



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

I GUSTI PUTU OCTAVIO

0706198606

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DESEMBER 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

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

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana
Teknik**

I GUSTI PUTU OCTAVIO

0706198606

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 : I Gusti Putu Octavio

NPM : 0706198606

Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

KATA PENGANTAR

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : I Gusti Putu Octavio
NPM : 0706198606
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Katalis Terhadap Kinerja Mesin Otto Berbahan Bakar Premium

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 Sugiato, M.Eng. (.....)

Penguji : Prof. Dr. Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc. (.....)

Penguji : Dr. Ir. Danardono AS. (.....)

Penguji : Dr. Agus Pamitran, ST., MSc. (.....)

Ditetapkan di :

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, 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 Teknik 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, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof.Dr.Ir.Bambang Sugiarto,M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; serta
- (3) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 16 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 : I Gusti Putu Octavio
NPM : 0706198606
Program Studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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 PREMIUM**

Beserta 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 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 :

Yang menyatakan

(I Gusti Putu Octavio)

ABSTRAK

Nama : I Gusti Putu Octavio
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh Penambahan Katalis Terhadap Kinerja Mesin Otto
Berbahan Bakar Premium

Parameter dari kualitas pembakaran pada motor pembakaran dalam dapat dilihat dari performanya dan emisi gas buang yang dihasilkan. Salah satu faktornya adalah kualitas bahan bakar yang digunakan. Metode untuk meningkatkan kualitas bahan bakar adalah dengan memberi katalis pada bahan bakar. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan bahan bakar mengikat oksigen, sehingga dapat memberikan efek pembakaran yang lebih baik. Tujuan lainnya adalah penggunaan katalis diharapkan dapat menghemat konsumsi bahan bakar dan menghasilkan emisi gas buang yang lebih baik. Pengujian ini menggunakan bahan bakar dasar premium. Katalis yang digunakan antara lain tipe A, yaitu katalis dimasukkan ke dalam tangki bahan bakar. Sedangkan katalis yang kedua, tipe B, katalis dilewatkan pada aliran bahan bakar yang terletak di antara pompa bahan bakar dan karburator. Pengujian juga dilakukan dengan melakukan perpaduan antara kedua katalis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan perpaduan kedua katalis menghasilkan performa yang lebih baik bila dibandingkan dengan premium tanpa katalis. Kombinasi ini dapat meningkatkan daya (BHP) rata-rata sebesar 9,48% dan efisiensi thermal rata-rata sebesar 9,47%, serta penurunan konsumsi bahan bakar spesifik sebesar 9,8% dan penurunan emisi gas buang sebesar 10,21%.

Kata kunci :

Premium, Katalis, performa, emisi gas buang

ABSTRACT

Name : I Gusti Putu Octavio
Study Program: Mechanical Engineering
Title : The Influence of Catalyst Addition on the Performance of Otto Engine.

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 mixing 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 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 9.48% and thermal efficiencies 9.47%. The results also show that the specific fuel consumption decrease 9.8% and emission decrease 10.21% compare to gasoline result.

Keywords:

Gasolines, fuel catalyst, performance, exhaust gas

DAFTAR ISI

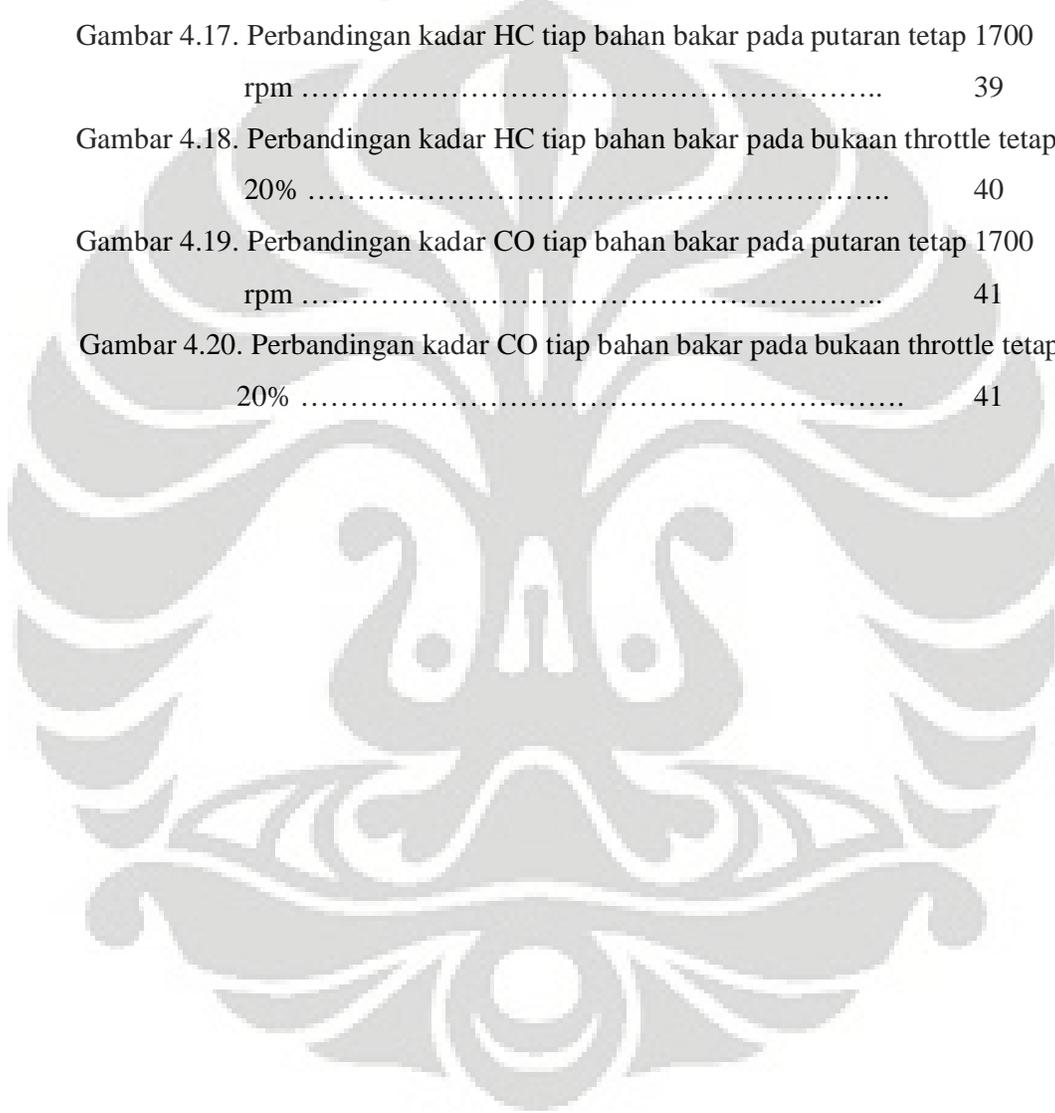
Halaman Judul	i
Halaman Pernyataan Orisinalitas	ii
Halaman Pengesahan	iii
Kata Pengantar	iv
Halaman Pernyataan Persetujuan Publikasi	v
Abstrak	vi
Abstract	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	xi
Daftar Lampiran	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Penelitian.....	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Ruang Lingkup Permasalahan dan Batasan Masalah	2
1.4. Metodologi Penelitian	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
BAB 2 DASAR TEORI	5
2.1. Mesin Otto	5
2.1.1. Siklus Ideal Mesin Otto.....	6
2.1.2. Siklus Otto Aktual.....	8
2.2. Bahan Bakar	11
2.2.1. Bahan Bakar Hidrokarbon.....	11
2.2.2. Bahan bakar Bensin	12
2.3. Proses Pembakaran Dalam Mesin.....	13
2.4. Emisi Pembakaran.....	13
2.5 Katalisator.....	15
BAB 3 METODOLOGI PENGUJIAN DAN PENGOLAHAN DATA	17
3.1. Metodologi Pengujian	18
3.1.1. Tempat Pengujian	18
3.1.2. Variasi Pengujian	18
3.1.3. Skema Instalasi Pengujian.....	19
3.1.4. Teknik Pengumpulan Data	20
3.2. Prosedur Pengujian	20
3.2.1. Prosedur Menjalankan Mesin Otto	20
3.2.2. Prosedur Pengukuran Motor Otto	21
3.2.3. Prosedur Menghentikan Motor Otto	22

3.2.4.	Prosedur Menghidupkan Gas Analyzer.....	22
3.2.5.	Prosedur Pengoperasian Gas Analyzer	22
3.2.6.	Prosedur Mematikan Gas Analyzer	23
3.3	Metodologi Pengolahan Data	23
3.3.1.	Konsumsi Udara Masuk (Gs).....	24
3.3.2.	Laju Konsumsi Bahan Bakar (FC).....	24
3.3.3.	Laju Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC).....	25
3.3.4.	Laju Aliran Gas Buang (Gg)	25
3.3.5.	Air Fuel Ratio (AFR)	25
3.3.6.	Excess Air Factor (λ).....	26
3.3.7.	Daya / BHP (Brake Horse Power)	26
3.3.8.	Efisiensi Thermal	26
3.3.9.	Metode Penggambaran Grafik.....	27
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		28
4.1.	Brake Horse Power berbagai metode penggunaan katalis dan tanpa katalis..	28
4.2.	Specific Fuel Consumption berbagai metode penggunaan katalis dan tanpa katalis	29
4.3.	Efisiensi Thermal berbagai metode penggunaan katalis dan tanpa katalis	30
4.4.	Kadar Hidrokarbon (HC) berbagai metode penggunaan katalis dan tanpa katalis	32
4.5.	Kadar Carbon Monoksida (CO) berbagai metode penggunaan katalis dan tanpa katalis.....	33
4.6.	Perbandingan Unjuk kerja Serta Emisi Gas Buang Penggunaan Katalis Pada Premium Terhadap Pertamina Dan Pertamina Plus	35
4.6.1.	Daya (BHP)	35
4.6.2.	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC).....	36
4.6.3.	Efisiensi Thermal.....	38
4.6.4.	Kadar Hidrokarbon (HC).....	39
4.6.5.	Kadar CO.....	41
BAB 5 KESIMPULAN		43
5.1	Kesimpulan.....	43
5.2	Saran.....	43
Daftar Pustaka.....		44
Lampiran		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Siklus Otto ideal	6
Gambar 2.2. Kerja mesin Otto 4 langkah	8
Gambar 2.3. Diagram siklus Otto aktual	9
Gambar 3.1. Skema Instalasi Pengujian Motor Otto	20
Gambar 4.1. Perbandingan BHP pada mesin dengan putaran tetap 1700 rpm	29
Gambar 4.2. Perbandingan BHP pada mesin dengan bukaan throttle tetap 20%	29
Gambar 4.3. Perbandingan SFC pada mesin dengan putaran tetap 1700 rpm	30
Gambar 4.4. Perbandingan SFC pada mesin dengan bukaan throttle tetap 20%	30
Gambar 4.5. Perbandingan efisiensi thermal pada mesin dengan putaran tetap 1700 rpm	31
Gambar 4.6. Perbandingan efisiensi thermal pada mesin dengan bukaan throttle tetap 20%	32
Gambar 4.7. Perbandingan kadar HC yang dihasilkan mesin dengan putaran tetap 1700 rpm	33
Gambar 4.8. Perbandingan kadar HC yang dihasilkan mesin dengan bukaan throttle tetap 20%.....	33
Gambar 4.9. Perbandingan kadar CO yang dihasilkan mesin dengan putaran tetap 1700 rpm	34
Gambar 4.10. Perbandingan kadar HC yang dihasilkan mesin dengan bukaan throttle tetap 20%	35
Gambar 4.11. Perbandingan nilai BHP tiap bahan bakar pada putaran tetap 1700 rpm	36
Gambar 4.12. Perbandingan nilai BHP tiap bahan bakar pada bukaan throttle tetap 20%	36
Gambar 4.13. Perbandingan nilai SFC tiap bahan bakar pada putaran tetap 1700 rpm	37

Gambar 4.14. Perbandingan nilai SFC tiap bahan bakar pada bukaan throttle tetap 20%	37
Gambar 4.15. Perbandingan nilai efisiensi thermal tiap bahan bakar pada putaran tetap 1700 rpm	38
Gambar 4.16. Perbandingan nilai efisiensi thermal tiap bahan bakar pada bukaan throttle tetap 20%	39
Gambar 4.17. Perbandingan kadar HC tiap bahan bakar pada putaran tetap 1700 rpm	39
Gambar 4.18. Perbandingan kadar HC tiap bahan bakar pada bukaan throttle tetap 20%	40
Gambar 4.19. Perbandingan kadar CO tiap bahan bakar pada putaran tetap 1700 rpm	41
Gambar 4.20. Perbandingan kadar CO tiap bahan bakar pada bukaan throttle tetap 20%	41



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	JENIS KATALIS
LAMPIRAN B	DATA PENGUJIAN
LAMPIRAN C	ALAT UKUR UJI EMISI DAN CONTROL PANEL
LAMPIRAN D	SPESIFIKASI DAN KETERANGAN ALAT UJI



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Penelitian

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 jumlah bahan bakar fosil yang terbatas dan 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 terbang 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 premium
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. Ruang Lingkup Permasalahan dan Batasan 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 premium

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

Metode penelitian yang digunakan adalah secara experimental yang meliputi pengujian bahan bakar premium, premium ditambah katalis A, B dan penggunaan keduanya secara bersamaan. Pengujian dilakukan pada putaran mesin 1700 rpm dengan variasi bukaan throttle, juga dilakukan pada bukaan throttle 20% dengan variasi putaran mesin.

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 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menguraikan gambaran mengenai motor otto, bahan bakar hidrokarbon khususnya premium, reaksi pembakaran pada motor bakar, emisi yang dihasilkan oleh motor bakar dan ulasan singkat mengenai peran katalisator pada bahan bakar.

- **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.



BAB 2 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 (360°).

Langkah kerja motor 2 langkah meliputi:

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

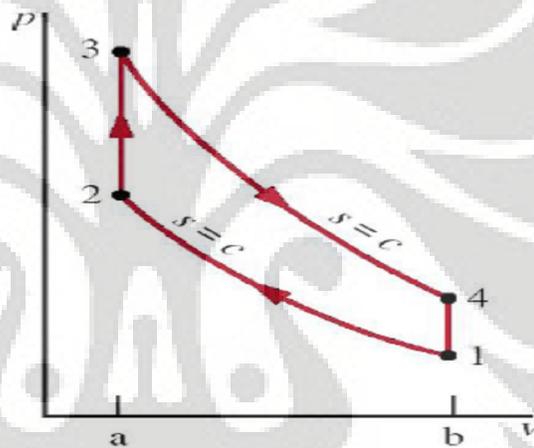
Mesin 4 langkah merupakan salah satu jenis motor pembakaran dalam dimana tiap silindernya membutuhkan empat kali gerakan piston untuk memperoleh satu kali pembakaran (Power). Gerakan tersebut adalah dua kali gerakan ke atas dan dua kali gerakan ke bawah atau dua kali putaran poros engkol (720°).

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*)

2.1.1. Siklus Ideal Mesin Otto

Pada umumnya mesin mobil dan sepeda motor menggunakan 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 energi 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.

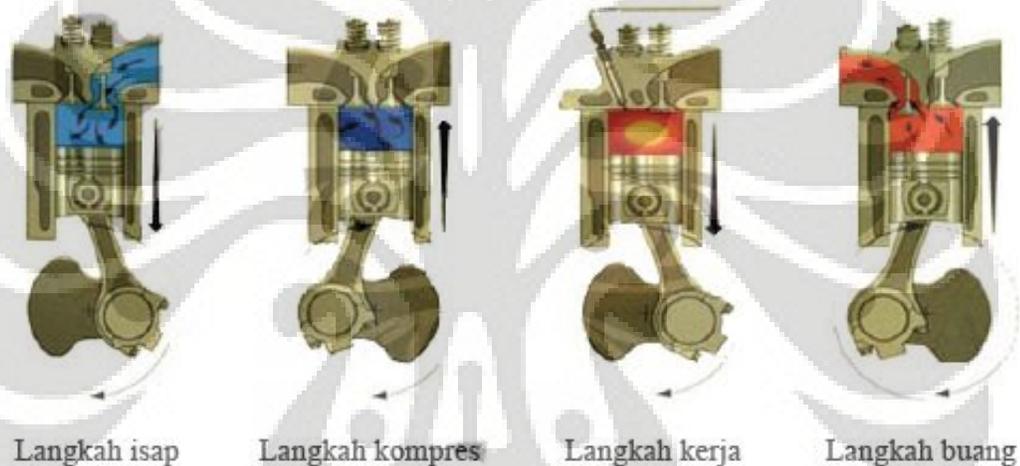
3. Langkah kerja (*power stroke*).

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:



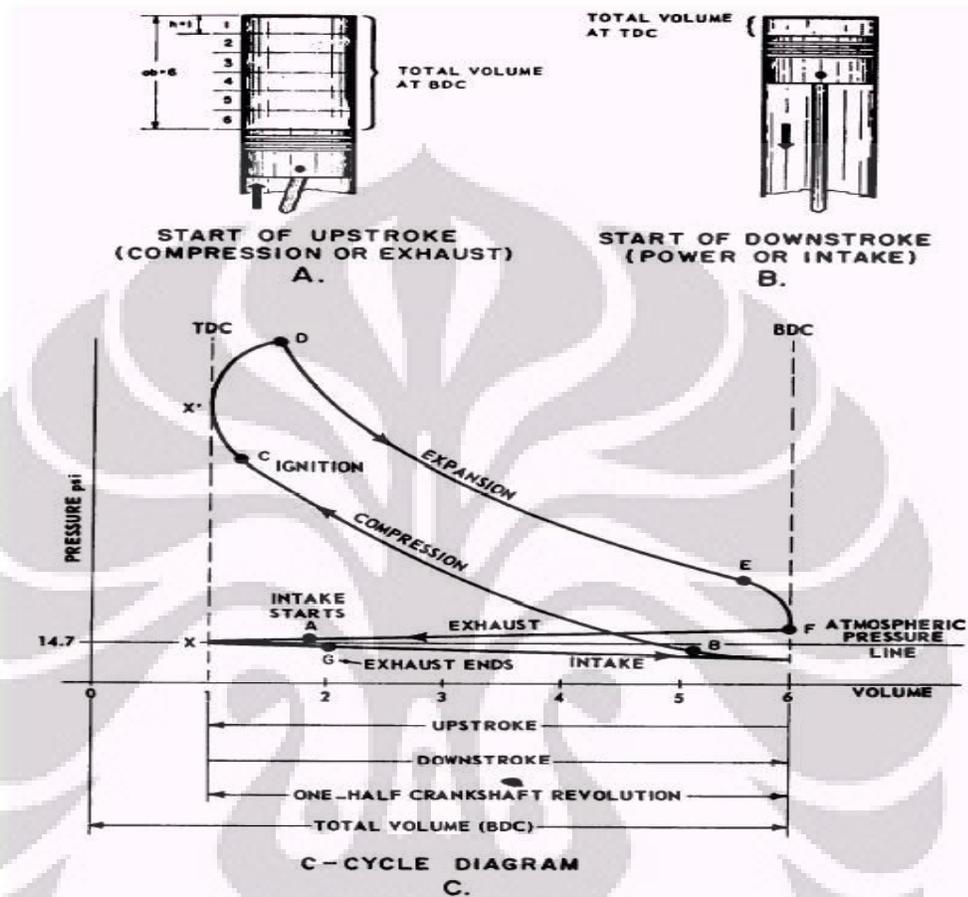
Gambar 2.2. Kerja mesin Otto 4 langkah

2.1.2. Siklus Otto Aktual

Pembahasan sebelumnya menjelaskan tentang siklus pembakaran secara teoritis (ideal) sebagai dasar mesin modern. Pada operasi aktual, mesin modern beroperasi dengan modifikasi dari siklus ideal. Bagaimanapun, beberapa asumsi dari siklus ideal tetap digunakan pada siklus aktual dari mesin modern, seperti yang akan dilihat pada pembahasan selanjutnya tentang contoh penggambaran siklus aktual dari operasi pada mesin bensin. Contoh yang akan digunakan adalah siklus mesin 4-langkah.

Diagram pada gambar dibawah mewakili kondisi perubahan pada silinder mesin bensin selama beroperasi secara aktual. Pada beberapa keadaan terlihat dilebih-lebihkan guna menunjukkan secara lebih jelas

pergerakan piston, di saat yang sama, menunjukkan bagaimana perbedaan siklus teoritis dan aktual.



Gambar 2.3. Diagram siklus Otto aktual

Diagram situasi rasio kompresi dan volume-tekanan untuk siklus *Otto* 4-langkah ditunjukkan pada gambar diatas. Gambaran A menunjukkan piston pada *BDC* saat langkah keatas (*BDC-TDC*); pada mesin siklus 4-langkah, langkah ini dikenal sebagai langkah kompresi atau langkah buang (*exhaust*). Pelajari gambaran A dan B dari gambar. Perhatikan bahwa pergerakan dari *BDC* ke *TDC* (gambaran B), piston menempuh 5/6 dari total jarak AB. Dengan kata lain, volume telah berkurang menjadi seperenam dari volume saat piston di *BDC*. Karena itu, rasio kompresi 6 : 1. Gambaran C menunjukkan perubahan pada volume dan tekanan selama satu siklus penuh 4-langkah. Perhatikan bahwa garis

yang mewakili fase pembakaran dan pembuangan tidak selurus kedua garis pada diagram siklus ideal.

Garis vertikal di sisi kiri mewakili tekanan silinder dalam satuan Pa (*Pascal*). Tekanan atmosfer ditunjukkan dengan garis horisontal yang dinamakan garis tekanan atmosfer. Tekanan dibawah garis ini besarnya lebih kecil dari tekanan atmosfer, sedangkan tekanan diatas garis tersebut lebih besar dari tekanan atmosfer. Garis horisontal yang dibawah mewakili volume silinder dan pergerakan piston. Garis volume dibagi kedalam enam bagian yang disamakan dengan pembagian volume yang terlihat pada gambaran A. Karena pergerakan piston dan volume seimbang (proporsional), jarak antara 0 dan 6 menunjukkan volume saat piston di *BDC*, dan jarak dari 0 ke 1 menunjukkan volume dengan piston pada *TDC*. Jadi, jarak dari 1 ke 6 dapat disamakan sebagai jumlah perjalanan piston dan penomoran yang diberikan menunjukkan perubahan dalam volume dari gerakan resiprokatif piston. Garis kurva pada gambaran C mewakili perubahan tekanan dan volume yang terjadi selama keempat langkah piston pada siklus.

Pada siklus *Otto* aktual, pemasukan bahan bakar dan udara termasuk kedalam kegiatan langkah hisap. Seperti yang terlihat, langkah hisap dimulai sebelum *TDC*, atau pada titik A di gambaran C. Perhatikan bahwa tekanan menurun dan setelah piston mencapai *TDC*, kondisi vakum terjadi sehingga menjadi fasilitas bagi campuran bahan bakar dan udara untuk mengalir masuk kedalam silinder. Langkah hisap kemudian berlanjut beberapa derajat menuju *BDC* dan berakhir pada titik B. Karena sekarang piston berada pada posisi menuju atas, maka langkah berikutnya digantikan oleh langkah kompresi dan berlanjut hingga piston mencapai *TDC*. Perhatikan kenaikan tekanan ($X - X'$) dan penurunan volume ($F - X$). Pengapian nyala (*spark ignition*) pada titik C memulai pembakaran dimana pembakaran tersebut terjadi sangat cepat.

Beberapa perubahan volume terjadi sejak fase pembakaran dimulai sebelum *TDC* dan berakhir setelah *TDC*. Tekanan meningkat tajam selama fase pembakaran (kurva CD). Kenaikan tekanan menghasilkan gaya untuk

mendorong piston bergerak balik. Gas kemudian berekspansi sambil piston bergerak menuju *BDC*. Tekanan menurun seiring dengan volume yang bertambah, dari D ke E. Langkah buang dimulai pada titik E, beberapa derajat sebelum mencapai *BDC*. Tekanan menurun tajam hingga piston mencapai *BDC*. Seiring dengan piston bergerak menuju *TDC*, terjadi penurunan kecil terhadap tekanan akibat gas buang yang dikeluarkan. Langkah hisap berlanjut beberapa derajat melalui *TDC* ke titik G sehingga masukan bahan bakar dan udara membantu dalam pemindahan/pengeluaran gas buang. (Sugiarto, 2005)

2.2. Bahan Bakar

2.2.1. 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*. Pada temperatur ruang, dapat berupa gas ataupun cair. Contoh : methane, ethane, propane, butane.

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*. Pada temperature ruang berbentuk cair. Contoh: cyclohexane, methyl cyclopentane.

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*. Contoh : benzene, naphthalene.

2.2.2. Bahan bakar Bensin

Bensin tersusun dari bermacam-macam senyawa hidrokarbon. Senyawa yang umumnya ditemukan dalam bensin diantaranya paraffin atau alkana ($\pm 53\%$), sikloparafin atau *naphthenes* ($\pm 24\%$), *aromatics* ($\pm 18\%$), dan sejumlah kecil olefin.

Bahan bakar bensin memiliki sifat-sifat utama yang berbeda dengan bahan bakar lain. Sifat yang dimiliki oleh bensin 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.

Bensin juga memiliki syarat-syarat tertentu dalam mendukung kondisi pengoperasian, diantaranya adalah :

1. Mudah terbakar
2. Mudah menguap

Bensin harus mampu membentuk uap dengan mudah untuk memberikan campuran udara dan bahan bakar dengan tepat saat mesin dihidupkan dalam kondisi mesin dingin.

3. Tidak beroksidasi dan bersifat pembersih

Selama disimpan, perubahan kualitas dan perubahan bentuk yang dialami bensin diusahakan sesedikit mungkin. Disamping itu juga bensin harus mampu mencegah pengendapan pada sistem pemasukan (*intake*).

2.3. Proses Pembakaran Dalam Mesin

Proses pembakaran yang terjadi di dalam ruang bakar merupakan serangkaian proses kimia yang melibatkan campuran bahan bakar berupa HC dan oksigen. Proses pembakaran ini menghasilkan empat macam gas buang, antara lain CO, CO₂, NO_x dan HC. Pada proses pembakaran sempurna, hasil yang terbentuk adalah CO₂ dan H₂O. proses pembakaran sempurna dapat dinyatakan dalam reaksi berikut :



Sedangkan pada proses pembakaran yang berlangsung tidak sempurna menghasilkan gas buang berupa CO, NO_x, dan HC serta partikulat pengotor lainnya. Reaksi kimianya dapat ditulis sebagai berikut :



HC merupakan sisa bahan bakar yang tidak ikut terbakar. CO terbentuk akibat kurangnya kadar O₂ dalam proses pembakaran, sehingga yang terbentuk bukanlah CO₂, melainkan CO karena HC yang ada berikatan dengan O₂. NO_x terbentuk pada temperatur tinggi saat campuran udara dengan bahan bakar berlebihan. Proses pembakaran mesin bensin tidak terjadi dengan sempurna karena beberapa faktor, diantaranya :

1. Waktu pembakaran singkat
2. Overlapping katup
3. Udara yang masuk tidak murni hanya oksigen
4. Kompresi tidak terjamin rapat semua.

2.4. Emisi Pembakaran

Selain menghasilkan daya, kerja motor pembakaran dalam juga menghasilkan emisi gas buang. Pada kondisi yang ideal pembakaran bahan bakar berada pada titik stokiometri, yaitu titik dimana jumlah udara tepat membakar satu unit bahan bakar. Namun, kondisi yang ideal tidak pernah terjadi, sehingga muncul zat berbahaya pada emisi gas buang antara lain :

1. HC (hidrokarbon)

Sumber emisi HC adalah berasal dari bahan bakar yang tidak terbakar dan terpecah karena reaksi panas berubah menjadi gugusan HC yang keluar bersama gas sisa pembakaran. Penyebabnya adalah tidak meratanya proses pembakaran antara lain disekitar dinding ruang bakar yang bertemperatur rendah, dan adanya *overlapping* katup pada proses pembilasan.

2. CO₂ (Karbon Dioksida)

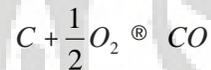
Bila karbon didalam bahan bakar terbakar dengan sempurna, akan terjadi reaksi yang menghasilkan CO₂ sebagai berikut :



Gas sisa pembakaran ini berperan dalam meningkatnya pemanasan global. Cara untuk mengurangi emisi CO₂ adalah dengan mengurangi jumlah bahan bakar yang dibakar.

3. CO (Karbon Monoksida)

Jika pada prose pembakaran jumlah oksigen (udara) tidak cukup, maka pembakaran berlangsung tidak sempurna dan karbon didalam ruang bakar terbakar dalam suatu proses berikut :



Dengan kata lain, emisi CO dari kendaraan banyak dipengaruhi oleh perbandingan campuran antara udara dengan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar (A/F Ratio).

4. NO_x (Nitrogen Oksida)

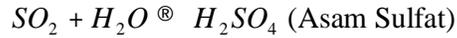
Jika terdapat unsur N₂ dan O₂ pada temperatur 1800° s/d 2000°C, akan terjadi reaksi pembentukan gas NO seperti berikut ini :



Di udara NO dengan mudah berubah menjadi NO₂. NO_x didalam gas buang terdiri dari 95 % NO, 3-4% NO_x dan sisanya N₂O, N₂O₃ dan sebagainya.

5. SO_x (Sulfur Oksida)

Bahan bakar bensin mengandung unsur belerang/sulfur (S). Pada saat terjadi pembakaran, S akan bereaksi dengan H dan O untuk membentuk senyawa Sufat dan Sulfur Oksida.



6. N₂ (Nitrogen)

Udara yang digunakan untuk pembakaran dalam mesin sebagian besar terdiri dari *inert* gas, yaitu N₂. Pada saat terjadi pembakaran sebagian kecil N₂ akan bereaksi dengan O₂ membentuk NO₂. Sebagian besar lainnya tetap berupa N₂ hingga keluar dari mesin.

7. Partikulat

Partikulat terdiri dari unsur C (karbon) yang masih berupa butiran partikel dan residu atau kotoran lain dihasilkan oleh pembakaran pada mesin. Partikulat sebagian besar dihasilkan oleh adanya residu dalam bahan bakar. Residu tersebut tidak ikut terbakar dalam ruang bakar, tetapi terbangun melalui pipa gas buang. Zat yang terkandung dalam partikulat dapat menyebabkan gangguan pernapasan pada manusia dan binatang.

2.5 Katalisator

Secara umum, katalisator adalah suatu zat atau substansi yang meningkatkan kecepatan suatu reaksi pada suhu tertentu tanpa di-transformasi. Katalisator melakukan proses ini dengan mengurangi energi yang diperlukan untuk terjadinya reaksi sehingga menghemat energi, waktu dan biaya. Katalisator biasanya terbuat dari logam Platinum, Paladium dan Radium yang ditempatkan pada permukaan Alumunium Oksida yang tinggi. Logam mulia yang sangat mahal tersebut bertindak sebagai katalisator.

Katalisator Bahan Bakar pada umumnya adalah Katalisator heterogen yang tersusun dari campuran logam unsur berbeda. Berbagai versi sudah dirumuskan dan dievaluasi dalam laboratorium dan pada saat ini sudah tersedia suatu formula untuk tujuan komersil.

Bahan bakar terbuat dari senyawa organik yang pada tingkat molekul tersusun oleh unsur-unsur yang berenergi tinggi dan rendah. Pada saat bahan bakar meninggalkan kilang minyak (*refinery*), bahan bakar tersebut mengalami perubahan yaitu penurunan (degradasi) kualitas dan kehilangan energi potensialnya, yang disebabkan oleh:

- Proses Oksidasi
- Pertumbuhan mikroorganisme

Pada awalnya, bahan bakar yang terdegradasi tidak bisa dilihat dengan mata telanjang. Dengan masa penyimpanan yang lama dan pengaruh lingkungan, bahan bakar akan berubah menjadi semacam pernis yang mengental. Bahan bakar yang mengalami penurunan kualitas ini menimbulkan masalah antara lain:

- Meningkatnya jumlah karbon atau kerak-kerak yang menempel pada saluran.
- Membutuhkan pemanasan yang lama
- Asap berlebih dan mengeluarkan emisi yang berbahaya bagi lingkungan
- Bahan bakar tersebut kehilangan kemampuannya untuk membakar dengan efisien dan optimal.

Katalisator Bahan Bakar bekerja pada unsur-unsur pokok bahan bakar yang terdegradasi, meminimalkannya dan dapat meningkatkan konsentrasi molekul berenergi tinggi dari bahan bakar, sehingga dapat dihasilkan pembakaran yang jauh lebih baik, mesin-mesin akan lebih mudah dihidupkan, pemanasan dan asap berkurang dan komponen saluran bahan bakar tetap lebih bersih, baik pada mesin yang berkarburator maupun sistem injeksi. Bahan bakar yang segar akan menjaga injektor, karburator dan busi tetap bekerja pada kapasitas yang optimal.

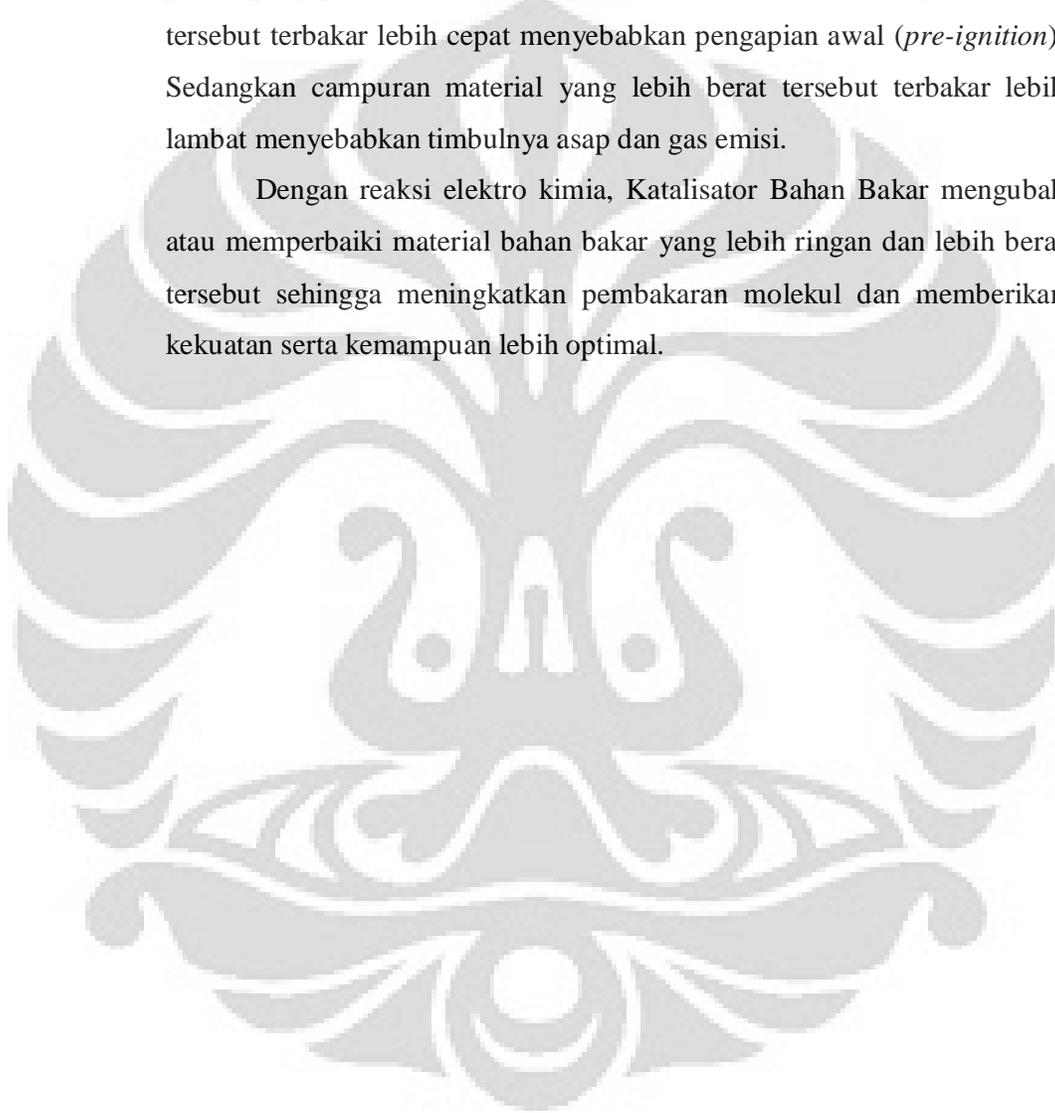
Katalisator Bahan Bakar bekerja mengubah atau memperbaiki bahan bakar yang digunakan dalam proses pembakaran sebelum memasuki ruang pembakaran dengan melalui suatu proses yang disebut proses *de-crack*.

Katalisator bereaksi terhadap bahan bakar yang tidak murni tersebut dan mengubahnya menjadi molekul-molekul kecil yang sangat aktif yang menyebabkan proses pemutusan semua rantai parafin panjang menjadi Alkana jenuh yang memiliki berat molekul yang lebih ringan. Hal ini mengakibatkan bahan bakar terbakar lebih bersih, lebih lengkap dan memperbaiki proses pembakaran. Proses ini mirip dengan proses

pemutusan rantai karbon yang digunakan diindustri minyak (*petroleum industry*) untuk membuat bahan bakar dengan oktan lebih tinggi.

Material bahan bakar yang sebenarnya memiliki berat tertentu tetapi dalam kenyataannya tercampur dengan material-material lain yang lebih ringan dan lebih berat yang dapat menimbulkan masalah dalam proses pengapian (*ignition*). Campuran material yang lebih ringan tersebut terbakar lebih cepat menyebabkan pengapian awal (*pre-ignition*). Sedangkan campuran material yang lebih berat tersebut terbakar lebih lambat menyebabkan timbulnya asap dan gas emisi.

Dengan reaksi elektro kimia, Katalisator Bahan Bakar mengubah atau memperbaiki material bahan bakar yang lebih ringan dan lebih berat tersebut sehingga meningkatkan pembakaran molekul dan memberikan kekuatan serta kemampuan lebih optimal.



BAB 3

METODOLOGI PENGUJIAN DAN PENGOLAHAN DATA

3.1. Metodologi Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui fenomena yang terjadi pada motor otto dengan penggunaan bahan bakar yang menggunakan katalis dengan beberapa variasi yang berbeda. 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 30 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 penambahan katalis dapat meningkatkan performa mesin. Variasi pengujian yang dilakukan meliputi :

1. Variasi Penambahan Katalis Bahan Bakar

Variasi pengujian dari bahan bakar dan katalis :

- a. Premium
- b. Premium + Katalis A (dimasukan kedalam tangki bahan bakar)
- c. Premium + Katalis B (bahan bakar dialirkan melewati katalis B)
- d. Premium + Katalis A + Katalis 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%.

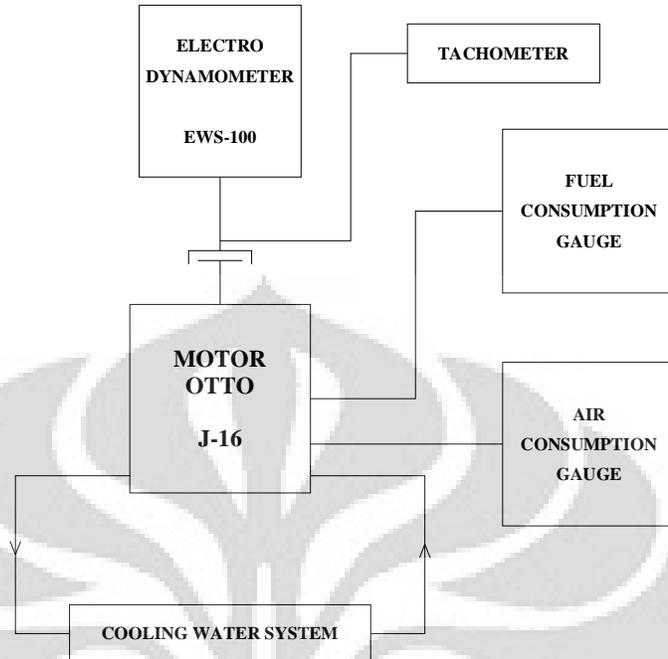
Tujuan dari pengujian ini adalah motor otto dikondisikan dalam keadaan menanjak. Diasumsikan bahwa beban mesin bertambah dikarenakan kendaraan dalam kondisi menanjak sehingga untuk menjaga kecepatan atau putaran motor yang tetap maka diperlukan penambahan bukaannya throttle

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

Bukaannya throttle diatur tetap pada bukaannya 20 % dengan mengatur tombol pengatur bukaannya 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_2O)
4. Data laju aliran bahan bakar setiap 100 mL (detik).
5. Data kadar gas buang, yang meliputi CO_2 (%vol), CO (%vol), HC (ppm), O_2 (%vol) dan NO_x (ppm).

3.2. Prosedur Pengujian

3.2.1. Prosedur Menjalankan Mesin 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 ($\text{min } 300 \text{ kN/m}^2$) 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 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 ($^{\circ}\text{C}$).
 - *Pressure drop* pada manometer dari *air flow rate* (mmH_2O).
 - Presentase O_2 , CO_2 , CO, HC dan NO_x 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 memutus 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 O₂ 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 kanlpot yang masuk ke dalam alat tersumbat.
 - b. Kode '81' (voltage too high) atau '82' (voltage too low)
 - c. Kode '92' (span O₂ 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 pemakaian katalis kepada Premium 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 Premium 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 (Gs)

Persamaan untuk menghitung konsumsi udara masuk adalah sebagai berikut:

$$G_s = a \cdot e \cdot \frac{p}{4} \cdot d^2 \cdot \sqrt{2g \cdot g_a (P_1 - P_2)} \quad [10^{-3} \times \text{Kg/s}]$$

- dimana :
1. a = Koefisien aliran yang melalui nozzle (0,822).
 2. p = 3,1415
 3. g = Gravitasi (9,8 m /s²)
 4. d = Diameter dalam nozzle (0,036 m)
 5. e = Coefficient for incompressible fluid to compressible fluid (1,9.10⁻⁵)

$$\text{Relation of : } \frac{P_1 - P_2}{P_1} = \frac{\frac{h_4 - h_3}{M_2} / 13,5}{P_1} @ 0$$

$$6. g_a = g_N \frac{P_a - j \cdot P_s}{760} \frac{273}{273 + q} + j \cdot g_w$$

- dimana :
- a. g_N = Berat spesifik udara kering (1,293 Kg /m³)
 - b. P_a = Tekanan Atmosfir (761 mmHg)
 - c. j = Kelembapan relatif udara
 - d. P_s = Tekanan uap air
 - e. q = Temperatur udara kering
 - f. g_w = Berat spesifik uap

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

3.3.2. Laju Konsumsi Bahan Bakar (FC)

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

$$FC = \frac{b}{t} \cdot \frac{3600}{1000} \quad [\text{L/hr}]$$

3.3.3. Laju Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

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

$$SFC = \frac{FC}{P} \cdot g \cdot 1000 \quad [\text{g/ps/hr}]$$

dimana ; 1. $P = \frac{2\rho \cdot W \cdot L \cdot N}{60 \cdot 75}$

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

b. W = Beban pada dynamometer

c. N = Kecepatan putar dynamometer

2. g = Berat spesifik bahan bakar

3.3.4. Laju Aliran Gas Buang (Gg)

Persamaan untuk menghitung laju aliran gas buang adalah sebagai berikut :

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

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 :

$$AFR = \frac{G_s}{FC \cdot g} \cdot 3600$$

3.3.6. Excess Air Factor (λ)

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

$$\lambda = \frac{AFR}{AFR_{teoritis}}$$

$$\text{dimana : } AFR_{teoritis} = 34,48 \frac{\alpha C}{\epsilon^3} + H \frac{\ddot{o}}{\emptyset}$$

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 :

$$BHP = P \cdot K$$

$$\text{dimana ; } K = \frac{\alpha}{\epsilon} \frac{749}{P_a - j \cdot P_s} \frac{\ddot{o}}{\emptyset} \sqrt{\frac{273 + q}{293}}$$

3.3.8. Efisiensi Thermal

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 :

$$h_{th} = \frac{632 \cdot BHP}{Q_f} \cdot 100$$

dimana : $Q_f = H \cdot FC \cdot g$

dimana : 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 non katalis dijadikan acuan terhadap pengujian premium dengan katalis, sehingga didapat perbandingan hasil dan memiliki pola yang sama atau tidak.

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 kinerja antara premium dengan katalis dan pertamax serta pertamax plus.. Untuk kedua grafik tersebut dilihat perbandingannya dengan pertamax plus sebagai acuan karena kualitas bahan bakarnya diklaim adalah yang terbaik. Kedua jenis grafik tersebut dilakukan untuk masing - masing pengujian baik dalam kondisi putaran motor konstan ataupun bukaan throttle konstan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dibahas tentang perbandingan unjuk kerja mesin otto yang menggunakan katalis dan tanpa katalis. Perbandingan ini meliputi :

1. Brake Horse Power (BHP)
2. Konsumsi bahan bakar spesifik
3. Efisiensi Thermal
4. Emisi gas buang yang dihasilkan

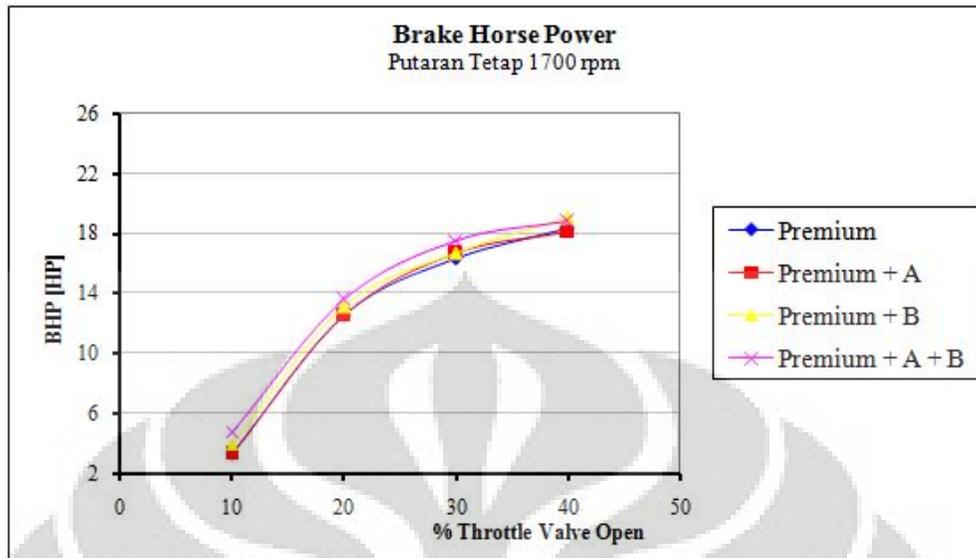
Analisa dilakukan terhadap unjuk kerja mesin otto dengan putaran mesin yang berbeda-beda dan beberapa variasi bukaan throttle.

4.1. Brake Horse Power berbagai metode penggunaan katalis dan tanpa katalis

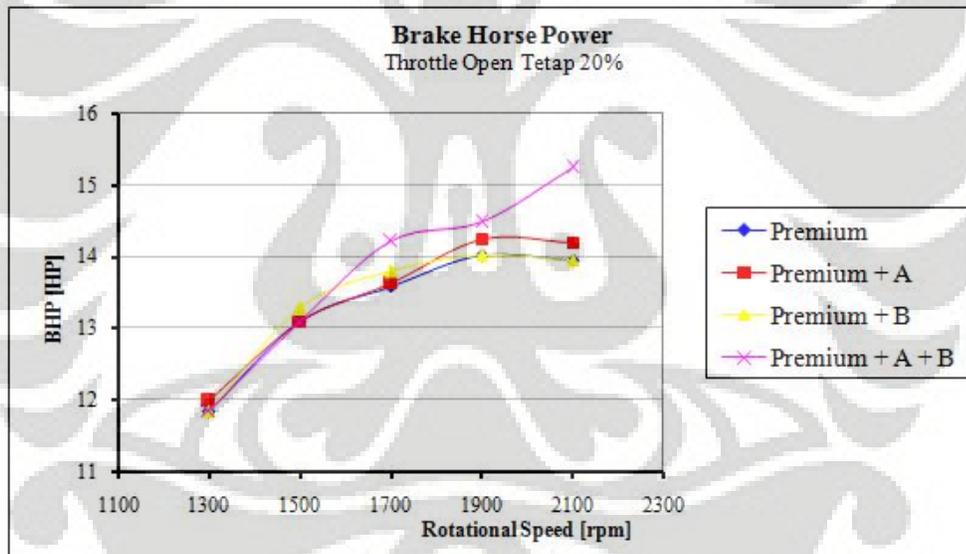
Dari gambar, penggunaan katalis dengan variasinya pada umumnya menghasilkan nilai BHP yang lebih tinggi bila dibandingkan tanpa katalis. Pada pengujian dengan putaran tetap 1700 rpm dan variasi bukaan throttle, terlihat bahwa kombinasi pemakaian katalis memiliki nilai BHP yang tertinggi bila dibandingkan dengan penggunaan katalis secara terpisah dan tanpa katalis.

Sedangkan pada saat throttle tetap dan variasi rpm, BHP dari penggunaan kombinasi katalis tetap memiliki nilai yang paling baik dibandingkan dengan nilai-nilai lainnya. Perbedaan yang terjadipun cukup besar.

Dari grafik didapatkan nilai BHP tertinggi pada putaran tetap dan variasi bukaan throttle adalah 18,821 [HP] yang terjadi pada bukaan 40%. Untuk penggunaan mesin dengan variasi rpm didapat angka 15,242 pada 2100 rpm. Bentang nilai kenaikan BHP rata-rata antara premium dengan penggunaan katalis berkisar 2,27%-9,26%.



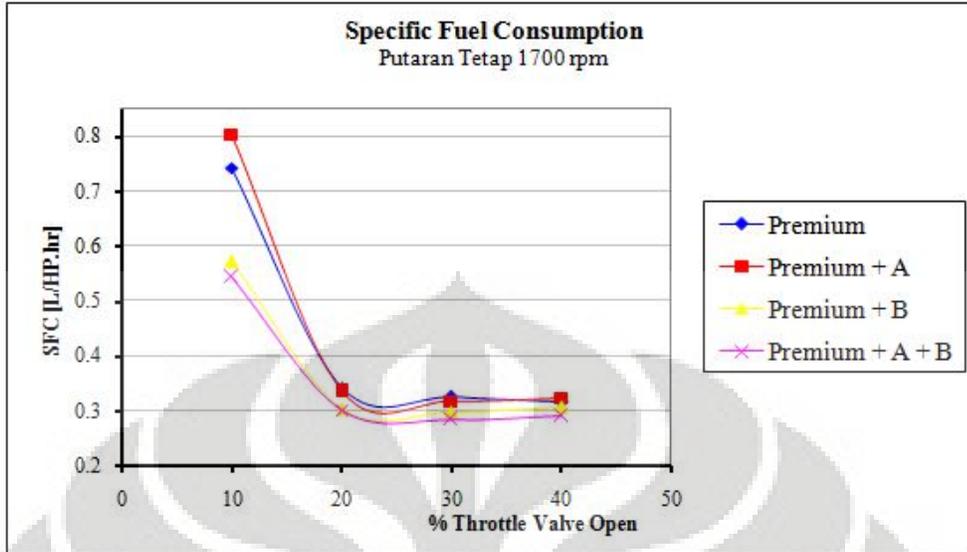
Gambar 4.1. Perbandingan BHP pada mesin dengan putaran tetap 1700 rpm



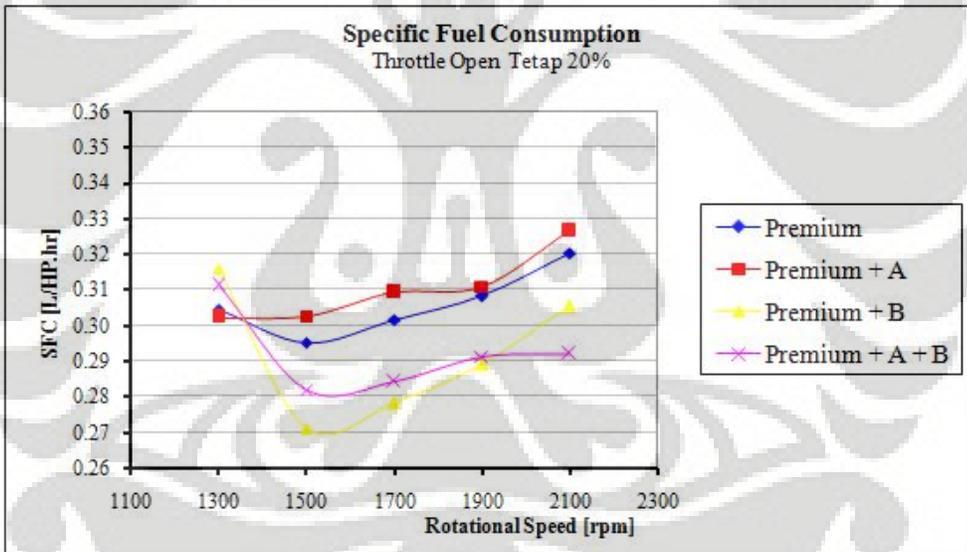
Gambar 4.2. Perbandingan BHP pada mesin dengan bukaan throttle tetap 20%

4.2. Specific Fuel Consumption berbagai metode penggunaan katalis dan tanpa katalis

Untuk konsumsi bahan bakar spesifik mesin otto dengan penggunaan katalis dan tanpa katalis dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 4.3. Perbandingan SFC pada mesin dengan putaran tetap 1700 rpm



Gambar 4.4. Perbandingan SFC pada mesin dengan bukaan throttle tetap 20%

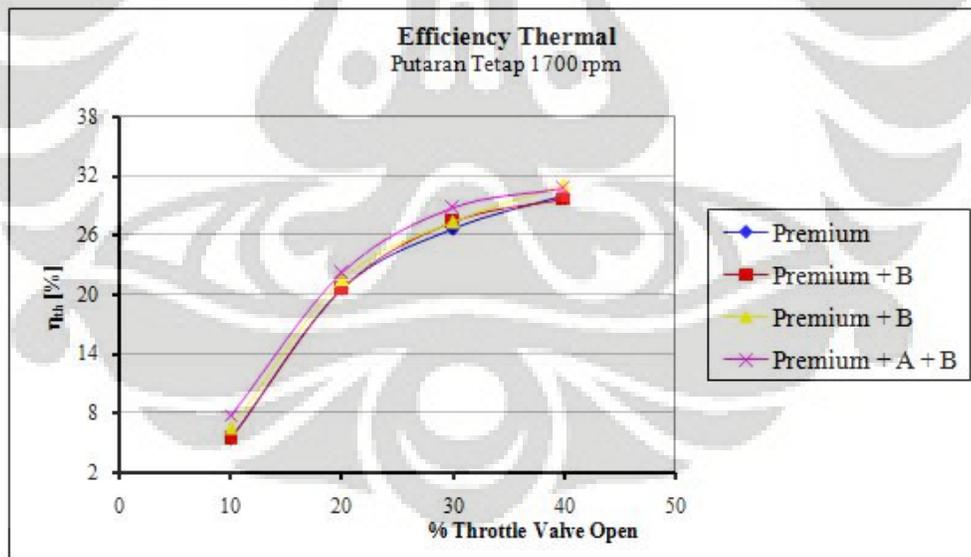
Nilai SFC penggunaan kombinasi katalis memiliki nilai yang paling rendah dibandingkan dengan nilai lainnya. Namun pemakaian katalis dengan type A memiliki nilai SFC yang lebih besar 8,2% daripada premium tanpa katalis yang terjadi pada bukaan throttle 10%. Penurunan nilai SFC rata-rata antara premium dan penggunaan kombinasi katalis berkisar pada 15,2%.

Sedangkan pada pengujian dengan bukaan throttle tetap penggunaan katalis type A memiliki nilai lebih tinggi dari pada premium hampir diseluruh putaran mesin. Pada pengujian ini, nilai SFC yang terbaik justru di miliki oleh penggunaan katalis type B yang mengalami penurunan rata-rata 4,64% dibandingkan dengan premium. Nilai terendah juga dicapai pada penggunaan type B yang mencapai 0,271 [L/HP.hr] yang terjadi pada putaran 1500 rpm.

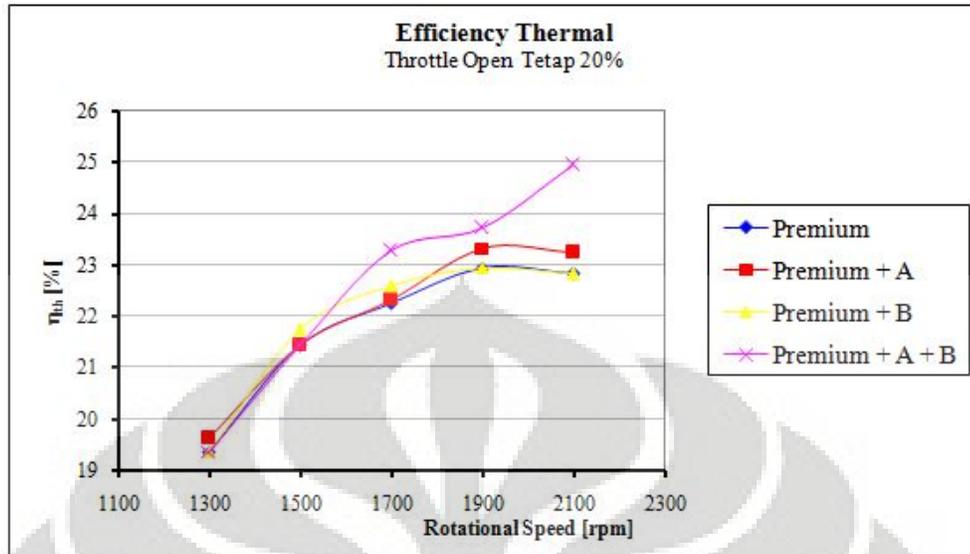
4.3. Efisiensi Thermal berbagai metode penggunaan katalis dan tanpa katalis

Kenaikan efisiensi thermal menandakan kenaikan kesempurnaan pembakaran. Yang berarti bahwa volume bahan bakar yang di konsumsi lebih banyak yang terbakar dan lebih sedikit yang terbuang.

Dari grafik tampak bahwa dengan penggunaan katalis, terjadi peningkatan efisiensi thermal lebih baik pada saat penggunaan katalis dengan berbagai tipe dibandingkan tanpa katalis.



Gambar 4.5. Perbandingan efisiensi thermal pada mesin dengan putaran tetap 1700 rpm



Gambar 4.6. Perbandingan efisiensi thermal pada mesin dengan bukaan throttle tetap 20%

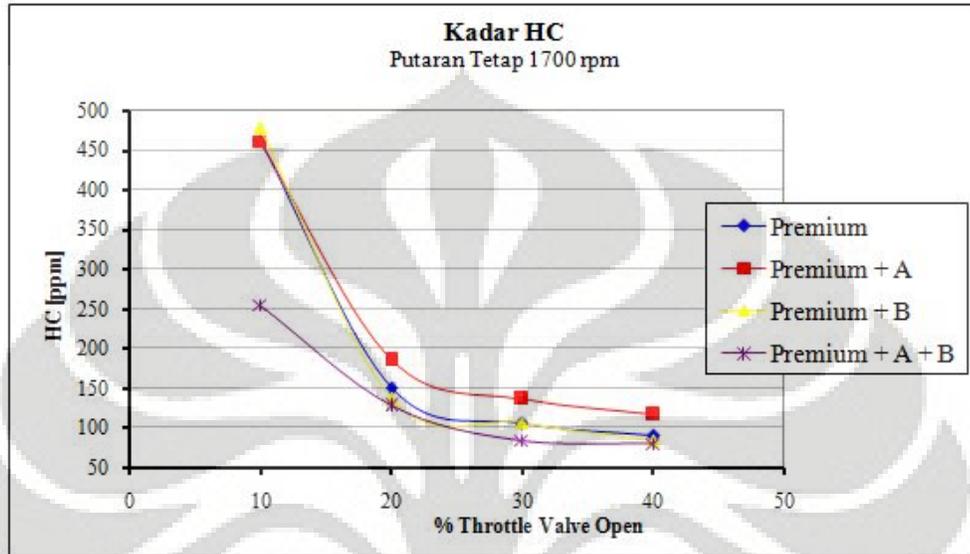
Penggunaan kombinasi katalis juga menyebabkan nilai efisiensi thermal terus meningkat tanpa terjadi penurunan. Untuk efisiensi thermal terbaik dengan mesin dengan putaran tetap, kombinasi penggunaan katalis pada bukaan throttle 40%, efisiensi yang dicapai adalah sebesar 30,804%.

Untuk throttle tetap, penggunaan kombinasi katalis memiliki nilai yang terus meningkat dan mencapai nilai 24,945% pada 2100 rpm. Sementara nilai yang lain menurun pada putaran maksimum, nilai efisiensi thermal kombinasi katalis meningkat dan memiliki selisih 9,26 % dengan nilai efisiensi thermal premium. Secara rata-rata, untuk bahan bakar premium dengan penggunaan kombinasi katalis terjadi peningkatan 15,51% pada putaran tetap dan 3,44% pada bukaan throttle tetap bila dibandingkan dengan premium tanpa katalis.

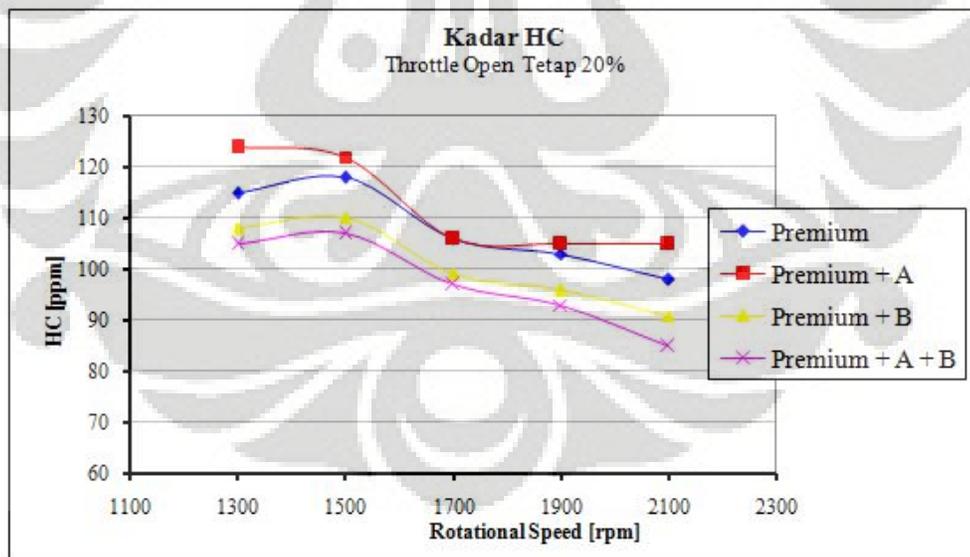
4.4. Kadar Hidrokarbon (HC) berbagai metode penggunaan katalis dan tanpa katalis

Kandungan HC yang terukur pada gas buang selama pengujian ditunjukkan dengan satuan ppm. Grafik menunjukkan, kadar HC yang paling kecil dihasilkan oleh mesin yang menggunakan kombinasi katalis. Penggunaan katalis type A menghasilkan kadar HC yang lebih tinggi

sepanjang operasional mesin dibandingkan dengan yang dihasilkan oleh premium non katalis. Penurunan rata-rata kadar HC yang menggunakan kombinasi katalis pada putaran mesin tetap dibandingkan dengan premium mencapai 22,407%.



Gambar 4.7. Perbandingan kadar HC yang dihasilkan mesin dengan putaran tetap 1700 rpm



Gambar 4.8. Perbandingan kadar HC yang dihasilkan mesin dengan bukaan throttle tetap 20%

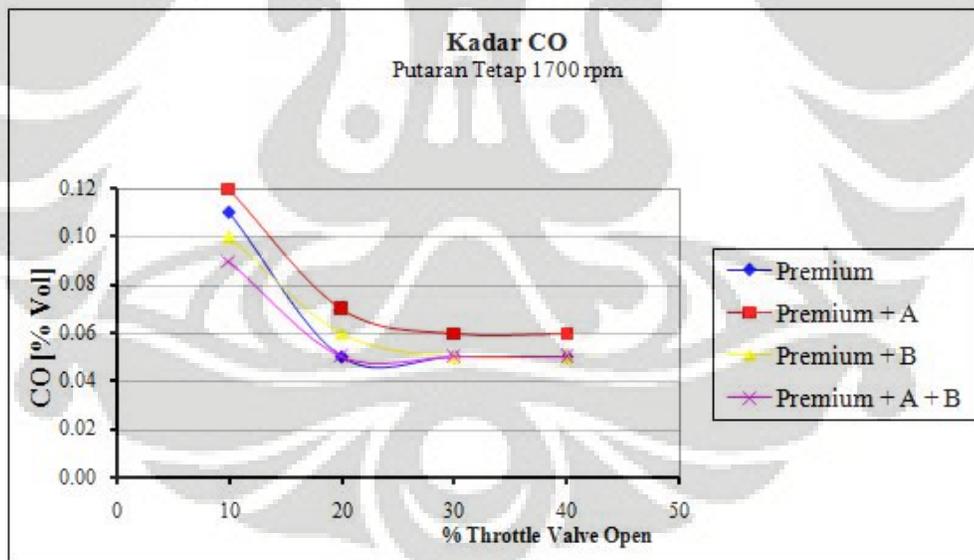
Sedangkan pada mesin yang beroperasi dengan bukaan throttle tetap, kadar HC yang dihasilkan memiliki pola yang hampir sama. Nilai

yang paling tinggi dihasilkan oleh penggunaan katalis type A, namun sempat memiliki nilai yang sama dengan premium pada 1700 rpm sebesar 106 ppm. Rata-rata penurunan kadar HC pada premium dan penggunaan kombinasi kedua katalis mencapai 9,9%.

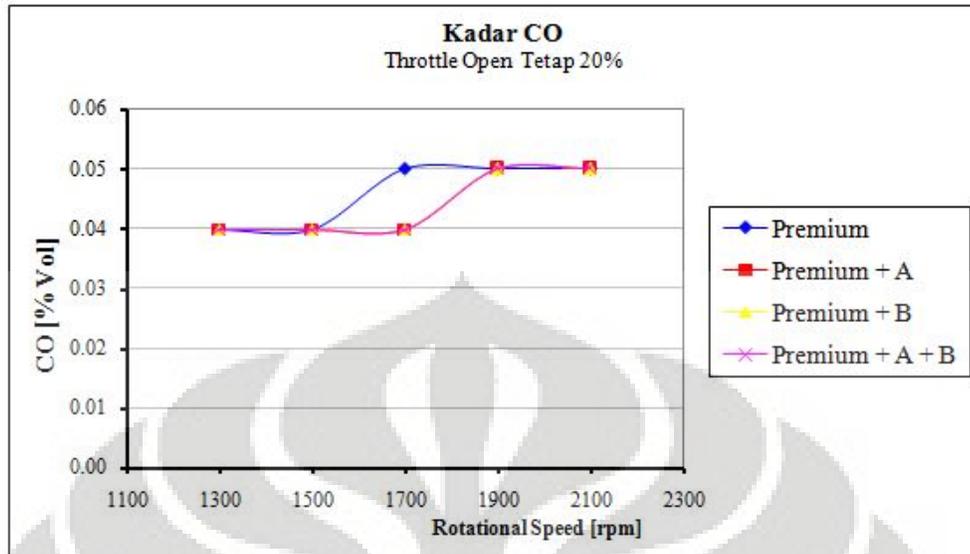
4.5. Kadar Carbon Monoksida (CO) berbagai metode penggunaan katalis dan tanpa katalis

Pemakaian kombinasi kedua katalis juga menyebabkan terjadi penurunan kadar CO yang dihasilkan pada mesin yang beroperasi dengan putaran tetap 1700 rpm. Namun pengurangan ini hanya terjadi saat bukaan throttle 10 %. Pada bukaan throttle lainnya, kadar CO yang dihasilkan oleh premium dan premium plus kedua katalis memiliki nilai yang sama.

Begitu juga pada mesin dengan bukaan throttle tetap, kadar CO yang dihasilkan oleh semua metode penggunaan katalis memiliki nilai yang sama, kecuali pada putaran 1700 rpm yang berselisih 0,01%.



Gambar 4.9. Perbandingan kadar CO yang dihasilkan mesin dengan putaran tetap 1700 rpm



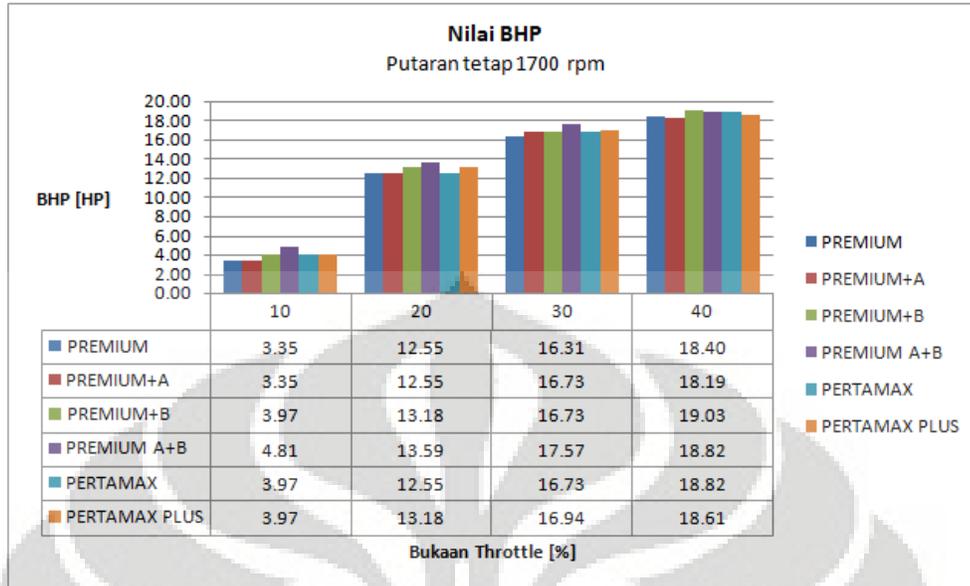
Gambar 4.10. Perbandingan kadar HC yang dihasilkan mesin dengan bukaan throttle tetap 20%

4.6. Perbandingan Unjuk kerja Serta Emisi Gas Buang Penggunaan Katalis Pada Premium Terhadap Pertamina Dan Pertamina Plus

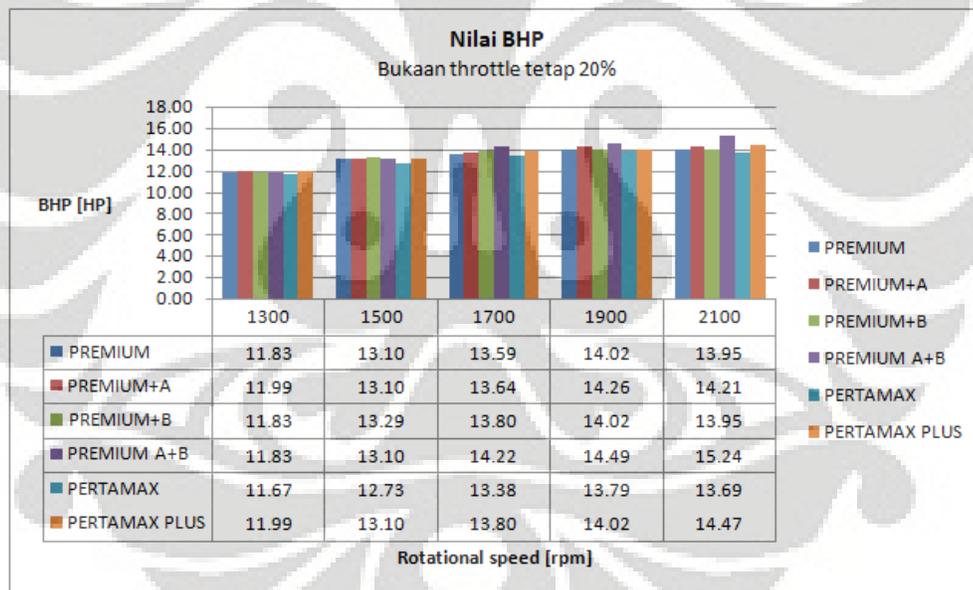
4.6.1. Daya (BHP)

Penggunaan katalis secara bersamaan pada premium mampu menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan daya yang dihasilkan oleh Pertamina maupun Pertamina Plus. Namun pada putaran tetap dan bukaan 40%, daya yang dihasilkan oleh Pertamina sama dengan daya yang dihasilkan oleh premium yang menggunakan katalis secara bersamaan.

Sedangkan pada bukaan throttle tetap, nilai BHP yang dicapai oleh penggunaan kedua katalis pada premium mencapai 5,32% lebih tinggi dari nilai yang ditunjukkan Pertamina Plus. Pada putaran mesin 1500 rpm, premium dengan katalis B justru memiliki nilai BHP yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai pemakaian kedua katalis, dengan selisih 0,19 [HP].



Gambar 4.11. Perbandingan nilai BHP tiap bahan bakar pada putaran tetap 1700 rpm

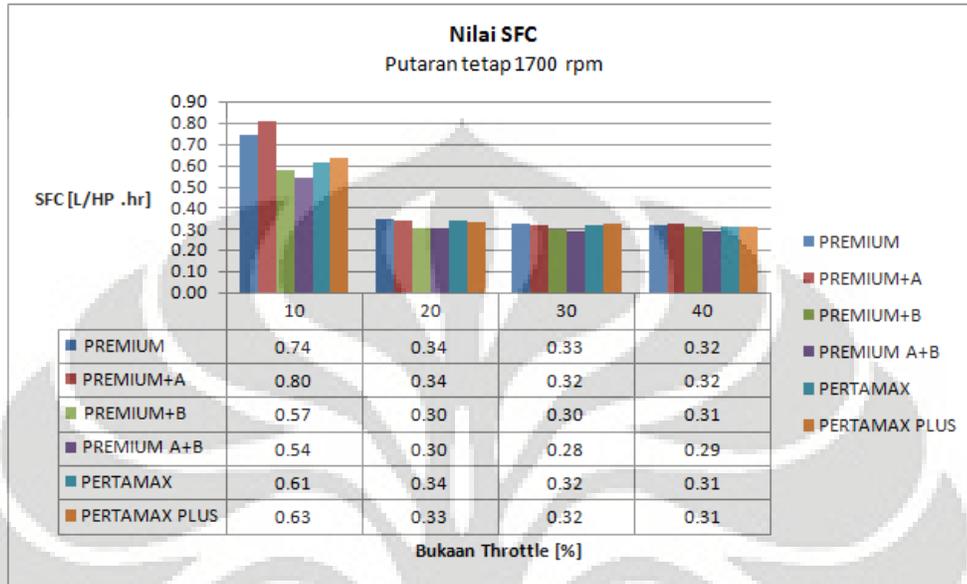


Gambar 4.12. Perbandingan nilai BHP tiap bahan bakar pada bukaan throttle tetap 20%

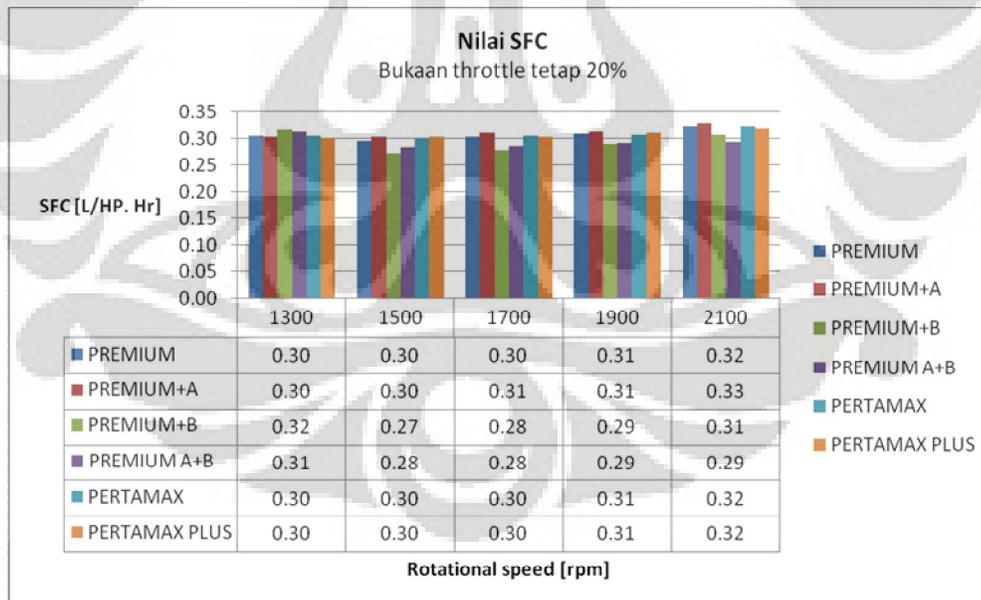
4.6.2. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Pada perbandingan nilai SFC ini, terlihat bahwa premium yang menggunakan kedua katalis memiliki nilai yang paling rendah

dibandingkan dengan nilai lainnya pada mesin dengan putaran motor tetap 1700 rpm. Namun, penggunaan katalis A, memiliki nilai SFC yang lebih tinggi dibandingkan yang lain pada bukaan 10% dan 40%.



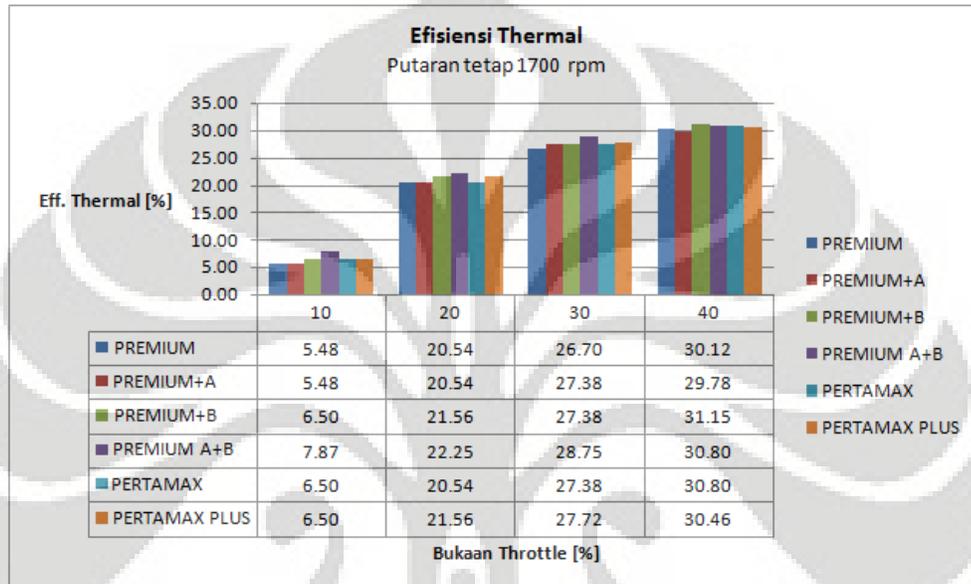
Gambar 4.13. Perbandingan nilai SFC tiap bahan bakar pada putaran tetap 1700 rpm



Gambar 4.14. Perbandingan nilai SFC tiap bahan bakar pada bukaan throttle tetap 20%

Sedangkan pada bukaan throttle tetap, nilai SFC dari premium dan kedua katalis menghasilkan SFC yang cukup tinggi. Namun pada mesin dengan operasional seperti ini, nilai SFC yang dicapai oleh semua bahan bakar hampir sama dan tidak ada perbedaan yang terlalu menonjol.

4.6.3. Efisiensi Thermal

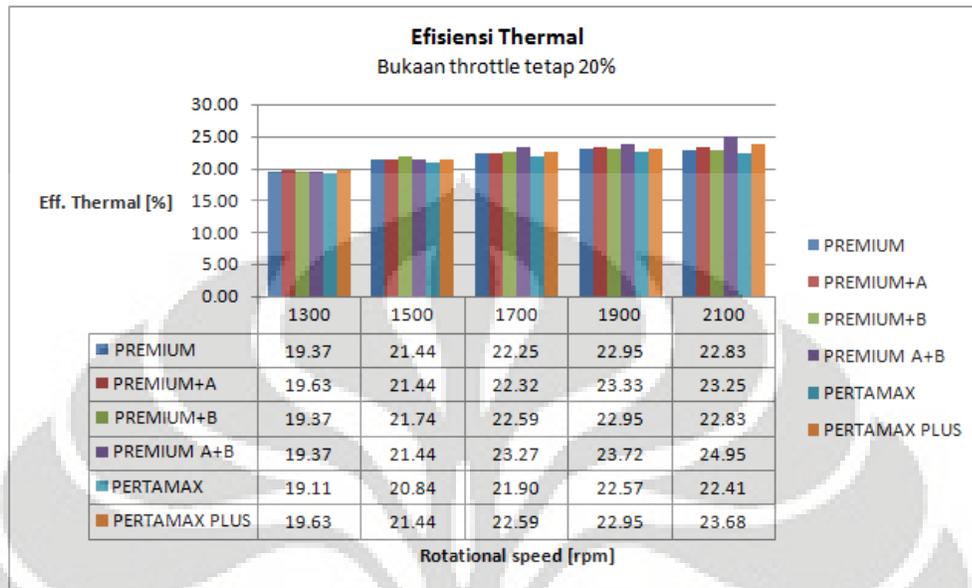


Gambar 4.15. Perbandingan nilai efisiensi thermal tiap bahan bakar pada putaran tetap 1700 rpm

Pada bukaan 10%, 20%, dan 30%, (gambar di atas) penggunaan kedua katalis pada premium menghasilkan efisiensi yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar pertamax dan pertamax plus. Namun pada bukaan 40%, efisiensi thermal yang paling tinggi diraih oleh premium dengan katalis B, yaitu mencapai 31,15%. Sedangkan penggunaan kedua katalis memiliki nilai yang sama dengan pertamax pada bukaan tersebut.

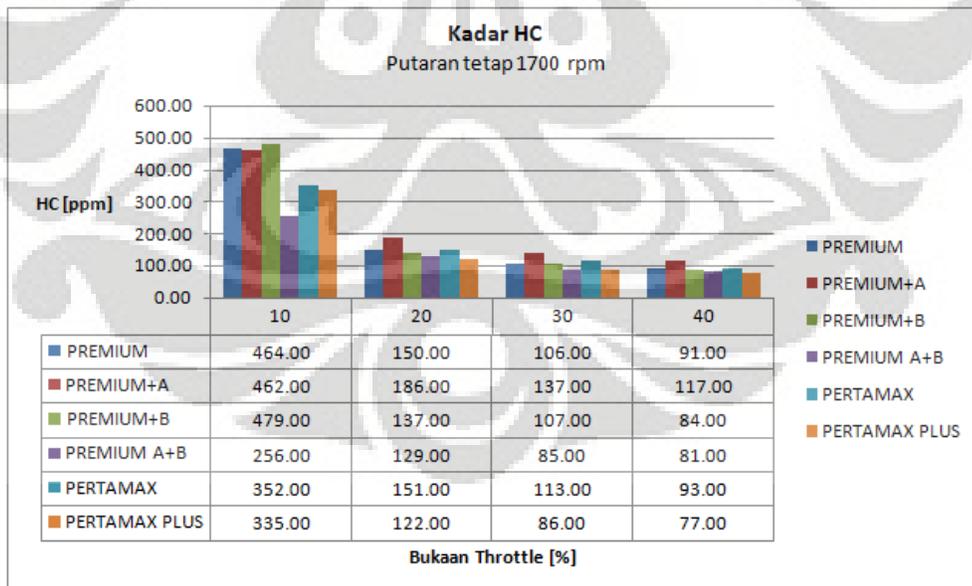
Pada mesin dengan bukaan throttle tetap (gambar di bawah), premium dengan kedua katalis memiliki nilai efisiensi paling tinggi pada putaran 1700, 1900 dan 2100 rpm. Pada putaran 1300 rpm dan 1500, efisiensi paling tinggi dicapai oleh premium dengan katalis A sebesar 19,63% dan premium dengan katalis B sebesar 21,74%. Jadi secara

keseluruhan, penggunaan katalis dapat memberikan nilai efisiensi thermal yang lebih baik dari pada bahan bakar pertamax dan pertamax plus.



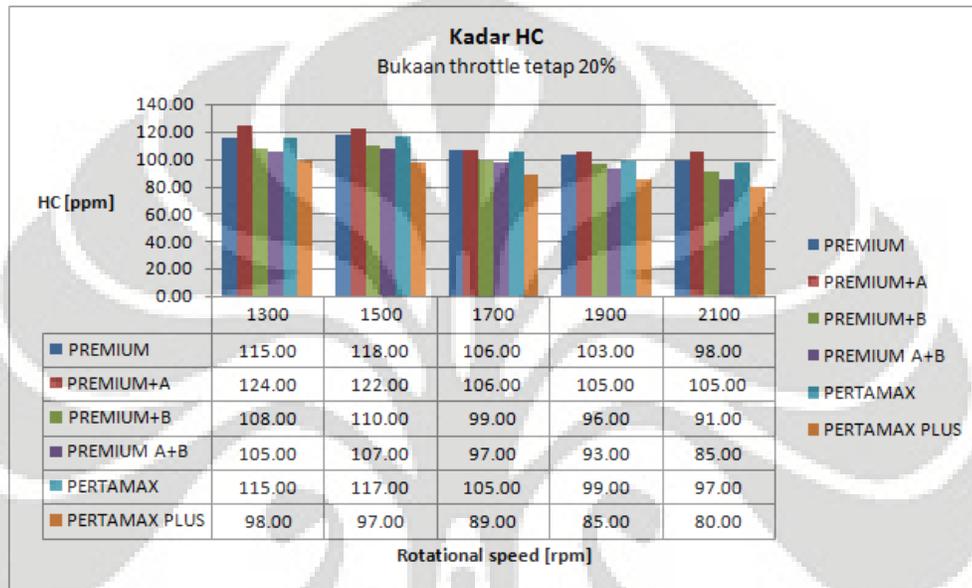
Gambar 4.16. Perbandingan nilai efisiensi thermal tiap bahan bakar pada bukaan throttle tetap 20%

4.6.4. Kadar Hidrokarbon (HC)



Gambar 4.17. Perbandingan kadar HC tiap bahan bakar pada putaran tetap 1700 rpm

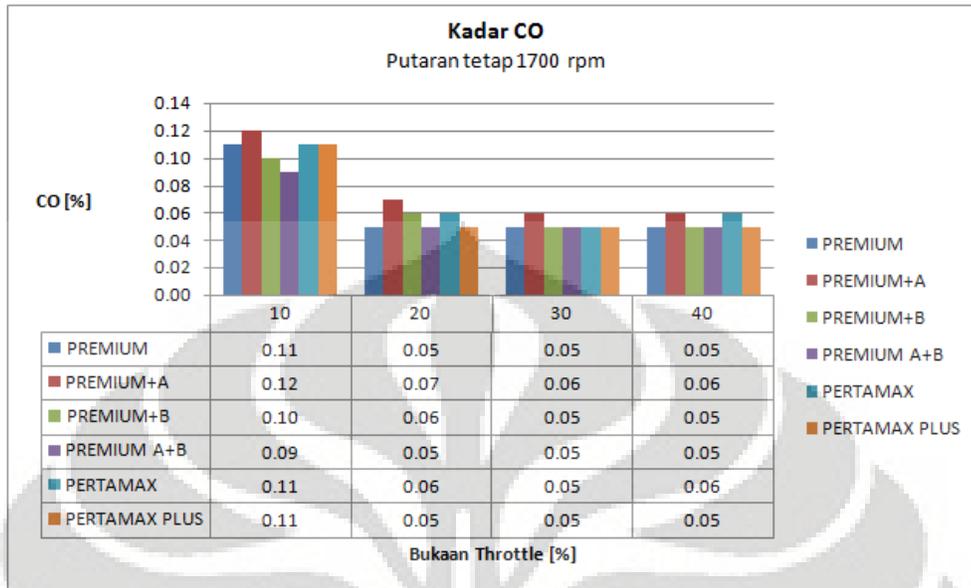
Dari grafik diatas menunjukkan bahwa penggunaan kedua katalis pada premium menghasilkan kadar HC yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar yang lainnya. Nilai yang paling rendah mencapai 81 [ppm] pada bukaan throttle 40%. Namun untuk pemakaian katalis secara terpisah justru menghasilkan HC lebih besar dibandingkan dengan premium murni serta pertamax dan pertamax plus.



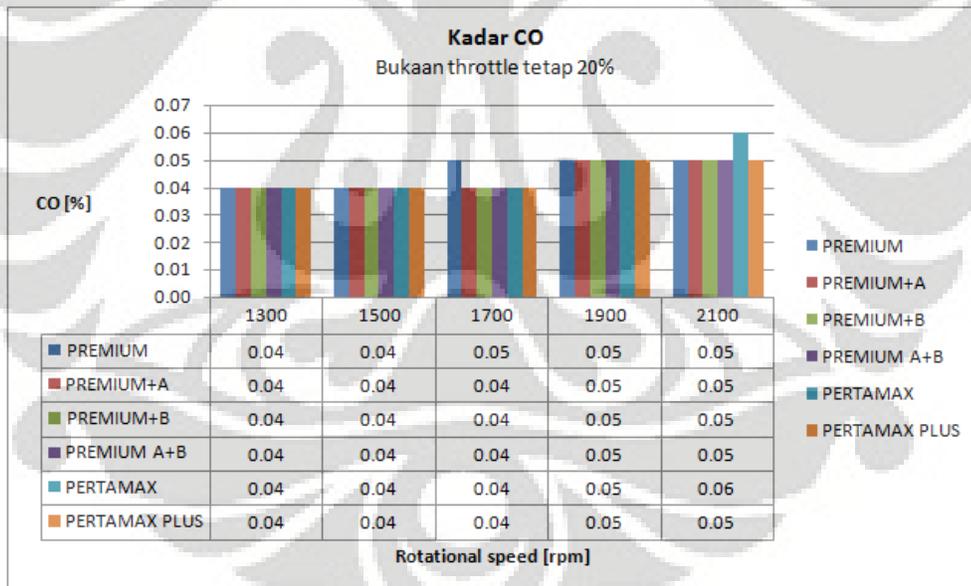
Gambar 4.18. Perbandingan kadar HC tiap bahan bakar pada bukaan throttle tetap 20%

Pada mesin dengan bukaan throttle tetap, kadar HC yang dihasilkan oleh premium dengan penambahan kedua katalis memiliki nilai yang lebih rendah bila dibandingkan dengan premium murni dan pertamax. Namun untuk operasional ini, kadar HC yang paling sedikit dihasilkan oleh bahan bakar pertamax plus. Selisih rata-rata antara pertamax plus dan pemakaian kedua katalis pada premium mencapai 7,75%. Jadi, penggunaan kedua katalis pada premium dapat menurunkan jumlah HC yang dihasilkan dibandingkan dengan premium dan pertamax, namun masih lebih tinggi bila dibandingkan dengan pertamax plus.

4.6.5. Kadar CO



Gambar 4.19. Perbandingan kadar CO tiap bahan bakar pada putaran tetap 1700 rpm



Gambar 4.20. Perbandingan kadar CO tiap bahan bakar pada bukaan throttle tetap 20%

Penggunaan kedua katalis pada premium mampu menghasilkan nilai CO yang paling baik pada putaran mesin tetap dan bukaan throttle 10% dan 20%. Untuk variasi bukaan throttle lainnya, Kadar CO yang

dihasilkan relatif sama bila dibandingkan dengan bahan bakar yang lain. Penggunaan katalis A pada premium justru menghasilkan kadar CO yang paling tinggi, dengan capaian nilai 0,12 [% vol] pada bukaan throttle 10%. Sedangkan untuk mesin yang beroperasi dengan bukaan throttle tetap nilai CO yang dihasilkan oleh seluruh komponen relatif sama.



BAB 5

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Penggunaan katalis pada bahan bakar premium dapat meningkatkan daya yang dihasilkan dan nilai efisiensi thermal serta mengurangi konsumsi bahan bakar spesifik.
2. Pemakaian katalis pada premium juga dapat memperbaiki kualitas dari emisi yang dihasilkan.
3. Metode penggunaan katalis untuk mencapai hasil yang terbaik adalah dengan memanfaatkan kedua katalis tersebut secara bersamaan, yang dimasukan kedalam tangki bahan bakar maupun yang dialiri oleh bahan bakar
4. Penggunaan katalis pada premium juga dapat menghasilkan nilai yang lebih baik dari pada nilai yang dicapai oleh pertamax dan pertamax plus.

5.2. Saran

Dari hasil beberapa pengujian, beberapa saran yang dapat dikemukakan antara lain :

1. Pemasangan katalis pada kendaraan dianjurkan untuk meningkatkan performa mesin dan kualitas gas buang yang dihasilkan.
2. Perlu penelitian lebih lanjut pada mesin kendaraan yang memiliki *compression ratio* yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Sugiarto, Bambang. *Motor Pembakaran Dalam*. Departemen Teknik Mesin, FTUI Depok, 2006

Juanda Husman, Harry. *Kinerja Mesin Otto Berbahan Bakar Dasar Premium Dengan Penambahan Campuran Okdigenat Sebagai Aditif*. Skripsi, Departemen Teknik Mesin, FTUI, Depok, 2006

Arinal. *Analisa Kinerja Mesin Otto Berbahan Bakar Premium Dengan Penambahan Aditif Dan Variasi Ignition Timing*. Tesis, Departemen Teknik Mesin, FTUI, Depok, 2006

Seiki, Ogawa. *Research Engine Test Bed Manual*. Tokyo, Japan

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



LAMPIRAN

LAMPIRAN A



Gambar Katalis jenis A

Katalis ini dimasukkan ke dalam tangki bahan bakar



Gambar Katalis jenis B

Katalis ini diletakkan pada saluran bahan bakar antara karburator dan Pompa bahan bakar

LAMPIRAN B



LAMPIRAN C

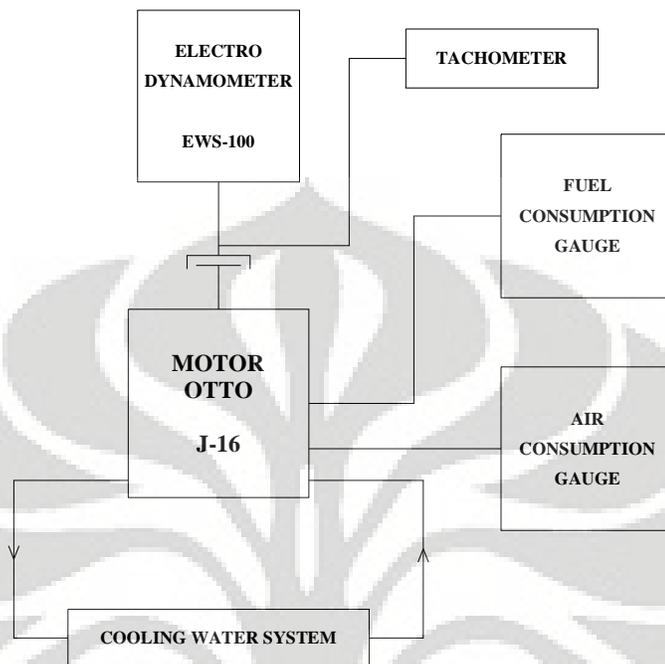


Gambar : Alat ukur uji emisi



Gambar : Control Panel

LAMPIRAN D



Gambar: Skema Instalasi Pengujian Motor Otto

Spesifikasi Engine

Model	: GWE-80/100-HS-AV
Type	: J-16(Nissan Motor Co, Ltd)
Bore diameter	: 78 mm
Stroke	: 82 mm
Swept Volume	: 1567 cc
Compression ratio	: 8.2 to 1
Max. Speed	: 5200 rev/min
Diameter of Exhaust pipe	: 1 ¼ "

