup udara yang bercampur dengan bahan bakar. Pengaturan *Air Fuel Ratio* ( AFR )

adalah hal yang sangat penting terhadap performa mesin. Air Fuel Ratio dari sebuah mesin dapat ditentukan dari persamaan sebagai berikut :

$$AFR = \frac{G_s}{FC \times \gamma} \times 3600 \dots\dots\dots(3.4)$$

### 3.3.6 Excess Air Factor ( $\lambda$ )

Excess Air Factor adalah perbandingan antara AFR dengan  $AFR_{teoritis}$ .

$$\lambda = \frac{AFR}{AFR_{teoritis}} \dots\dots\dots(3.5)$$

dimana :  $AFR_{teoritis} = 34,48 \left( \frac{C}{3} + H \right)$

### 3.3.7 Daya ( BHP, *Brake Horse Power* )

Keluaran daya motor dapat diukur dengan bantuan susunan pengereman (*braking*) atau dinamometer untuk memberikan momen puntir guna menahan perputaran poros, atau bisa juga digunakan untuk setiap mesin dalam menunjukkan bahwa daya yang dimaksud adalah daya yang ditransmisikan melalui poros. Istilah sinonimnya adalah daya kuda poros. Besarnya BHP dapat ditentukan berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$BHP = P \times K \dots\dots\dots(3.6)$$

dimana ;  $K = \left( \frac{749}{P_a - \phi \times P_s} \right) \sqrt{\frac{273 + \theta}{293}}$

### 3.3.8 Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )

Efisiensi thermal dari motor Otto menyatakan besarnya efektifitas energi bahan bakar yang disuplai ke ruang bakar dalam menghasilkan kerja. Efisiensi thermal dapat menentukan melalui persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{th} = \frac{632 \times BHP}{Q_f} \times 100 \dots\dots\dots(3.7)$$

dimana ;  $Q_f = H \times FC \times \gamma$

H = Nilai kalor bawah

### 3.3.9 Metode Penggambaran Grafik

Hasil dari penelitian diubah menjadi bentuk grafik agar mudah dalam hal penganalisaan. Bahan bakar Premium dan Pertamina dijadikan sebagai dasar acuan dan akan dijadikan sebagai pembanding untuk variasi data dengan komposisi oksigenat yang berbeda – beda. Nilai 100% dijadikan nilai bagi Premium. Sehingga grafik yang dihasilkan akan menggambarkan peningkatan atau penurunan bila dibandingkan dengan premium.

Secara umum ada dua macam grafik, yang pertama adalah grafik karakteristik mesin yang meliputi grafik BHP, SFC, efisiensi termal, dan kadar emisi, sedangkan yang kedua adalah grafik perbandingan komposisi oksigenat. Untuk kedua grafik tersebut dilihat perbandingannya dengan premium sebagai acuan. Kedua jenis grafik tersebut dilakukan untuk masing - masing pengujian baik dalam kondisi putaran motor konstan ataupun bukaan throttle konstan

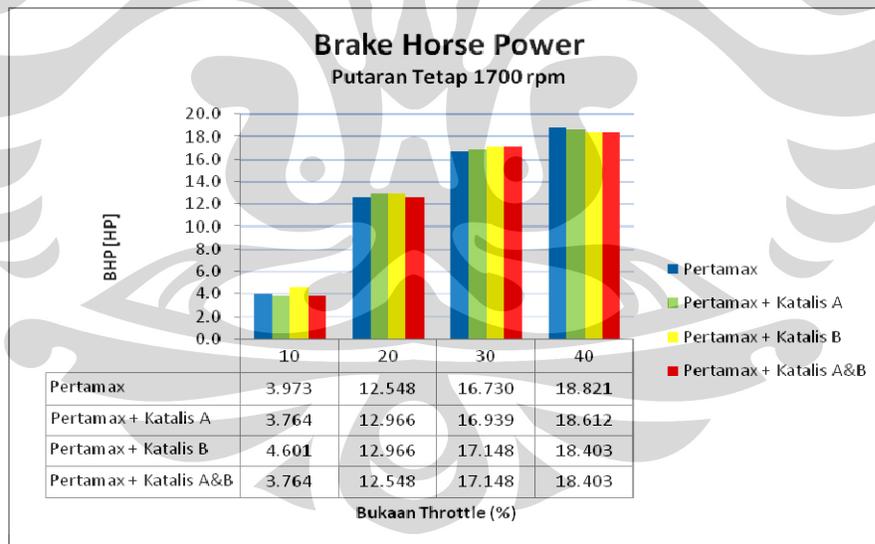
## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Analisa Bahan Bakar Pertamina Dengan Variasi Katalis Pada Putaran Tetap 1700 rpm

Dari hasil pengolahan data dan analisa yang dilakukan terhadap variasi jenis katalis maka diperoleh jenis variasi katalis yang terbaik. Hal ini diperoleh berdasarkan BHP (Break Horse Power), SFC (Specific Fuel Consumption), Effisiensi thermal yang dihasilkan, kadar emisi yang meliputi Hidrokarbon (HC) dan Karbon Monoksida (CO) dengan menjadikan nilai Pertamina tanpa katalis sebagai pembandingan

#### 4.1.1. Analisa Daya (BHP)

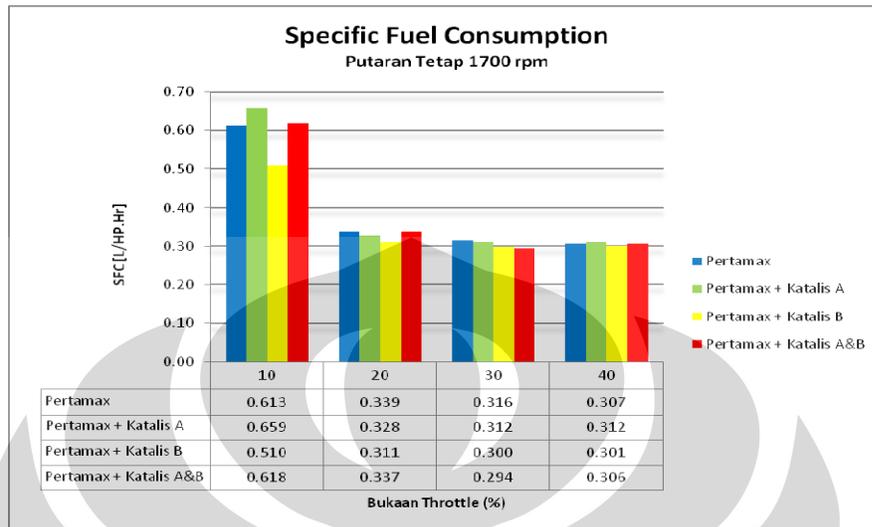
Dari hasil pengolahan data untuk mengetahui nilai daya yang dihasilkan mesin otto, dapat dilihat dari grafik dibawah ini



Gambar 4.1. Daya terhadap bukaan throttle

Dari grafik diatas akan terlihat bahwa nilai BHP dari Pertamina dengan Katalis B lebih baik dari yang lain.

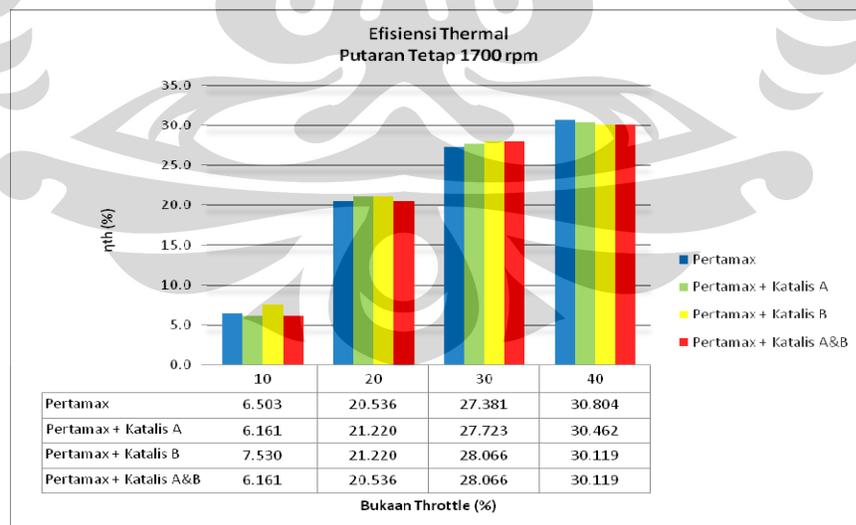
#### 4.1.2. Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)



Gambar 4.2. SFC terhadap bukaan throttle

Dari grafik diatas akan terlihat bahwa nilai BHP dari Pertamax dengan Katalis B lebih baik dari yang lain

#### 4.1.3. Analisa Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )

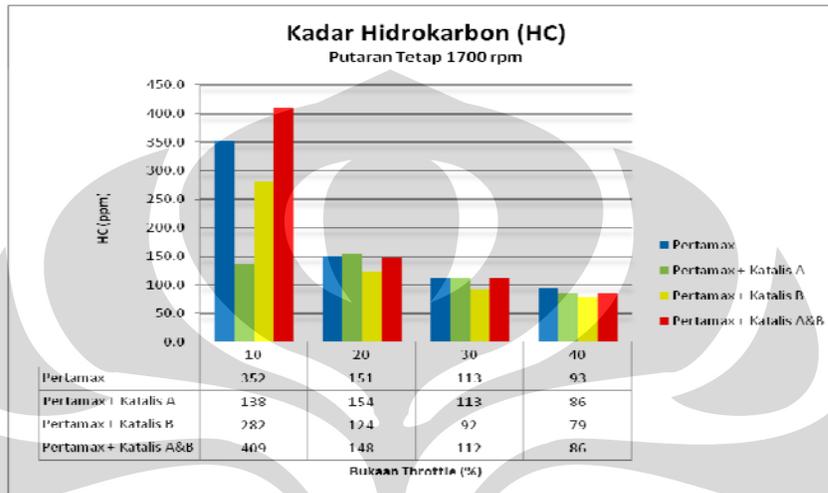


Gambar 4.3. Efisiensi Thermal terhadap bukaan throttle

Dari grafik diatas akan terlihat bahwa nilai BHP dari Pertamax dengan Katalis B lebih baik dari yang lain

#### 4.1.4. Analisa Kadar Emisi

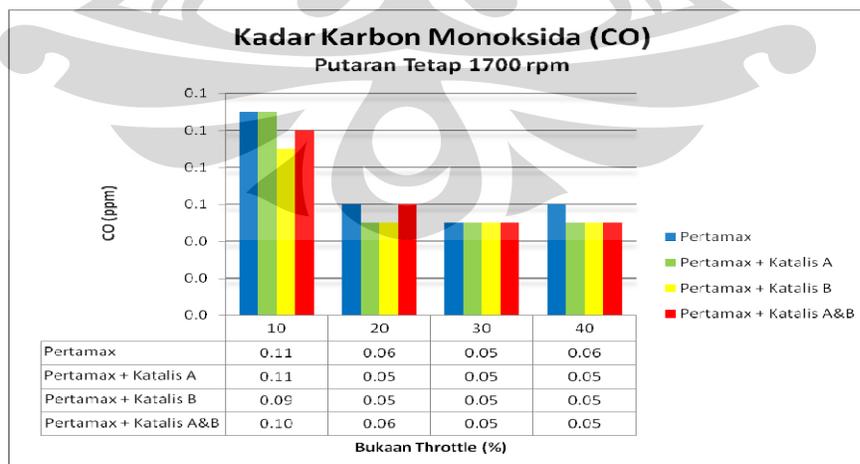
##### 4.1.4.1. Analisa Kadar Hidrokarbon (HC)



Gambar 4.4. Kadar Hidrokarbon terhadap bukaan throttle

Dari grafik diatas akan terlihat bahwa nilai BHP dari Pertamax dengan Katalis B lebih baik dari yang lain

##### 4.1.4.2. Analisa Kadar Karbon Monoksida (CO)



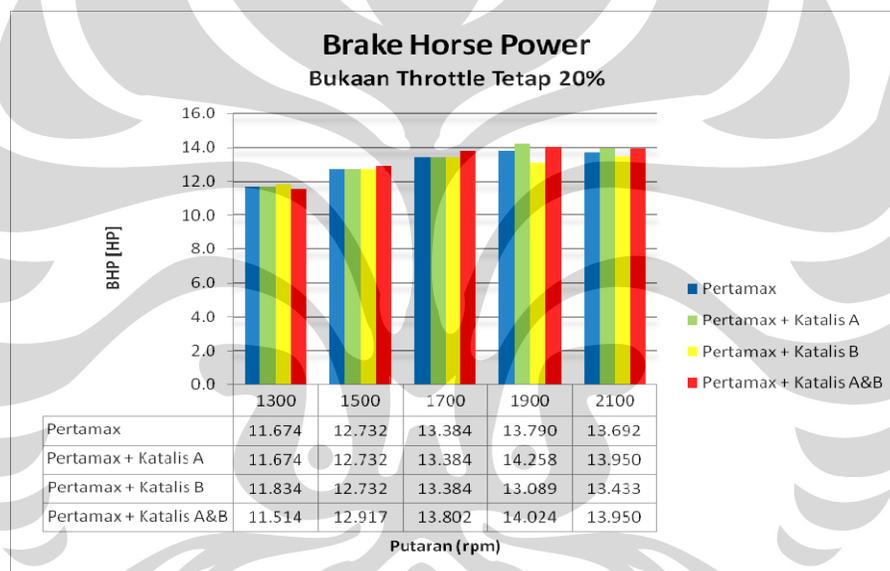
Gambar 4.5. Kadar Karbon Monoksida (CO) terhadap bukaan throttle

Dari grafik diatas akan terlihat bahwa nilai BHP dari Pertamina dengan Katalis B lebih baik dari yang lain

#### 4.2. Analisa Bahan Bakar Pertamina Dengan Variasi Katalis Pada Bukaian Throttle Tetap 20%

##### 4.2.1. Analisa Daya (BHP)

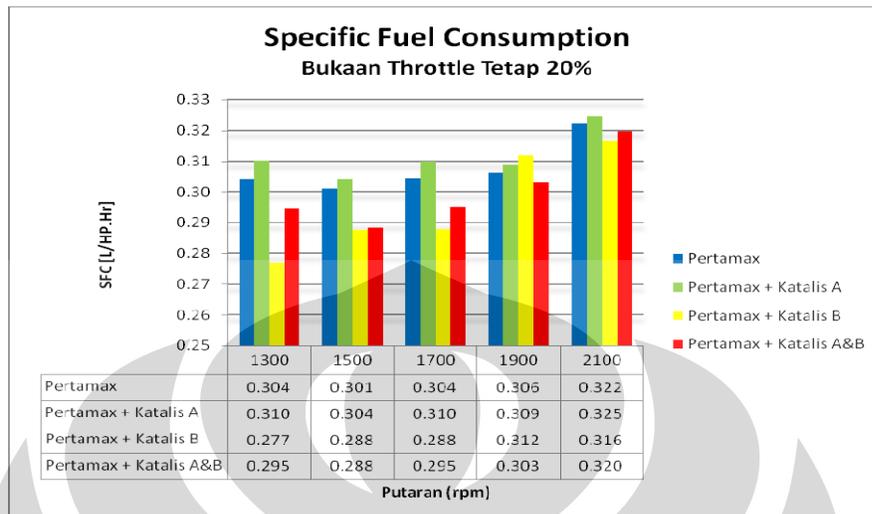
Dari hasil pengolahan data untuk mengetahui nilai daya yang dihasilkan mesin otto, dapat dilihat dari grafik dibawah ini



Gambar 4.6. Daya terhadap putaran

Dari grafik diatas akan terlihat bahwa nilai BHP dari Pertamina dengan Katalis A & B lebih baik dari yang lain

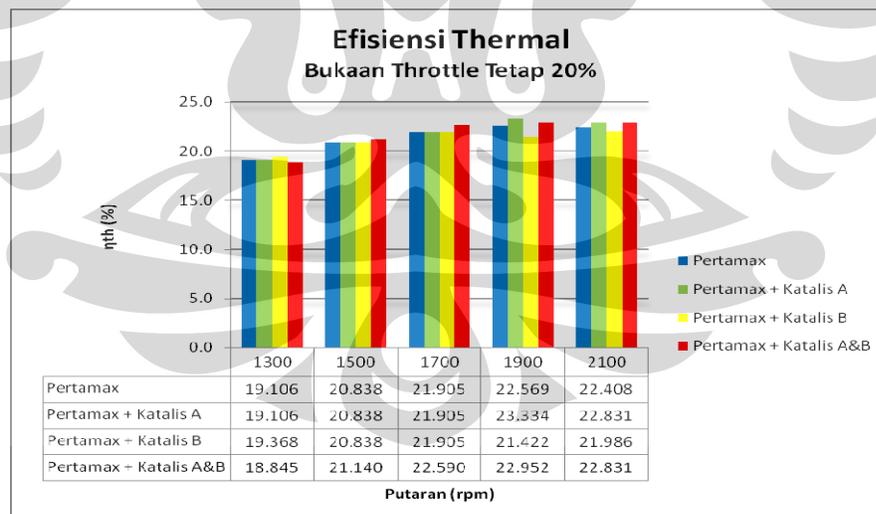
#### 4.2.2. Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)



Gambar 4.7. SFC terhadap bukaan putaran

Dari grafik diatas akan terlihat bahwa nilai BHP dari Pertamax dengan Katalis B lebih baik dari yang lain

#### 4.2.3. Analisa Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )

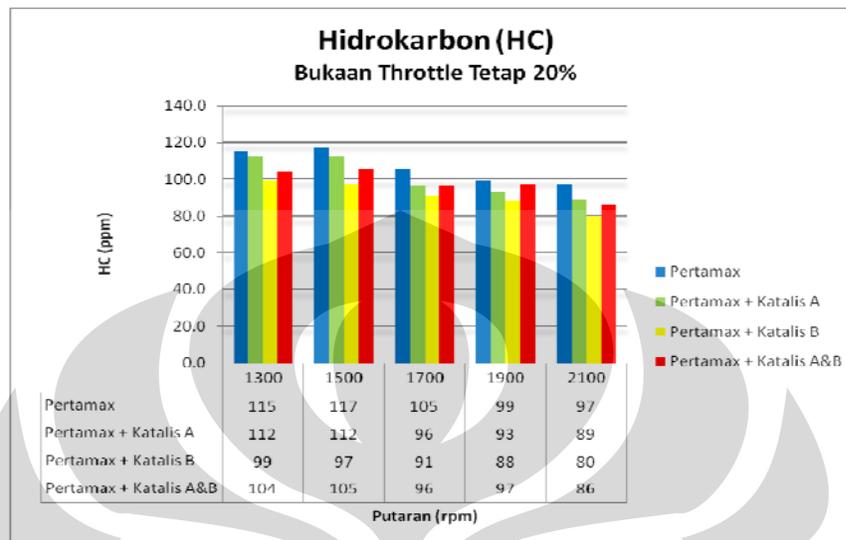


Gambar 4.8. Efisiensi Thermal terhadap putaran

Dari grafik diatas akan terlihat bahwa nilai BHP dari Pertamax dengan Katalis A & B lebih baik dari yang lain

#### 4.2.4. Analisa Kadar Emisi

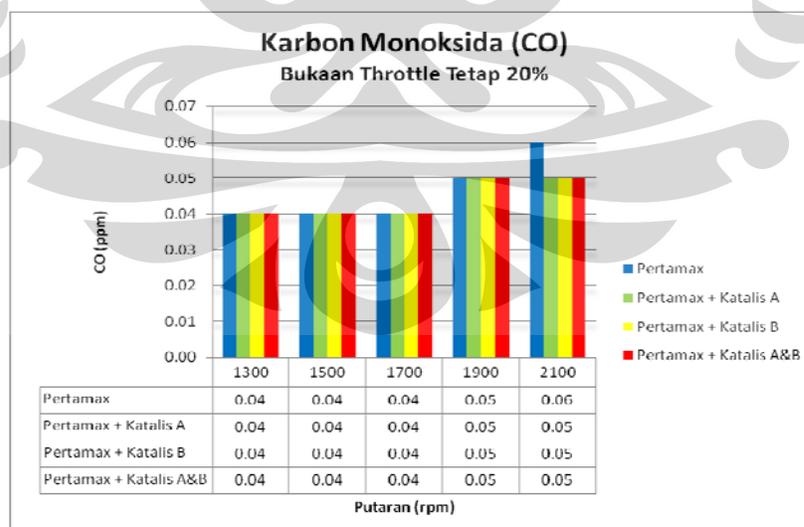
##### 4.3.4.1. Analisa Kadar Hidrokarbon (HC)



Gambar 4.9. Kadar Hidrokarbon terhadap putaran

Dari grafik diatas akan terlihat bahwa nilai BHP dari Pertamax dengan Katalis B lebih baik dari yang lain

##### 4.3.4.2. Analisa Kadar Karbon Monoksida (CO)



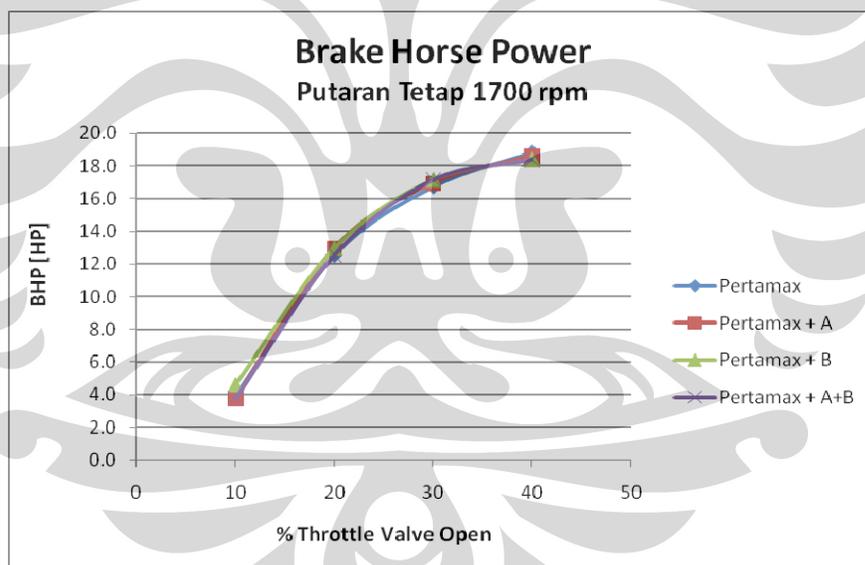
Gambar 4.10. Kadar Karbon Monoksida (CO) terhadap putaran

Dari grafik diatas akan terlihat bahwa nilai BHP dari Pertamina dengan Katalis B lebih baik dari yang lain

### 4.3. Analisa Perbandingan Bahan Bakar Pertamina Dengan Variasi Katalis Pada Putaran Tetap 1700 rpm

Dari hasil pengolahan data dan analisa yang dilakukan terhadap variasi jenis katalis yang dilakukan pada putaran tetap 1700 rpm maka diperoleh jenis variasi katalis yang terbaik. Hal ini diperoleh berdasarkan BHP (Break Horse Power), SFC (Specific Fuel Consumption), Effisiensi thermal yang dihasilkan, kadar emisi yang meliputi Hidrokarbon (HC) dan Karbon Monoksida (CO) dengan menjadikan nilai Pertamina tanpa katalis sebagai pembandingan.

#### 4.3.1. Analisa Daya (BHP)



Gambar 4.11 Perbandingan Daya terhadap bukaan throttle

Dari grafik diatas terlihat bahwa kecenderungan semua bahan bakar mengalami kenaikan daya seiring dengan penambahan bukaan throttle. Semakin naik daya yang dihasilkan maka semakin baik. Dari grafik perbandingan daya diatas digambarkan peningkatan dan penurunannya pada tabel 4.1 Dibawah ini

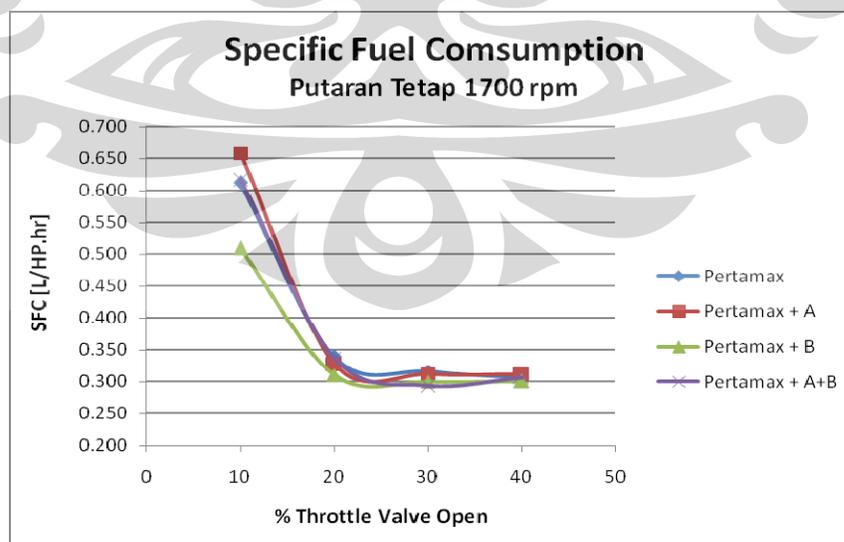
Tabel 4.1 Perbandingan BHP vs Bukaannya Throttle  
 ANALISA BHP PADA PUTARAN 1700 RPM DENGAN VARIASI BUKAAN THROTTLE

Bukaan Throttle (%)	Pertamax	Pertamax + Katalis A		Pertamax + Katalis B		Pertamax + Katalis A&B	
	Hasil Uji	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%
10	3,973	3,764	-5,26	4,601	15,79	3,764	-5,26
20	12,548	12,966	3,33	12,966	3,33	12,548	0,00
30	16,730	16,939	1,25	17,148	2,50	17,148	2,50
40	18,821	18,612	-1,11	18,403	-2,22	18,403	-2,22
Rata - rata			-0,45		4,85		-1,25

Dari tabel diatas terjadi peningkatan BHP terbesar pada penambahan katalis B pada bukaan 10% sebesar 15.79%, dan penurunan terbesar pada penambahan katalis A pada bukaan 10% sebesar 5.26%.

Kenaikan persentase rata-rata BHP pada penambahan katalis jenis B yang paling tinggi yaitu 4.85 %, sedangkan penambahan katalis jenis A akan mengurangi daya rata-rata sekitar 0.45% dibandingkan dengan pertamax tanpa katalis. Sedangkan Kombinasi katalis A dengan B akan menurunkan daya rata-rata 1.25% dibandingkan dengan pertamax tanpa katalis.

#### 4.3.2. Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)



Gambar 4.12. Perbandingan SFC terhadap bukaan throttle

Konsumsi bahan bakar spesifik dari setiap bahan bakar yang diujikan terlihat menurun sejalan dengan bertambahnya bukaan throttle, semakin turun konsumsi bahan bakarnya maka semakin baik.

Dari grafik perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik diatas terhadap bukaan throttle dapat digambarkan penurunannya pada tabel 4.2 dibawah ini

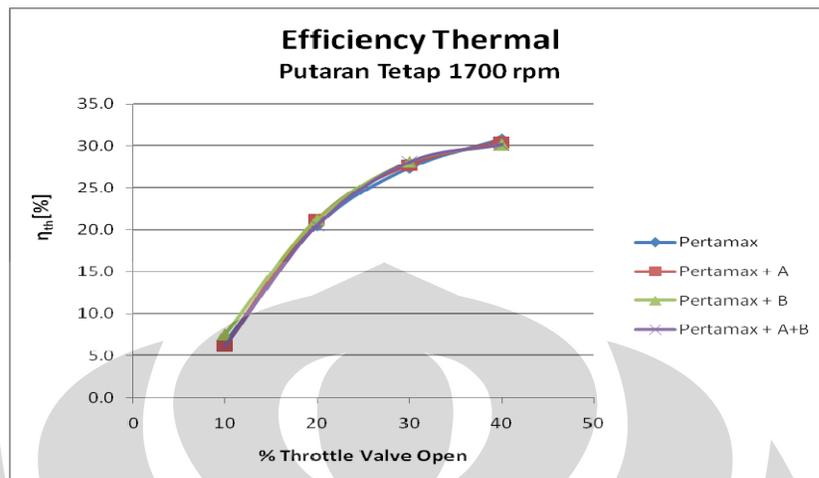
Tabel 4.2 Perbandingan SFC vs Bukaan Throttle  
ANALISA SFC PADA PUTARAN 1700 RPM DENGAN VARIASI BUKAAN  
THROTTLE

Bukaan Throttle (%)	Pertamax	Pertamax + Katalis A		Pertamax + Katalis B		Pertamax + Katalis A&B	
	Hasil Uji	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%
10	0,613	0,659	7,52	0,510	-16,81	0,618	0,85
20	0,339	0,328	-3,07	0,311	-8,28	0,337	-0,47
30	0,316	0,312	-1,38	0,300	-5,18	0,294	-7,00
40	0,307	0,312	1,50	0,301	-1,98	0,306	-0,18
Rata - rata			1,14		-8,06		-1,70

Dari tabel diatas terjadi peningkatan SFC terbesar pada penambahan katalis A pada bukaan 10% sebesar 7.52%, dan penurunan terbesar pada penambahan katalis B pada bukaan 10% sebesar 16,81%.

Kenaikan persentase rata-rata SFC pada penambahan katalis jenis A yang paling tinggi yaitu 1.14 %, sedangkan penambahan katalis jenis B akan mengurangi SFC rata-rata sekitar 8.06% dibandingkan dengan pertamax tanpa katalis. Sedangkan Kombinasi katalis A dengan B akan menurunkan SFC rata-rata 1.70% dibandingkan dengan pertamax tanpa katalis.

### 4.3.3. Analisa Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )



Gambar 4.13. Perbandingan Efisiensi Thermal terhadap bukaan throttle

Efisiensi thermal dari berbagai bahan bakar yang diuji pada putaran 1700 rpm dengan variasi bukaan throttle terlihat kecenderungan nilai efisiensi thermal meningkat seiring dengan meningkatnya persentase bukaan throttle.

Dari grafik perbandingan efisiensi thermal diatas terhadap bukaan throttle dapat digambarkan peningkatan dan penurunannya pada tabel 4.3 di bawah ini

Tabel 4.3 Perbandingan Efisiensi Thermal vs Bukaan Throttle  
 ANALISA EFISIENSI THERMAL PADA PUTARAN 1700 RPM DENGAN  
 VARIASI BUKAAN THROTTLE

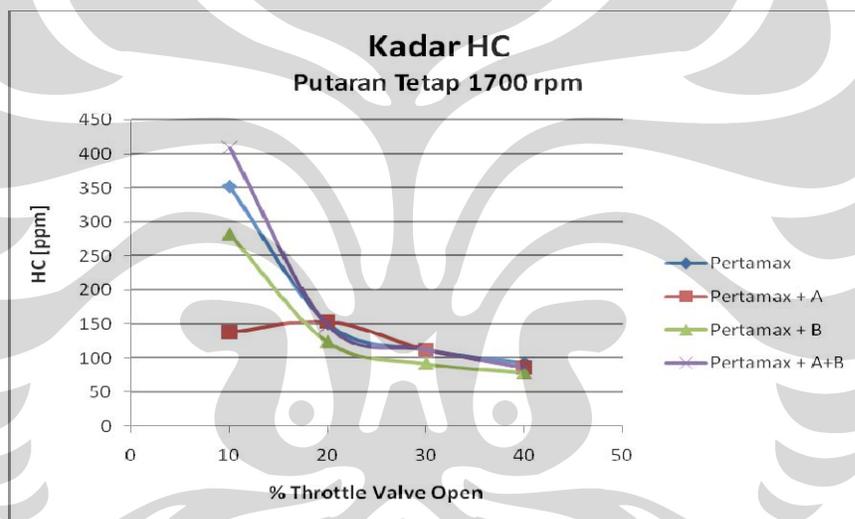
Bukaan Throttle (%)	Pertamax	Pertamax + Katalis A		Pertamax + Katalis B		Pertamax + Katalis A&B	
	Hasil Uji	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%
10	6,503	6,161	-5,26	7,530	15,79	6,161	-5,26
20	20,536	21,220	3,33	21,220	3,33	20,536	0,00
30	27,381	27,723	1,25	28,066	2,50	28,066	2,50
40	30,804	30,462	-1,11	30,119	-2,22	30,119	-2,22
Rata - rata			-0,45		4,85		-1,25

Dari tabel diatas terjadi peningkatan  $\eta_{th}$  terbesar pada penambahan katalis B pada bukaan 10% sebesar 15.79%, dan penurunan terbesar pada penambahan katalis A pada bukaan 10% sebesar 5.26%.

Kenaikan persentase rata-rata  $\eta_{th}$  pada penambahan katalis jenis B yang paling tinggi yaitu 4.85 %, sedangkan penambahan katalis jenis A akan mengurangi  $\eta_{th}$  rata-rata sekitar 0.45% dibandingkan dengan pertamax tanpa katalis. Sedangkan Kombinasi katalis A dengan B akan menurunkan  $\eta_{th}$  rata-rata 1.25% dibandingkan dengan pertamax tanpa katalis.

#### 4.3.4. Analisa Kadar Emisi

##### 4.3.4.1. Analisa Kadar Hidrokarbon (HC)



Gambar 4.14. Perbandingan Kadar HC terhadap bukaan throttle

Kadar Hidrokarbon (HC) dari berbagai bahan bakar yang diuji pada putaran 1700 rpm dengan variasi bukaan throttle terlihat kecenderungan nilai kada hidrokarbon menurun seiring dengan meningkatnya persentase bukaan throttle. Kadar HC pada Pertamax dengan Katalis A pada bukaan 10% lebih rendah dari lainnya

Dari grafik perbandingan kadar hidrokarbon (HC) diatas terhadap bukaan throttle dapat digambarkan peningkatan dan penurunannya pada tabel 4.4. di bawah ini

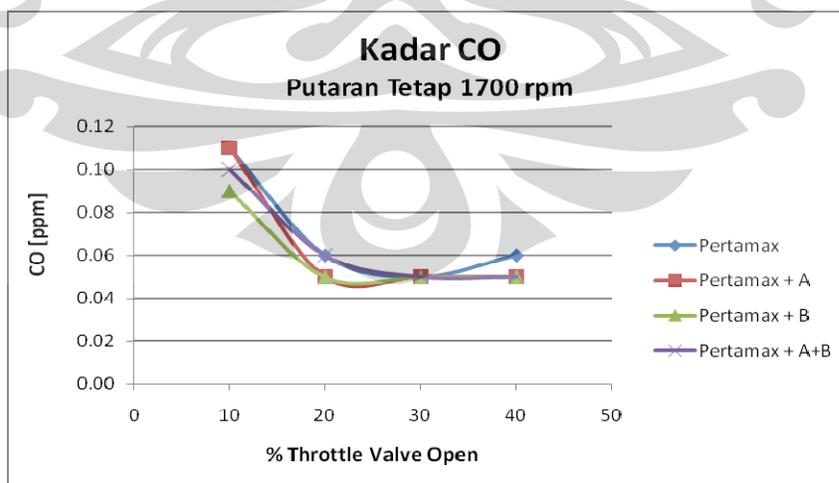
Tabel 4.4. Perbandingan Kadar HC vs Bukaannya Throttle  
 ANALISA KADAR HIDROKARBON (HC) PADA PUTARAN 1700 RPM  
 DENGAN VARIASI BUKAAN THROTTLE

Bukaan Throttle (%)	Pertamax	Pertamax + Katalis A		Pertamax + Katalis B		Pertamax + Katalis A&B	
	Hasil Uji	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%
10	352	138	-60,80	282	-19,89	409	16,19
20	151	154	1,99	124	-17,88	148	-1,99
30	113	113	0,00	92	-18,58	112	-0,88
40	93	86	-7,53	79	-15,05	86	-7,53
Rata - rata			-16,58		-17,85		1,45

Dari tabel diatas terjadi peningkatan HC terbesar pada penambahan katalis A & B pada bukaan 10% sebesar 16.19%, dan penurunan terbesar pada penambahan katalis A pada bukaan 10% sebesar 60.80%.

Penurunan persentase rata-rata HC pada penambahan katalis jenis B yang paling rendah yaitu 17.85%, sedangkan penambahan katalis jenis A akan mengurangi HC rata-rata sekitar 16.85% dibandingkan dengan pertamax tanpa katalis. Sedangkan Kombinasi katalis A dengan B akan meningkatkan HC rata-rata 1.45% dibandingkan dengan pertamax tanpa katalis.

#### 4.3.4.2. Analisa Kadar Karbon Monoksida (CO)



Gambar 4.15. Perbandingan Kadar CO terhadap bukaan throttle

Kadar Karbon Monoksida (CO) dari berbagai bahan bakar yang diuji pada putaran 1700 rpm dengan variasi bukaan throttle terlihat kecenderungan nilai kadar karbon monoksida menurun seiring dengan meningkatnya persentase bukaan throttle. Pada pertamax dengan Katalis A dan Pertamax dengan Katalis B mengalami penurunan pada bukaan 20% dan kemudian kembali naik pada bukaan 30% dan seterusnya.

Dari grafik perbandingan kadar Karbon Monoksida (CO) diatas terhadap bukaan throttle dapat digambarkan peningkatan dan penurunannya pada tabel 4.5 di bawah ini

Tabel 4.5. Perbandingan Kadar CO vs Bukaan Throttle  
ANALISA KADAR KARBON MONOKSIDA (CO) PADA PUTARAN 1700  
RPM DENGAN VARIASI BUKAAN THROTTLE

Bukaan Throttle (%)	Pertamax	Pertamax + Katalis A		Pertamax + Katalis B		Pertamax + Katalis A&B	
	Hasil Uji	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%
10	0,11	0,11	0,00	0,09	-18,18	0,10	-9,09
20	0,06	0,05	-16,67	0,05	-16,67	0,06	0,00
30	0,05	0,05	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00
40	0,06	0,05	-16,67	0,05	-16,67	0,05	-16,67
Rata - rata			-8,33		-12,88		-6,44

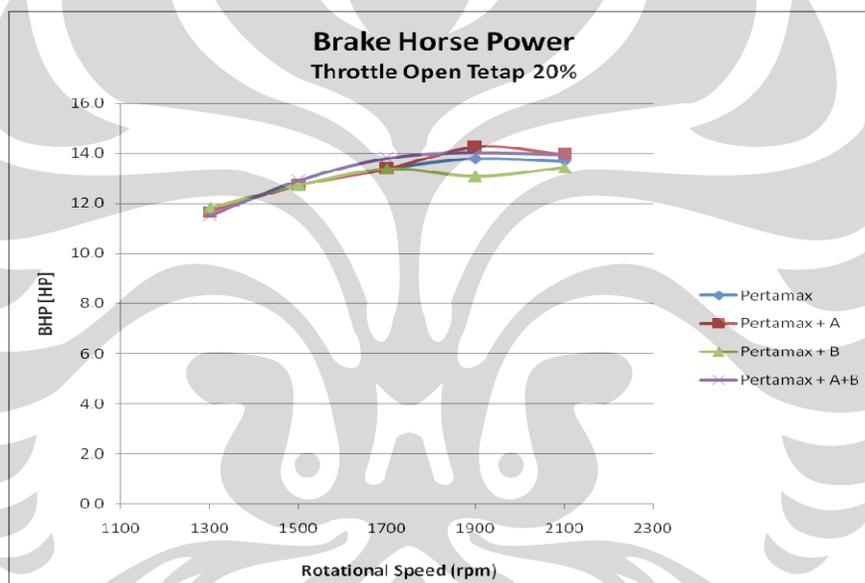
Dari tabel diatas terlihat bahwa kadar CO mengalami penurunan disetiap bukaan throttle. Kadar CO sama semua pada setiap bahan bakar saat bukaan throttle 30 %. Kadar CO terbesar dimiliki oleh Pertamax dengan Katalis A pada bukaan throttle 10% yaitu 0.11 ppm atau 0% dibandingkan dengan Pertamax tanpa katalis. Kadar persentase CO terendah dimiliki oleh Pertamax dengan Katalis B pada bukaan throttle 10% yaitu 18.18% dibandingkan dengan Pertamax tanpa katalis.

Semua Hasil uji menunjukkan penurunan kadar CO disetiap bukaan dibandingkan dengan Pertamax tanpa Katalis.

#### 4.4. Analisa Perbandingan Bahan Bakar Pertamax Dengan Variasi Katalis Pada Bukaannya Throttle Tetap 20%

Dari hasil pengolahan data dan analisa yang dilakukan terhadap variasi jenis katalis yang dilakukan pada bukaannya throttle tetap 20% maka diperoleh jenis variasi katalis yang terbaik. Hal ini diperoleh berdasarkan BHP (Break Horse Power), SFC (Specific Fuel Consumption), Efisiensi thermal yang dihasilkan, kadar emisi yang meliputi Hidrokarbon (HC) dan Karbon Monoksida (CO) dengan menjadikan nilai Pertamax tanpa katalis sebagai pembandingan.

##### 4.4.1. Analisa Daya (BHP)



Gambar 4.16. Perbandingan Daya terhadap putaran

Pada bukaannya throttle 20% dan variasi putaran, terlihat bahwa daya yang dihasilkan oleh semua bahan bakar mengalami kenaikan sejalan dengan kenaikan putaran. Dari grafik perbandingan daya terhadap bukaannya throttle diatas dapat digambarkan peningkatan dan penurunannya pada tabel 4.6 di bawah ini

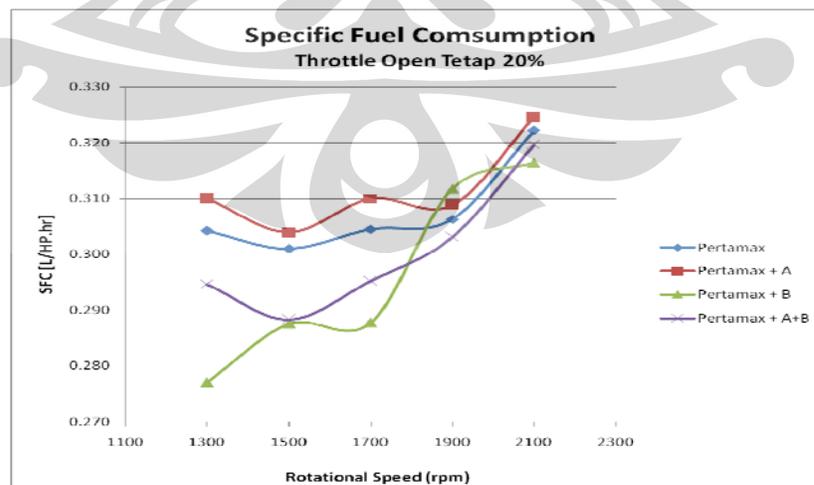
Tabel 4.6 Perbandingan BHP vs Putaran  
ANALISA BHP PADA BUKAAN THROTTLE 20% DENGAN VARIASI  
PUTARAN

Putaran (rpm)	Pertamax	Pertamax + Katalis A		Pertamax + Katalis B		Pertamax + Katalis A&B	
	Hasil Uji	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%
1300	11,674	11,674	0,00	11,834	1,37	11,514	-1,37
1500	12,732	12,732	0,00	12,732	0,00	12,917	1,45
1700	13,384	13,384	0,00	13,384	0,00	13,802	3,13
1900	13,790	14,258	3,39	13,089	-5,08	14,024	1,69
2100	13,692	13,950	1,89	13,433	-1,89	13,950	1,89
Rata - rata			1,06		-1,12		1,36

Dari tabel diatas terlihat bahwa hampir setiap putaran mesin terjadi peningkatan daya, kecuali pada bahan bakar Pertamax dengan Katalis A dan Pertamax dengan Katalis A&B yang mengalami penurunan daya pada putaran 2100 rpm.

Secara rata-rata Pertamax dengan Katalis B mengalami penurunan daya dibandingkan dengan Pertamax tanpa Katalis yaitu 0.93%. Secara umum penambahan katalis mengakibatkan penambahan daya kecuali pada Pertamax dengan Katalis B yang mengalami penurunan di putaran 1900 rpm & 2100 rpm disbanding dengan Pertamax tanpa Katalis

#### 4.4.2. Analisa Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)



Gambar 4.17. Perbandingan SFC terhadap putaran

Dari data yang diperoleh kemudian dilakukan perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik untuk bahan bakar yang diuji pada bukaan throttle 20%, dengan variasi putaran terlihat penurunan SFC pada setiap putaran, dari grafik perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik diatas dapat digambarkan peningkatan dan penurunannya pada tabel 4.7 di bawah ini

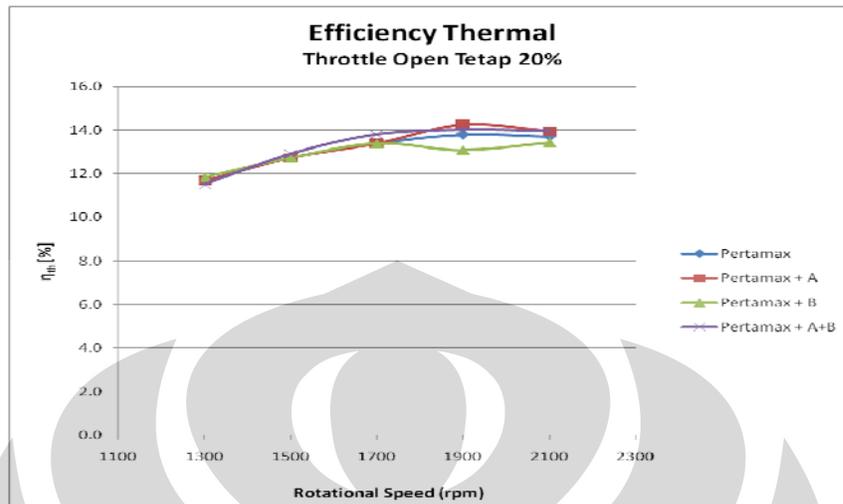
Tabel 4.7 Perbandingan SFC vs Putaran  
ANALISA SFC PADA BUKAAN THROTTLE 20% DENGAN VARIASI  
PUTARAN

Putaran (rpm)	Pertamax	Pertamax + Katalis A		Pertamax + Katalis B		Pertamax + Katalis A&B	
	Hasil Uji	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%
1300	0,304	0,310	1,91	0,277	-8,93	0,295	-3,16
1500	0,301	0,304	0,97	0,288	-4,47	0,288	-4,22
1700	0,304	0,310	1,81	0,288	-5,49	0,295	-3,03
1900	0,306	0,309	0,82	0,312	1,77	0,303	-1,05
2100	0,322	0,325	0,74	0,316	-1,81	0,320	-0,80
Rata - rata			1,25		-3,79		-2,45

Dari tabel di atas terlihat bahwa terjadi penurunan nilai SFC yang dihasilkan hampir setiap putaran. Setiap penambahan Katalis akan berdampak pada penurunan SFC kecuali pada penambahan Katalis A yang menyebabkan SCF naik dengan ilai rata-rata 1.38% disbanding dengan Pertamax tanpa Katalis.

Penurunan SFC terbesar terjadi pada Pertamax dengan Katalis B pada putaran 1300 rpm yaitu 8.93% dianding dengan Pertamax tanpa Katalis. Sedangkan kenaikan SFC terbesar terjadi pada Pertamax dengan Katalis A pada putaran 1300 rpm yaitu 1.91% dianding dengan Pertamax tanpa Katalis.

#### 4.4.3. Analisa Efisiensi Thermal ( $\eta_{th}$ )



Gambar 4.18. Perbandingan Efisiensi Thermal terhadap putaran

Dari semua bahan bakar yang diuji menunjukkan bahwa, semua bahan bakar mengalami kenaikan efisiensi thermal, namun cenderung mengalami penurunan saat putaran 2100 rpm. Dari grafik perbandingan efisiensi thermal diatas terhadap putaran dapat digambarkan peningkatannya pada tabel 4.10 di bawah ini.

Tabel 4.8. Perbandingan Efisiensi Thermal vs Putaran

ANALISA EFISIENSI THERMAL PADA BUKAAN THROTTLE 20%  
DENGAN VARIASI PUTARAN

Putaran (rpm)	Pertamax	Pertamax + Katalis A		Pertamax + Katalis B		Pertamax + Katalis A&B	
	Hasil Uji	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%
1300	19,106	19,106	0,00	19,368	1,37	18,845	-1,37
1500	20,838	20,838	0,00	20,838	0,00	21,140	1,45
1700	21,905	21,905	0,00	21,905	0,00	22,590	3,13
1900	22,569	23,334	3,39	21,422	-5,08	22,952	1,69
2100	22,408	22,831	1,89	21,986	-1,89	22,831	1,89
Rata - rata		1,06		-1,12		1,36	

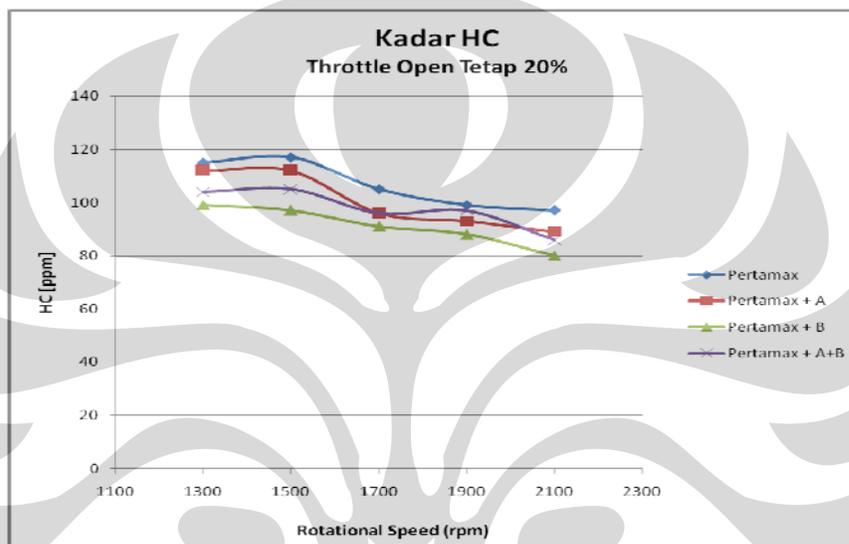
Dari tabel di atas terlihat bahwa nilai efisiensi thermal yang dihasilkan oleh setiap campuran pada semua putaran cenderung meningkat, kecuali pada

Pertamax dengan Katalis B yang rata-ratanya mengalami penurunan sebesar 0.93% terhadap Pertamax tanpa Katalis.

Penurunan efisiensi thermal pada katalis B terhadap Pertamax tanpa katalis terjadi di putaran tinggi yaitu 1900 rpm & 2100 rpm.

#### 4.4.4. Analisa Kadar Emisi

##### 4.4.4.1. Analisa Kadar Hidrokarbon (HC)



Gambar 4.19. Perbandingan kadar Hidrokarbon (HC) terhadap putaran

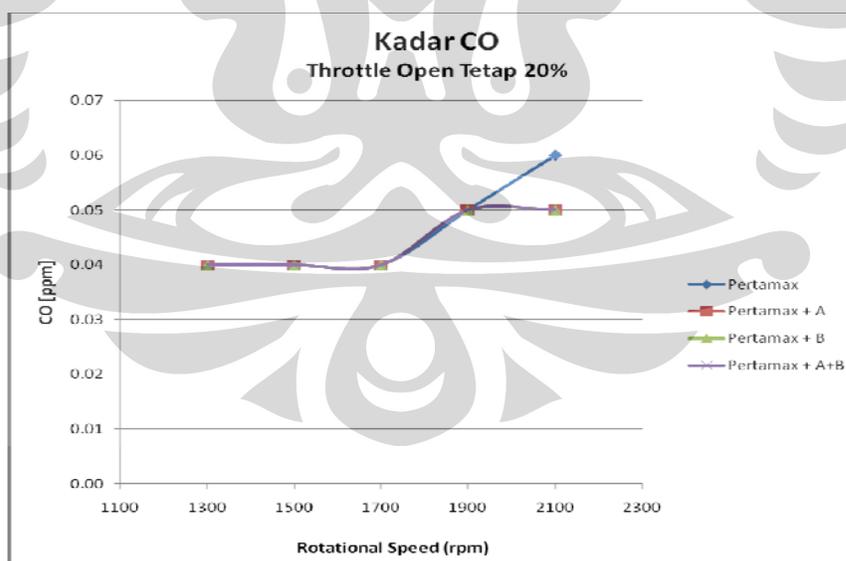
Hasil percobaan menunjukkan bahwa semua bahan bakar mengalami penurunan kadar Hidrokarbon (HC), namun cenderung mengalami kenaikan saat putaran 1500 rpm. Dari grafik perbandingan kadar HC diatas terhadap putaran dapat digambarkan penurunannya pada tabel 4.9 di bawah ini.

Tabel 4.9 Perbandingan Kadar Hidrokarbon (HC) vs Putaran  
 ANALISA KADAR HIDROKARBON (HC) PADA BUKAAN THROTTLE  
 20% DENGAN VARIASI PUTARAN

Putaran (rpm)	Pertamax	Pertamax + Katalis A		Pertamax + Katalis B		Pertamax + Katalis A&B	
	Hasil Uji	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%
1300	115	112	-2,61	99	-13,91	104	-9,57
1500	117	112	-4,27	97	-17,09	105	-10,26
1700	105	96	-8,57	91	-13,33	96	-8,57
1900	99	93	-6,06	88	-11,11	97	-2,02
2100	97	89	-8,25	80	-17,53	86	-11,34
Rata - rata			-5,95		-14,60		-8,35

Dari tabel di atas terlihat bahwa penurunan kadar HC terjadi pada semua putaran mesin. Setiap Penambahan Katalis mengakibatkan penurunan kadar HC. Penurunan kadar HC rata-rata terbesar dimiliki oleh Pertamax dengan Katalis B yaitu 13.86%.

#### 4.4.4.2. Analisa Kadar Karbon Monoksida (CO)



Gambar 4.20 Perbandingan kadar Karbon Monoksida (CO) terhadap putaran

Dari grafik diatas kadar CO semakin besar seiring dengan kenaikan putaran mesin. Antara putaran 1300 rpm sampai 1700 rpm kadar CO tidak mengalami perubahan. Akan tetapi pada putaran 1900 rpm mulai menunjukkan kenaikan. Dari grafik perbandingan kadar Karbon Monoksida (CO) diatas terhadap putaran dapat digambarkan peningkatannya pada tabel 4.10 di bawah ini.

Tabel 4.10 Perbandingan Kadar Karbon Monoksida (CO) vs Putaran  
ANALISA KADAR KARBON MONOKSIDA (CO) PADA BUKAAN  
THROTTLE 20% DENGAN VARIASI PUTARAN

Putaran (rpm)	Pertamax	Pertamax + Katalis A		Pertamax + Katalis B		Pertamax + Katalis A&B	
	Hasil Uji	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%	Hasil Uji	%
1300	0,04	0,04	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00
1500	0,04	0,04	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00
1700	0,04	0,04	0,00	0,04	0,00	0,04	0,00
1900	0,05	0,05	0,00	0,05	0,00	0,05	0,00
2100	0,06	0,05	-16,67	0,05	-16,67	0,05	-16,67
Rata - rata			-3,33		-3,33		-3,33

Dari tabel di atas terlihat bahwa kadar CO yang dihasilkan cenderung sama dengan yang dihasilkan oleh Pertamax, terjadi peningkatan hanya pada putaran 2100 rpm. Peningkatan terbesar terhadap Pertamax tanpa Katalis terjadi pada putaran 2100 rpm pada semua Katalis.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian dan pengolahan data yang dilakukan pada bahan bakar Pertamax menggunakan katalis dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan katalis pada bahan bakar Pertamax dapat meningkatkan daya yang dihasilkan dan nilai efisiensi thermal serta mengurangi konsumsi bahan bakar spesifik.
2. Pemakaian katalis pada Pertamax juga dapat memperbaiki kualitas dari emisi yang dihasilkan.
3. Metode penggunaan katalis untuk mencapai hasil yang terbaik adalah dengan memanfaatkan katalis jenis B
4. Penggunaan katalis A dan katalis B secara bersamaan pada bahan bakar Pertamax hasilnya lebih buruk dibandingkan hanya dengan menggunakan katalis B

#### **5.2 Saran**

1. Penggunaan katalis pada jenis B hendaknya jangan digunakan bersamaan dengan katalis jenis A karena akan mengurangi performa mesin
2. Penggunaan katalis hendaknya diaplikasikan pada kendaraan bermotor karena dapat meningkatkan performa mesin dan menurunkan emisi gas buang

**DAFTAR PUSTAKA**

Cengel, Yunus A., and Michael A. Boles. *Thermodynamics An Engineering Approach Second Edition*. McGraw Hill International Editions. 1994.

Sugiarto, Bambang. *Motor Pembakaran Dalam*. ISBN 979-97726-7-2, 2005.

Heywood, John B. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw Hill International Editions, 1988.

Benson, R. W. and N. D. Whitehouse. *Internal Combustion Engine Volume 1*. Pergamon Press. 1983.

Mathur M.L. and R.P. Sharma. *A Course In Internal Combustion Engines*. Delhi, 1980.

Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia. *Buku Penuntun Pengujian Laboratorium Mesin*.

Juanda, Harry, *Kinerja Mesin Otto Berbahan Dasar Premium Dengan Penambahan Oksinat Sebagai Aditif*, 2005.

Listyo N, Dwi, *Pengaruh Magnetasi Pada Bahan Bakar*, 2006.

“Mesin Otto”. <http://www.wikipedia.org>. Diakses tanggal 16 Desember 2009

“Otto Engine Cycle”. [www.howstuffworks.com](http://www.howstuffworks.com). Diakses tanggal 16 Desember 2009

“Bio-Fuel Catalyst”. [www.palmbestproducts.com/bio-fuel-catalyst.html](http://www.palmbestproducts.com/bio-fuel-catalyst.html). Diakses tanggal 18 Desember 2009

## LAMPIRAN 1 JENIS KATALIS



Gambar : Katalis Jenis A

Penggunaannya dengan cara dimasukkan kedalam tangki bahan bakar



Gambar : Katalis jenis B

Penggunaannya diletakkan pada saluran bahan bakar antara karburator dan Pompa bahan bakar

## LAMPIRAN 2

### DATA PENGUJIAN



Laboratorium Termodinamika  
Departemen Teknik, Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI, Depok 16424

Test on : 13 Desember 2009

Tested Fuel : Pertamina Murni

#### ENGINE RESEARCH AND TEST BED

MODEL : GWE-80/100-HS-AV  
TYPE : J-16 (Nissan Motor CO.,Ltd)

#### SPECIMEN

Normal Output 80 PS at 5200 rpm  
1. NO of cycle : 4 cycle  
2. Displacement (V) : 1.567  
3. Eng. Cylinder Bore (D) : 7.8 cm  
4. Eng. Piston Stroke (S) : 8.2 cm  
5. NO of Cylinder (n) : 4  
6. Compression Ratio : 8.2

#### DYNAMOMETER

1. Model : EW - 100  
2. Type : WC Eddy Cur. Elec. Dyn  
3. Balance : Spring  
4. Torq arm (L) : 0.358 m

#### TEST CONDITIONS

1. Atmospheric Pressure ( $P_a$ ) : 101.325 kPa  
2. Inner diameter of round nozzle (D) : 0.036 m

#### FUEL

1. Specific Weight ( $\rho$ ) : 0.75 kg/l  
2. Calorific Value ( $Q_h$ ) : 39165.75 kcal/kg  
3. FUEL CONTENTS (%) : C = 86.5  
H = 13.5  
4. Gas Constanta (R) : 287 J/kg.K<sup>o</sup>  
5. AFR<sub>theoretical</sub> : 14.7246  
6. Fuel Consumption : 30.00 mL

TEST NO.	Set or command		Measurement									
	Throttle Valve Open	Rotational Shaft Speed	Dynamometer Load	Suction Air Temp	Head Across orifice	Fuel Consuming Time	Exhaust Gas Analyzer					$\lambda$
	%	N rpm	W kgf	$T_a$ °C	$h_o$ mmH <sub>2</sub> O	t sec	HC ppm vol	CO % vol	CO <sub>2</sub> % vol	O <sub>2</sub> % vol	NO <sub>x</sub> ppm vol	
1	10	1700	4.750	33.000	1.000	44.370	352.000	0.110	13.000	3.930	405.000	1.194
2	20	1700	15.000	33.000	4.000	25.410	151.000	0.060	12.200	4.800	1049.000	1.261
3	30	1700	20.000	33.000	6.000	20.410	113.000	0.050	13.000	3.950	1371.000	1.203
4	40	1700	22.500	33.000	7.000	18.690	93.000	0.060	13.300	3.530	1722.000	1.177
1	20	1300	18.250	33.000	3.000	30.410	115.000	0.040	12.400	4.800	1024.000	1.259
2	20	1500	17.250	33.000	3.500	28.180	117.000	0.040	12.300	4.700	1224.000	1.258
3	20	1700	16.000	33.000	4.000	26.500	105.000	0.050	12.300	4.600	1122.000	1.254
4	20	1900	14.750	33.000	4.500	25.570	99.000	0.050	12.400	4.500	1283.000	1.250
5	20	2100	13.250	33.200	5.000	24.480	97.000	0.060	12.500	4.400	1542.000	1.244



Laboratorium Termodinamika  
Departemen Teknik, Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI, Depok 16424

Test on : 13 Desember 2009  
Tested Fuel : Pertamina Dengan Katalis A

### ENGINE RESEARCH AND TEST BED

MODEL : GWE-80/100-HS-AV  
TYPE : J-16 (Nissan Motor CO.,Ltd)

SPECIMEN		DYNAMOMETER		FUEL	
Normal Output	80 PS at 5200 rpm	1. Model	: EW - 100	1. Specific Weight ( $\rho$ )	: 0.75 kg/l
1. NO of cycle	: 4 cycle	2. Type	: WC Eddy Cur. Elec. Dyn	2. Calorific Value ( $Q_h$ )	: 39165.75 kcal/kg
2. Displacement (V)	: 1.567	3. Balance	: Spring	3. FUEL CONTENTS (%)	: C = 86.5 H = 13.5
3. Eng. Cylinder Bore (D)	: 7.8 cm	4. Torq arm (L)	: 0.358 m	4. Gas Constanta (R)	: 287 J/kg.K°
4. Eng. Piston Stroke (S)	: 8.2 cm	<b>TEST CONDITIONS</b>		5. $AFR_{theoretical}$	: 14.7246
5. NO of Cylinder (n)	: 4	1. Atmospheric Pressure ( $P_a$ )	: 101.325 kPa	6. Fuel Consumption	: 30.00 mL
6. Compression Ratio	: 8.2	2. Inner diameter of round nozzle (D)	: 0.04 m		

TEST NO.	Set or command					Measurement							$\lambda$
	Throttle Valve Open	Rotational Shaft Speed	Dynamometer Load	Suction Air Temp	Head Across orifice	Fuel Consuming Time	Exhaust Gas Analyzer						
	-	N	W	$T_a$	$h_o$	t	HC	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>		
%	rpm	kgf	°C	mmH <sub>2</sub> O	sec	ppm vol	% vol	% vol	% vol	ppm vol			
1	10	1700	4.5	32.0	1.0	43.56	138	0.11	12.70	4.10	512	1.195	
2	20	1700	15.5	32.0	4.0	25.37	154	0.05	12.50	4.70	1239	1.254	
3	30	1700	20.3	32.0	6.0	20.44	113	0.05	13.10	3.88	1527	1.200	
4	40	1700	22.3	32.0	7.0	18.62	86	0.05	13.40	3.38	1830	1.169	
1	20	1300	18.3	32.0	3.0	29.84	112	0.04	12.50	4.50	1312	1.248	
2	20	1500	17.3	32.0	3.5	27.91	112	0.04	12.50	4.60	1390	1.252	
3	20	1700	16.0	32.0	4.0	26.03	96	0.04	12.40	4.60	1278	1.256	
4	20	1900	15.3	32.0	5.0	24.53	93	0.05	12.40	4.60	1483	1.251	
5	20	2100	13.5	33.0	5.0	23.85	89	0.05	12.50	4.50	1649	1.243	



Laboratorium Termodinamika  
Departemen Teknik, Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI, Depok 16424

Test on : 13 Desember 2009  
Tested Fuel : Pertamina Dengan Katalis B

### ENGINE RESEARCH AND TEST BED

MODEL : GWE-80/100-HS-AV  
TYPE : J-16 (Nissan Motor CO.,Ltd)

SPECIMEN		DYNAMOMETER		FUEL	
Normal Output	80 PS at 5200 rpm	1. Model	: EW - 100	1. Specific Weight ( $\rho$ )	: 0.75 kg/l
1. NO of cycle	: 4 cycle	2. Type	: WC Eddy Cur. Elec. Dyn	2. Calorific Value ( $Q_h$ )	: 39165.75 kcal/kg
2. Displacement (V)	: 1.567	3. Balance	: Spring	3. FUEL CONTENTS (%)	: C = 86.5 H = 13.5
3. Eng. Cylinder Bore (D)	: 7.8 cm	4. Torq arm (L)	: 0.358 m	4. Gas Constanta (R)	: 287 J/kg.K°
4. Eng. Piston Stroke (S)	: 8.2 cm	<b>TEST CONDITIONS</b>		5. $AFR_{theoretical}$	: 14.7246
5. NO of Cylinder (n)	: 4	1. Atmospheric Pressure ( $P_a$ )	: 101.325 kPa	6. Fuel Consumption	: 30.00 mL
6. Compression Ratio	: 8.2	2. Inner diameter of round nozzle (D)	: 0.04 m		

TEST NO.	Set or command					Measurement							$\lambda$
	Throttle Valve Open	Rotational Shaft Speed	Dynamometer Load	Suction Air Temp	Head Across orifice	Fuel Consuming Time	Exhaust Gas Analyzer						
	-	N	W	$T_a$	$h_o$	t	HC	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>		
%	rpm	kgf	°C	mmH <sub>2</sub> O	sec	ppm vol	% vol	% vol	% vol	ppm vol			
1	10	1700	5.5	34.0	1.0	46.06	282	0.09	13.20	3.74	741	1.183	
2	20	1700	15.5	34.0	4.0	26.81	124	0.05	12.40	4.70	1385	1.261	
3	30	1700	20.5	34.0	6.0	21.00	92	0.05	12.60	3.98	1747	1.209	
4	40	1700	22.0	34.0	7.0	19.50	79	0.05	13.30	3.56	1912	1.181	
1	20	1300	18.5	34.0	3.0	32.94	99	0.04	12.50	4.60	1390	1.251	
2	20	1500	17.3	35.0	3.0	29.50	97	0.04	12.40	4.60	1522	1.251	
3	20	1700	16.0	34.0	4.0	28.04	91	0.04	12.40	4.50	1590	1.248	
4	20	1900	14.0	35.0	4.0	26.47	88	0.05	12.50	4.40	1815	1.239	
5	20	2100	13.0	35.0	4.5	25.41	80	0.05	12.60	4.30	1834	1.232	



Laboratorium Termodinamika  
Departemen Teknik, Universitas Indonesia  
Kampus Baru UI, Depok 16424

Test on : 13 Desember 2009

Tested Fuel : Pertamina Dengan Katalis A & B

### ENGINE RESEARCH AND TEST BED

MODEL : GWE-80/100-HS-AV  
TYPE : J-16 (Nissan Motor CO.,Ltd)

#### SPECIMEN

Normal Output 80 PS at 5200 rpm  
1. NO of cycle : 4 cycle  
2. Displacement (V) : 1.567  
3. Eng. Cylinder Bore (D) : 7.8 cm  
4. Eng. Piston Stroke (S) : 8.2 cm  
5. NO of Cylinder (n) : 4  
6. Compression Ratio : 8.2

#### DYNAMOMETER

1. Model : EW - 100  
2. Type : WC Eddy Cur. Elec. Dyn  
3. Balance : Spring  
4. Torq arm (L) : 0.358 m

#### TEST CONDITIONS

1. Atmospheric Pressure (Pa) : 101.325 kPa  
2. Inner diameter of round nozzle (D) : 0.04 m

#### FUEL

1. Specific Weight ( $\rho$ ) : 0.75 kg/l  
2. Calorific Value (Q) : 39165.75 kcal/kg  
3. FUEL CONTENTS (%) : C = 86.5  
H = 13.5  
4. Gas Constanta (R) : 287 J/kg.K<sup>a</sup>  
5. AFR<sub>theoretical</sub> : 14.7246  
6. Fuel Consumption : 30.00 mL

TEST NO.	Set or command		Measurement										$\lambda$
	Throttle Valve Open	Rotational Shaft Speed	Dynamometer Load	Suction Air Temp	Head Across orifice	Fuel Consuming Time	Exhaust Gas Analyzer						
	%	N	W	T <sub>a</sub>	h <sub>o</sub>	t	HC	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>		
		rpm	kgf	°C	mmH <sub>2</sub> O	sec	ppm vol	% vol	% vol	% vol	ppm vol		
1	10	1700	4.5	34.0	1.0	46.44	409	0.10	12.70	4.10	370	1.197	
2	20	1700	15.0	34.0	4.0	25.53	148	0.06	12.20	4.80	1065	1.268	
3	30	1700	20.5	34.0	6.0	21.41	112	0.05	13.10	3.89	1566	1.201	
4	40	1700	22.0	34.0	7.5	19.15	86	0.05	13.40	3.47	1864	1.174	
1	20	1300	18.0	34.0	3.0	31.84	104	0.04	12.30	4.80	858	1.256	
2	20	1500	17.5	35.0	4.0	29.00	105	0.04	12.30	4.80	1068	1.261	
3	20	1700	16.5	34.0	4.0	26.50	96	0.04	12.30	4.70	1137	1.261	
4	20	1900	15.0	34.0	4.5	25.41	97	0.05	12.40	4.60	1454	1.253	
5	20	2100	13.5	34.0	5.0	24.22	86	0.05	12.50	4.40	1625	1.242	

**LAMPIRAN 3**  
**HASIL PENGOLAHAN DATA**

<b>PERTAMAX</b>	TEST NO.	Throttle Valve Open	Rotational Shaft Speed	Fuel Consumption	Specific Fuel Consumption	Brake Horse Power	Thermal Efficiency	
		%	N	FC	SFC	BHP	$\eta_{th}$	
		%	rpm	L/hr	L/HP.hr	HP	%	
	1	10	1700	2.434	<b>0.613</b>	<b>3.973</b>	<b>6.503</b>	
	2	20	1700	4.250	<b>0.339</b>	<b>12.548</b>	<b>20.536</b>	
	3	30	1700	5.292	<b>0.316</b>	<b>16.730</b>	<b>27.381</b>	
	4	40	1700	5.778	<b>0.307</b>	<b>18.821</b>	<b>30.804</b>	
	1	20	1300	3.551	<b>0.304</b>	<b>11.674</b>	<b>19.106</b>	
	2	20	1500	3.833	<b>0.301</b>	<b>12.732</b>	<b>20.838</b>	
	3	20	1700	4.075	<b>0.304</b>	<b>13.384</b>	<b>21.905</b>	
	4	20	1900	4.224	<b>0.306</b>	<b>13.790</b>	<b>22.569</b>	
	5	20	2100	4.412	<b>0.322</b>	<b>13.692</b>	<b>22.408</b>	
	TEST NO.	Throttle Valve Open	Rotational Shaft Speed	Exhaust Gas Analyzer				
HC				CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	
%				rpm	ppm vol	% vol	% vol	% vol
1	10	1700	352	0.11	13.0	3.93	405	
2	20	1700	151	0.06	12.2	4.80	1049	
3	30	1700	113	0.05	13.0	3.95	1371	
4	40	1700	93	0.06	13.3	3.53	1722	
1	20	1300	115	0.04	12.4	4.80	1024	
2	20	1500	117	0.04	12.3	4.70	1224	
3	20	1700	105	0.04	12.3	4.60	1122	
4	20	1900	99	0.05	12.4	4.50	1283	
5	20	2100	97	0.06	12.5	4.40	1542	

TEST NO.	Throttle Valve Open	Rotational Shaft Speed	Fuel Consumption	Specific Fuel Consumption	Brake Horse Power	Thermal Efficiency	
	%	N	FC	SFC	BHP	$\eta_{th}$	
	%	rpm	L/hr	L/HP.hr	HP	%	
1	10	1700	2.479	<b>0.659</b>	<b>3.764</b>	<b>6.161</b>	
2	20	1700	4.257	<b>0.328</b>	<b>12.966</b>	<b>21.220</b>	
3	30	1700	5.284	<b>0.312</b>	<b>16.939</b>	<b>27.723</b>	
4	40	1700	5.800	<b>0.312</b>	<b>18.612</b>	<b>30.462</b>	
PERTAMAX + KATALIS A							
1	20	1300	3.619	<b>0.310</b>	<b>11.674</b>	<b>19.106</b>	
2	20	1500	3.870	<b>0.304</b>	<b>12.732</b>	<b>20.838</b>	
3	20	1700	4.149	<b>0.310</b>	<b>13.384</b>	<b>21.905</b>	
4	20	1900	4.403	<b>0.309</b>	<b>14.258</b>	<b>23.334</b>	
5	20	2100	4.528	<b>0.325</b>	<b>13.950</b>	<b>22.831</b>	
TEST NO.	Throttle Valve Open	Rotational Shaft Speed	Exhaust Gas Analyzer				
	%	N	HC	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
	%	rpm	ppm vol	% vol	% vol	% vol	ppm vol
1	10	1700	138	0.11	12.70	4.10	512.00
2	20	1700	154	0.05	12.50	4.70	1239.00
3	30	1700	113	0.05	13.10	3.88	1527.00
4	40	1700	86	0.05	13.40	3.38	1830.00
PERTAMAX + KATALIS B							
1	20	1300	112	0.04	12.50	4.50	1312.00
2	20	1500	112	0.04	12.50	4.60	1390.00
3	20	1700	96	0.04	12.40	4.60	1278.00
4	20	1900	93	0.05	12.40	4.60	1483.00
5	20	2100	89	0.05	12.50	4.50	1649.00

<b>PERTAMAX + KATALIS B</b>	TEST NO.	Throttle Valve Open	Rotational Shaft Speed	Fuel Consumption	Specific Fuel Consumption	Brake Horse Power	Thermal Efficiency	
		%	N	FC	SFC	BHP	$\eta_{th}$	
		%	rpm	L/hr	L/HP.hr	HP	%	
	1	10	1700	2.345	<b>0.510</b>	<b>4.601</b>	<b>7.530</b>	
	2	20	1700	4.028	<b>0.311</b>	<b>12.966</b>	<b>21.220</b>	
	3	30	1700	5.143	<b>0.300</b>	<b>17.148</b>	<b>28.066</b>	
	4	40	1700	5.538	<b>0.301</b>	<b>18.403</b>	<b>30.119</b>	
	1	20	1300	3.279	<b>0.277</b>	<b>11.834</b>	<b>19.368</b>	
	2	20	1500	3.661	<b>0.288</b>	<b>12.732</b>	<b>20.838</b>	
	3	20	1700	3.852	<b>0.288</b>	<b>13.384</b>	<b>21.905</b>	
	4	20	1900	4.080	<b>0.312</b>	<b>13.089</b>	<b>21.422</b>	
	5	20	2100	4.250	<b>0.316</b>	<b>13.433</b>	<b>21.986</b>	
	TEST NO.	Throttle Valve Open	Rotational Shaft Speed	Exhaust Gas Analyzer				
%		N	HC	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	
%		rpm	ppm vol	% vol	% vol	% vol	ppm vol	
1	10	1700	282	0.09	13.20	3.74	741	
2	20	1700	124	0.05	12.40	4.70	1385	
3	30	1700	92	0.05	12.60	3.98	1747	
4	40	1700	79	0.05	13.30	3.56	1912	
1	20	1300	99	0.04	12.50	4.60	1390	
2	20	1500	97	0.04	12.40	4.60	1522	
3	20	1700	91	0.04	12.40	4.50	1590	
4	20	1900	88	0.05	12.50	4.40	1815	
5	20	2100	80	0.05	12.60	4.30	1834	

TEST NO.	Throttle Valve Open	Rotational Shaft Speed	Fuel Consumption	Specific Fuel Consumption	Brake Horse Power	Thermal Efficiency	
	%	N	FC	SFC	BHP	$\eta_{th}$	
	%	rpm	L/hr	L/HP.hr	HP	%	
1	10	1700	2.326	<b>0.618</b>	<b>3.764</b>	<b>6.161</b>	
2	20	1700	4.230	<b>0.337</b>	<b>12.548</b>	<b>20.536</b>	
3	30	1700	5.044	<b>0.294</b>	<b>17.148</b>	<b>28.066</b>	
4	40	1700	5.640	<b>0.306</b>	<b>18.403</b>	<b>30.119</b>	
1	20	1300	3.392	<b>0.295</b>	<b>11.514</b>	<b>18.845</b>	
2	20	1500	3.724	<b>0.288</b>	<b>12.917</b>	<b>21.140</b>	
3	20	1700	4.075	<b>0.295</b>	<b>13.802</b>	<b>22.590</b>	
4	20	1900	4.250	<b>0.303</b>	<b>14.024</b>	<b>22.952</b>	
5	20	2100	4.459	<b>0.320</b>	<b>13.950</b>	<b>22.831</b>	
TEST NO.	Throttle Valve Open	Rotational Shaft Speed	Exhaust Gas Analyzer				
	%	N	HC	CO	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
	%	rpm	ppm vol	% vol	% vol	% vol	ppm vol
1	10	1700	409	0.10	12.70	4.10	370
2	20	1700	148	0.06	12.20	4.80	1065
3	30	1700	112	0.05	13.10	3.89	1566
4	40	1700	86	0.05	13.40	3.47	1864
1	20	1300	104	0.04	12.30	4.80	858
2	20	1500	105	0.04	12.30	4.80	1068
3	20	1700	96	0.04	12.30	4.70	1137
4	20	1900	97	0.05	12.40	4.60	1454
5	20	2100	86	0.05	12.50	4.40	1625

PERTAMAX + KATALIS A&amp;B

**LAMPIRAN 4**  
**ALAT UKUR UJI EMISI DAN CONTROL PANEL**



Gambar : Alat ukur uji emisi

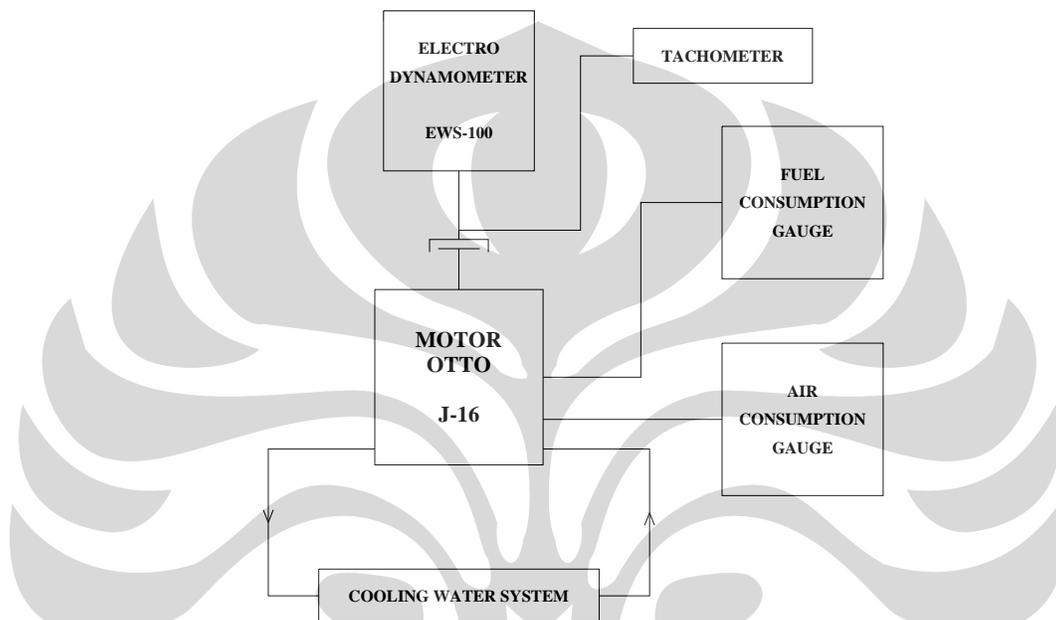


Gambar : Control Panel

**LAMPIRAN 5**  
**SPESIFIKASI DAN KETERANGAN ALAT UJI**

**MESIN UJI**

Skema Instalasi Pengujian



Spesifikasi Alat Uji

ENGINE :

Model	: GWE-80/100-HS-AV
Type	: J-16 (Nissan Motor CO,Ltd)
Bore	: 78 mm
Stroke	: 82 mm
Swept Volume	: 1567 cc
Compression Ratio	: 8,2 to 1
Maximum Speed	: 5200 rev/min
Indicator Tappings : In No.	: 4 Cylinder
Diameter of Exhaust Pipe	: 1 ¼ Inch