

**PENGARUH PROSENTASE CAMPURAN PREMIUM
DENGAN BIOPREMIUM TERHADAP UNJUK KERJA DAN
EMISI GAS BUANG MOTOR BENSIN 4 LANGKAH**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Konversi Energi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

FERDINAND GUNAWAN

NIM. 0310620049

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

TEKNIK MESIN

MALANG

2007

**PENGARUH PROSENTASE CAMPURAN PREMIUM
DENGAN BIOPREMIUM TERHADAP UNJUK KERJA DAN
EMISI GAS BUANG MOTOR BENSIN 4 LANGKAH**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh:

FERDINAND GUNAWAN

NIM. 0310620049

Telah Diperiksa dan Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Rudy Soenoko, Dr., Ir., M.Eng.Sc

NIP. 131 411 121

Lilis Yuliati, ST., MT.

NIP. 132 258 191

**PENGARUH PROSENTASE CAMPURAN PREMIUM DENGAN
BIOPREMIUM TERHADAP UNJUK KERJA DAN EMISI GAS BUANG
MOTOR BENSIN 4 LANGKAH**

Disusun oleh:

Ferdinand Gunawan

0310620049

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada tanggal 1 Februari 2007

Dosen Penguji

Skripsi 1

Ir. Pratikto, M.MT.

NIP. 130 928 864

Skripsi 2

Ir. I Made Gunadiarta, MT

NIP. 130 604 495

Komprehensif

Ir. Handono Sasmito, M.Eng.Sc

NIP. 130 818 811

Mengetahui:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ir. Bambang Indrayadi, MT

NIP. 131 653 469

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk menulis skripsi ini dengan baik.

Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh oleh mahasiswa jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik. Selain itu penulisan skripsi ini akandapat melatih mahasiswa untuk memahami, menganalisa, dan menyelesaikan masalah yang nantinya mungkin dapat dijumpai di dunia kerja.

Dalam kesempatan ini, saya mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr.Ir.Rudy Soenoko, M.Eng.Sc selaku pembimbing 1 skripsi dan Ibu Lilis Yulianti, ST.MT. sebagai pembimbing 2 skripsi.
2. Bapak Ir.Bambang Indrayadi, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin
3. Bapak Ir.Djoko Sutikno, M.Eng selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin
4. Kedua orang tua saya atas doanya dan segala bantuan baik moril dan materiil.
5. Teman-teman yang telah membantu penulisan skripsi ini yang tidak mungkin disebutkan satu-persatu.

Penulis sadar bahwa skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini berguna bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca pada umumnya.

Malang, 23 Januari 2007

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Motor Pembakaran Dalam	5
2.2 Motor Bensin 4 Langkah	6
2.2.1 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah	7
2.2.2 Bagian Motor Bensin 4 Langkah	9
2.2.3 Rumus Perhitungan	11
2.3 Pembakaran	16
2.4 Bahan Bakar dan Udara pembakaran	19
2.5 <i>Self Ignition</i> dan Angka Oktan	25
2.6 Emisi Gas Buang	31
2.7 Hipotesa	34
BAB III METODOLOGI	
3.1 Metode Penelitian	35
3.2 Bahan Yang Digunakan	35
3.3 Peralatan Yang Digunakan	35
3.4 Tempat Penelitian	36
3.5 Variabel Penelitian	36



3.6	Prosedur Penelitian	37
3.7	Skema Alat Pengujian	38
3.8	Flowchart Penelitian	39
BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN		
4.1	Perhitungan Data	41
4.2	Pembahasan Grafik	46
4.2.1	Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Torsi Dengan Variasi Bahan Bakar.....	46
4.2.2	Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Daya Efektif Dengan Variasi Bahan Bakar	49
4.2.3	Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap SFCE Dengan Variasi Bahan Bakar	52
4.2.4	Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Efisiensi Termal Dengan Variasi Bahan Bakar	55
4.2.5	Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Emisi CO Dengan Variasi Bahan Bakar	58
4.2.6	Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Emisi HC Dengan Variasi Bahan Bakar	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Siklus Ideal Motor Bensin 4 Langkah..... 6

Gambar 2.2 Pergerakan piston Pada Siklus Otto 7

Gambar 2.3 *Burn Angle* sebagai fungsi dari *Engine Speed* 18

Gambar 2.4 Tekanan Pada Ruang Bakar Sebagai
Fungsi Dari Sudut Poros Engkol..... 19

Gambar 2.5 Ikatan Atom Etanol 25

Gambar 2.6 *Self Ignition Characteristic of Fuel* 26

Gambar 2.7 Tekanan Pada Silinder Ruang Bakar
Sebagai Fungsi Waktu..... 27

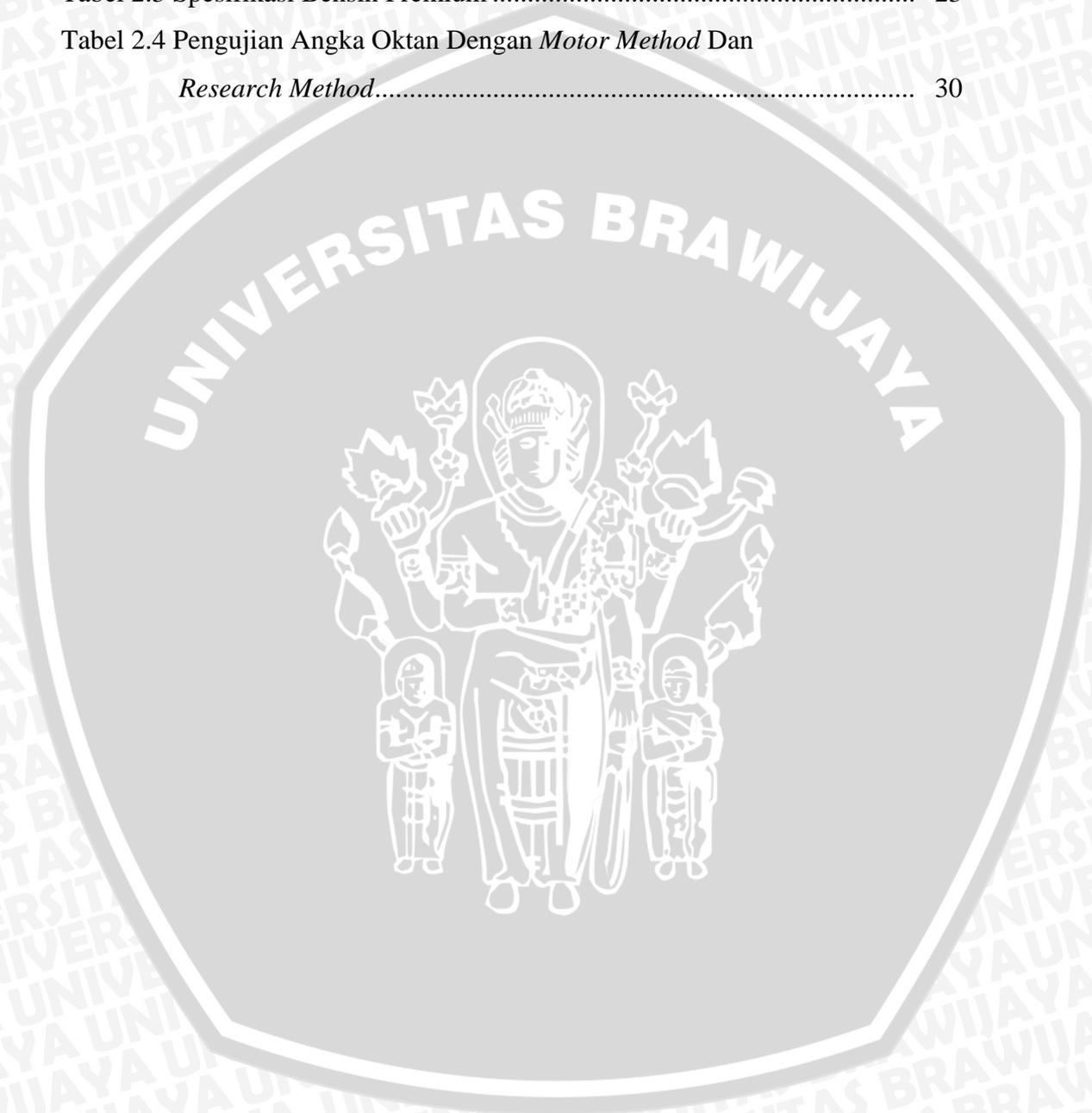
Gambar 2.8 Pembakaran Pada Ruang Bakar
Dimana Busi Terletak Di Sisi Kiri Ruang Bakar 29

Gambar 2.9 Emisi Pada Motor Bensin 4 Langkah Sebagai
Fungsi Dari Perbandingan Bahan Bakar Dan Udara..... 32



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Berat Molekul Gas Relatif	21
Tabel 2.2 Tabel Sifat-sifat Bahan Bakar	22
Tabel 2.3 Spesifikasi Bensin Premium	23
Tabel 2.4 Pengujian Angka Oktan Dengan <i>Motor Method</i> Dan <i>Research Method</i>	30



RINGKASAN

FERDINAND GUNAWAN, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2007, Pengaruh Prosentase Campuran Premium Dengan BioPremium Terhadap Unjuk Kerja Dan Emisi Gas Buang Motor Bensin 4 Langkah.

Dosen Pembimbing: Dr.Ir.Rudy Soenoko, M.Eng.Sc. Dan Lilis Yuliati, ST.,MT.

Pertumbuhan pengguna kendaraan bermotor dewasa ini meningkat sedemikian besar sehingga penggunaan bahan bakar minyak pun meningkat pesat. Dimana seperti yang sudah kita ketahui bahwa bahan bakar minyak merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Maka dari itu timbul upaya-upaya untuk mengurangi konsumsi bahan bakar minyak dengan beralih ke sumber energi yang dapat diperbarui. Pertamina mencoba beralih ke pemanfaatan energi biofuel sebagai bahan bakar untuk konsumsi masyarakat. Salah satu biofuel yang digarap Pertamina adalah BioPremium, yaitu bahan bakar bensin yang terbuat dari campuran unsur hayati-nabati dengan bahan bakar fosil. Manfaat dari penelitian ini adalah dapat menginformasikan kepada masyarakat tentang kinerja dan emisi gas buang campuran Premium dengan BioPremium akibat dari pengisian bahan bakar yang tidak dilakukan dalam keadaan tangki bahan bakar kosong sehingga Premium tercampur dengan BioPremium.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah komposisi bahan bakar. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah torsi, daya efektif, SFCe, efisiensi termal, komposisi gas buang. Selama pengujian sekrup udara, *timing* pengapian dan bukaan *throttle* tidak diubah. Pencatatan data diambil pada beberapa variasi putaran mesin.

Dari pengujian dapat diketahui bahwa unjuk kerja mesin bensin 4 langkah yang menggunakan bahan bakar BioPremium tidak berbeda jauh dibandingkan pada saat menggunakan bahan bakar Premium. Penggunaan bahan bakar BioPremium sangat dianjurkan karena dapat mengurangi emisi CO. Penggunaan bahan bakar BioPremium 25% + Premium 75% menghasilkan SFCe terendah, emisi HC terendah, dan emisi CO terendah. Saran bagi pengguna kendaraan bermotor untuk mengatur ulang sekrup udara pada saat menggunakan variasi bahan bakar yang berbeda untuk mengoptimalkan kerja mesin.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan pengguna kendaraan bermotor dewasa ini meningkat sedemikian besar sehingga penggunaan bahan bakar minyak pun meningkat pesat. Dimana seperti yang sudah kita ketahui bahwa bahan bakar minyak merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Maka dari itu timbul upaya upaya untuk mengurangi konsumsi bahan bakar minyak dengan beralih ke sumber energi yang dapat diperbarui.

Untuk mengurangi konsumsi energi fosil yang tidak bisa diperbarui (*unrenewable energy*) maka digunakanlah jenis energi hayati non fosil yang bisa diperbarui (*renewable energy*). Jenis energi terbarukan ini memiliki sumber daya energi yang secara alamiah dapat diproduksi secara alamiah maupun buatan dalam rentang waktu yang pendek. Antara lain energi panas bumi, energi biofuel, energi aliran sungai, energi angin, energi ombak laut, dan lain-lain. Pertamina mencoba beralih ke pemanfaatan energi biofuel sebagai bahan bakar untuk konsumsi masyarakat. Salah satu biofuel yang digarap Pertamina adalah BioPremium, yaitu bahan bakar bensin yang terbuat dari campuran unsur hayati-nabati dengan bahan bakar fosil.

Bahan bakar alternatif BioPremium yang sedang disiapkan Pertamina bukan hal baru di luar negeri. Etanol sudah dipakai Brasil sejak 1970. Diikuti Amerika Serikat (AS) dan beberapa negara Eropa. Bahkan diikuti beredarnya Flexible Fuel Vehicle (FFV) yang kian marak. Kendaraan jenis ini mampu mengkonsumsi bahan bakar alternatif dengan berbagai komposisi tanpa perlu mengubah spesifikasi teknis dari kendaraan tersebut. Pada dasarnya, semua kendaraan bermotor dengan siklus Otto mampu mengkonsumsi campuran etanol 10% dan bensin 90% (E10) tanpa perlu perubahan teknis tertentu.

Namun seiring perkembangan, campuran etanol diperbanyak. Seperti di Brasil, lazim ditemui E25 atau campuran 25% etanol. Dan di Brasil sudah tidak dijual bensin murni. Di AS ada lebih dari 150 stasiun pengisian E85 (85% etanol) yang diatur berdasarkan Energy Policy of Act (EPAAct) tahun 1992. Sedangkan

BioPremium yang beredar di sini memiliki campuran 5% etanol dengan 95% bensin yang dijual sama dengan harga Premium. Persentase etanol cukup rendah disebabkan kendaraan bermotor yang beredar di pasaran saat ini tidak didesain untuk mengkonsumsi bahan bakar dengan tingkat etanol yang tinggi.

Sampai saat ini, hanya warga Malang, Jatim yang bisa menggunakan BioPremium. Kota Malang mendapat kepercayaan khusus dari PT. Pertamina untuk meluncurkan produk BioPremium, yaitu produk campuran antara premium dengan bahan nabati yang diberi nama bio premium. Dipilihnya Kota Malang untuk even ini karena PT. Molindo sebagai salah satu produsen alkohol terbesar terletak di Malang serta Provinsi Jawa Timur menempati peringkat kedua nasional yang mengkonsumsi bahan bakar minyak (BBM), yaitu mencapai 20 persen (data Dinas Perindustrian Perdagangan Dan Koperasi - Pemerintah Kota Malang).

Harga Bio Premium dipasaran sama seperti harga premium bersubsidi sebesar Rp. 4500/liter. Saat ini Pertamina membeli BioPremium seharga Rp 5000 per liter dan dijual kepada konsumen Rp 4.500 per liter. Dalam kondisi ini Pertamina memang rugi, tapi harga Etanol masih lebih murah dibandingkan bila Pertamina membeli Premium dari luar negeri yang harganya Rp 5.600 per liter.

Dari penelitian sebelumnya oleh Ahmad Setiono, 2002, dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan etanol sebesar 10%, 15%, 20% ke dalam premium murni. Dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa pencampuran etanol sebesar 15% memberikan pengaruh cukup signifikan terhadap kinerja motor, dimana terjadi peningkatan efisiensi termal, penurunan kadar CO & HC dalam gas buang, tetapi terjadi penurunan torsi dan daya serta kenaikan konsumsi bahan bakar spesifik efektif.

Namun belum ada penelitian yang mengamati pengaruh penambahan etanol dengan persentase 5% kebawah seperti yang terdapat pada BioPremium dan yang menjadi permasalahan di masyarakat adalah bagaimana jika masyarakat mengisi bahan bakar BioPremium pada saat tangki bahan bakar mereka masih tersisa Premium biasa. Dengan penelitian ini akan dapat kita ketahui pengaruh pencampuran Premium dengan BioPremium pada perbandingan komposisi yang telah ditentukan yaitu 0% BioPremium, 25% BioPremium, 50% BioPremium, 75% BioPremium, 100% BioPremium.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun masalah yang akan diteliti adalah sebagai berikut:

Bagaimana pengaruh persentase campuran premium dengan BioPremium terhadap unjuk kerja motor dan kualitas gas buang yang dihasilkan?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mempermudah dan menjaga proses penulisan tidak meluas, perlu dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Parameter unjuk kerja yang diukur adalah :
 - a. Torsi
 - b. Daya Efektif
 - c. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif
 - d. Efisiensi termal efektif
 - e. Komposisi gas buang meliputi CO_2 , O_2 , CO , HC
2. Emisi gas buang yang akan dianalisa adalah Carbonmonoksida (CO) dan Hidrocarbon (HC).
3. Bensin dan BioPremium yang digunakan dibeli di SPBU 54.651.43 di Jalan Mayjend Wiyono Malang.
4. Tidak membahas tentang pembuatan alkohol/ etanol serta BioPremium.
5. Tidak ada perubahan Rasio Kompresi dan Timing Pengapian dan spesifikasi teknis alat uji.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui pengaruh pencampuran Premium dengan BioPremium terhadap unjuk kerja motor bensin dan emisi gas buang yang dihasilkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat:

Dapat menginformasikan kepada masyarakat tentang kinerja dan emisi gas buang campuran Premium dengan BioPremium akibat dari pengisian bahan bakar yang tidak dilakukan dalam keadaan tangki bahan bakar kosong sehingga Premium tercampur dengan BioPremium.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Motor Pembakaran Dalam

Motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) adalah motor kalor yang mengubah energi kimia dari bahan bakar ke bentuk energi mekanis, yang biasa berupa putaran poros. Energi kimia dari bahan bakar diubah menjadi energi panas dengan adanya pembakaran (*combustion*) dengan bantuan udara yang dimasukkan ke ruang bakar. Ruang bakar adalah ruangan yang berada di dalam blok silinder yang dibatasi oleh *head cylinder* dengan permukaan piston dimana di sinilah terjadinya pembakaran. Energi panas ini meningkatkan temperatur dan tekanan yang ada di dalam ruang bakar. Gas yang bertekanan tinggi akan menggerakkan piston yang berhubungan dengan poros engkol (*crankshaft*). *Crankshaft* berputar dan terhubung dengan sistem transmisi yang akan mentransmisikan energi mekanis untuk keperluan tertentu. Jenis motor pembakaran dalam banyak dipergunakan untuk alat transportasi dan keperluan lainnya seperti pompa, kompresor, dan juga chain saw.

Motor pembakaran dalam berdasarkan jenis penyalaan bahan bakarnya terbagi menjadi 2 macam yaitu *Spark Ignition Engine* dan *Compression Ignition Engine*. Pada *Spark Ignition Engine* mulainya proses pembakaran menggunakan percikan api dari busi. Busi memberikan percikan listrik bertegangan tinggi yang akan menyalakan campuran bahan bakar dengan udara di dalam ruang bakar. Motor pembakaran dalam dengan penyalaan busi bekerja berdasarkan siklus Otto dan berbahan bakar bensin. Sedangkan pada *Compression Ignition Engine* penyalaan bahan bakar dan udara dilakukan dengan memberikan tekanan tinggi sehingga mengakibatkan temperatur meningkat dan terjadi *self ignition* pada bahan bakar, contohnya adalah *Diesel Cycle* dan *Dual Cycle*.

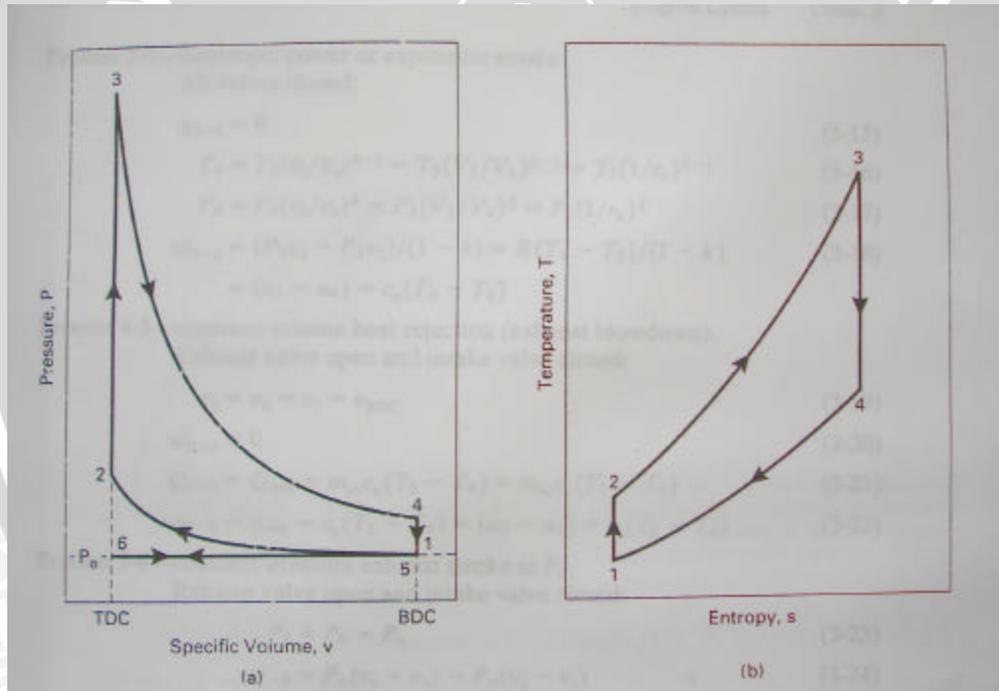
Hampir semua motor pembakaran dalam menggunakan motor yang bergerak bolak balik (*reciprocating engine*) dimana terdapat piston yang bergerak bolak balik di dalam silinder ruang bakar. Silinder ruang bakar silinder tertutup yang dibatasi oleh permukaan piston pada salah satu sisinya dan sisi yang lainnya ditutup oleh *cylinder head*. Sisi lain dari piston terhubung dengan batang

penghubung (*connecting rod*) yang menghubungkan piston dengan poros engkol (*crankshaft*). Motor pembakaran dalam dapat terdiri dari 1 silinder sampai 28 silinder.

2.2 Motor Bensin Empat Langkah

2.2.1 Prinsip Kerja Motor Bensin Empat Langkah

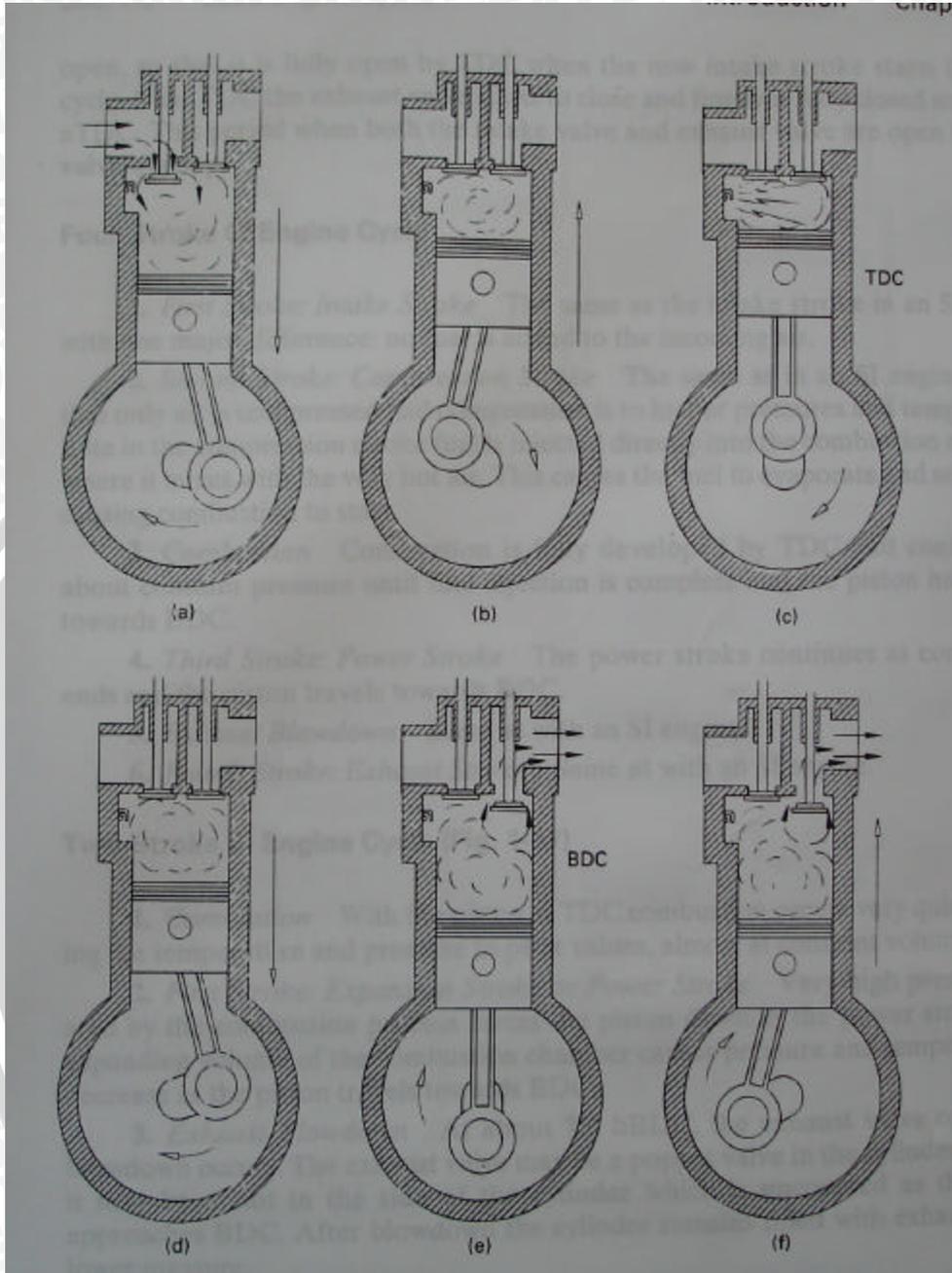
Siklus standar motor bensin adalah siklus Otto yang dinamai sesuai dengan nama ilmuwan penemunya. Pada proses kerja motor bensin 4 langkah, dalam 2 kali putaran penuh poros engkol menghasilkan 1 kali langkah kerja, dengan kata lain untuk setiap kali proses pembakaran diperlukan 2 kali putaran poros engkol.



Gambar 2.1 Siklus ideal motor bensin empat langkah

a) P-v diagram b) T-s diagram

Sumber: Pulkrabek, 1997 : 75



Gambar 2.2 Pergerakan piston pada siklus Otto

Sumber: Pulkrabek, 1997 : 26

Dari gambar 2.1 , dapat diuraikan proses yang terjadi adalah:

- 6– 1 : langkah isap pada tekanan konstan
- 1– 2 : langkah kompresi adiabatik
- 2– 3 : proses pembakaran pada volume konstan
- 3– 4 : langkah ekspansi adiabatik
- 4– 5 : pengeluaran kalor pada volume konstan
- 5– 6 : langkah buang pada tekanan konstan

Langkah isap pada siklus Otto dimulai ketika piston berada di titik TMA (Titik Mati Atas) menuju TMB (Titik Mati Bawah) , dimana pada saat langkah ini katup isap terbuka sedangkan katup buang dalam keadaan tertutup. Gerakan piston menyebabkan perubahan volume ruang bakar sehingga menghisap udara dan bahan bakar dari karburator ke dalam ruang bakar. Pada langkah selanjutnya, piston bergerak dari TMB menuju TMA dalam keadaan katup buang dan katup isap dalam keadaan tertutup sehingga terjadi kenaikan tekanan, proses ini mengkompresi campuran bahan bakar dan udara yang ada , kemudian pada saat piston mencapai puncak, busi (*sparkplug*) menyala dan membakar campuran bahan bakar dan udara yang berada di dalam ruang bakar. Pada langkah selanjutnya terjadi proses ekspansi dimana piston bergerak turun dari posisi TMA menuju TMB. Energi kinetik pada piston ditransfer kepada poros engkol melalui perantara batang penghubung (*connecting rod*). Langkah selanjutnya adalah langkah buang dimana piston bergerak naik menuju ke TMA untuk melakukan proses buang. Pada proses ini katup buang terbuka sedangkan katup isap tertutup. Gas buang terdorong keluar oleh pergerakan piston yang mengakibatkan perubahan volume. Proses ini terjadi pada kondisi tekanan konstan. Setelah proses buang ini berakhir, maka piston siap bergerak untuk mengulangi proses dari awal lagi.

Tingkat efisiensi dari motor dengan siklus Otto dibatasi oleh beberapa faktor, seperti kerugian karena gesekan dan pendinginan. Secara umum, tingkat efisiensi dari motor siklus Otto merupakan fungsi dari rasio kompresi. Semakin tinggi tingkat rasio kompresi maka semakin meningkat pula efisiensi dari motor Otto. Rasio kompresi adalah perbandingan antara volume maksimum dengan

volume minimum yang terjadi pada ruang bakar, dimana biasanya sekitar 8:1 sampai 10:1 pada motor Otto modern.

2.2.2 Bagian-Bagian Motor Bensin Empat Langkah

- a. *Cylinder block* atau Blok silinder adalah bagian dari motor tempat piston berada, dimana biasa blok silinder terbuat dari besi tuang atau alumunium.
- b. *Camshaft* atau biasa disebut poros kem adalah poros yang berputar yang berfungsi untuk menekan katup selama proses siklus Otto berlangsung. Biasa dibantu oleh link mekanis sebagai perantara. Kem biasa terbuat dari besi tempa ataupun besi tuang. Energi untuk memutar kem diambil dari putaran poros engkol (*crankshaft*) yang ditransmisikan melalui belt atau rantai.
- c. *Ruang bakar* adalah ruangan yang berada di dalam blok silinder yang dibatasi oleh *head cylinder* dengan permukaan piston dimana di sinilah terjadinya pembakaran.
- d. *Piston* adalah benda berbentuk silinder yang bergerak bolak balik di dalam blok silinder, yang berfungsi mentransmisikan gaya tekan yang berasal dari proses pembakaran di dalam ruang bakar ke poros engkol. Piston biasa terbuat ddari besi tuang, baja, atau alumunium. Beberapa piston dilapisi dengan lapisan keramik yang berfungsi sebagai lapisan tahan panas.
- e. *Connecting rod* adalah batangpenghubung antara piston dengan poros engkol. Biasa *connecting rod* terbuat dari baja dan bersi tempa.
- f. *Crankcase* adalah bagian motor yang berfungsi sebagai penutup dan tempat *crankshaft*.
- g. *Exhaust system* adalah sistem pembuangan yang berfungsi untuk membuang sisa gas hasil pembakaran di ruang bakar. Biasa di dalamnya terdapat *catalytic converter* yang berfungsi untuk mengurangi emisi gas beracun, dan *muffler* yang berfungsi sebagai peredam suara.

- h. *Flywheel* adalah sebuah benda yang memiliki massa tertentu yang terhubung dengan poros engkol. *Flywheel* berfungsi untuk menyimpan energi dan juga untuk membuat putaran motor menjadi halus.
- i. *Fuel pump* atau pompa bahan bakar adalah pompa elektrik atau mekanis yang berfungsi untuk mensuplai bahan bakar dari tangki penyimpanan bahan bakar menuju motor. Beberapa mobil yang modern menggunakan pompa elektrik yang berada di dalam tangki bensin. Sedangkan motor motor berukuran kecil tidak menggunakan pompa bahan bakar, dimana suplai bahan bakar dibantu oleh gaya grafitasi.
- j. *Cylinder head* adalah bagian motor yang berada di ujung atas silinder yang terbuat dari besi tuang dan ditempelkan dengan baut ke blok silinder. Pada beberapa desain motor, head sebagai tempat kedudukan dari busi, katup buang, serta katup isap.
- k. *Oil pump* adalah pompa yang berfungsi untuk mendistribusikan oli yang berfungsi pelumas dan pendingin komponen komponen motor. Pompa oli ini ada yang dioperasikan menggunakan tenaga listrik dan ada pula dengan bantuan tenaga mekanis dari motor. Pada beberapa kendaraan bermotor tidak memiliki pompa oli dimana pendistribusian oli secara *splash* atau cipratan.
- l. *Push rod* adalah *link* mekanis yang berada di antara poros kem dengan katup-katup yang akan digerakkan oleh putaran poros kem.
- m. *Spark plug* atau busi adalah komponen elektrik yang berfungsi untuk memercikkan api untuk membakar campuran bahan bakar dan udara dengan percikan bunga api dari listrik tegangan tinggi.

2.2.3 Rumus - Rumus Perhitungan

a. Torsi

Torsi adalah salah satu indikator terhadap kemampuan suatu motor. Torsi motor berpengaruh terhadap daya output dari suatu motor.

Besarnya torsi adalah hasil kali gaya pengereman dengan panjang lengan gaya

$$T = F.L \quad (\text{Petrovsky; 1968; 257})$$

Keterangan:

$$T = \text{Torsi} \quad (\text{kg.m})$$

$$F = \text{Gaya pengereman} \quad (\text{kg})$$

$$L = \text{Panjang lengan} \quad (\text{m})$$

b. Daya Efektif (Ne)

Daya efektif adalah merupakan salah satu indikator terhadap kemampuan kerja motor. Dimana daya merupakan fungsi dari torsi dan putaran poros engkol. Daya efektif adalah daya aktual yang dihasilkan poros engkol.

$$Ne = \frac{P_e \cdot V_d \cdot n \cdot i}{0,45 \cdot z} \quad (\text{Petrovsky, 1968, 62})$$

atau

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,2}$$

Keterangan:

$$Ne = \text{Daya efektif} \quad (\text{HP})$$

$$P_e = \text{Tekanan efektif rata-rata} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$V_d = \text{Volume langkah piston}$$

$$= p \cdot \frac{D^2}{4} \cdot L \quad (\text{m}^3)$$

$$D = \text{diameter silinder} \quad (\text{m})$$

$$L = \text{langkah torak} \quad (\text{m})$$

$$n = \text{putaran poros engkol} \quad (\text{RPM})$$

$$i = \text{jumlah silinder}$$

z = jumlah putaran poros engkol untuk setiap siklus
 = 2 untuk motor bakar empat langkah

c. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (*Effective Specific Fuel Consumption / SFCe*)

Adalah banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif sebesar satu satuan daya dalam waktu satu jam. Semakin rendah suatu SFCe motor, berarti semakin efisien motor tersebut bekerja. SFCe meningkat pada putaran tinggi disebabkan karena adanya kerugian gesek yang terjadi pada komponen motor, yang akan mengurangi daya output.

$$SFCe = \frac{F_c}{N_e} \quad (\text{Petrovsky, 1968, 63})$$

dengan

$$F_c = \frac{3600 \cdot g \cdot V}{t} \quad (\text{Petrovsky, 1968, 63})$$

Keterangan:

SFCe = *Effective Specific Fuel Consumption* $\left(\frac{\text{kg}}{\text{HP} \cdot \text{jam}}\right)$

Fc = Fuel Consumption $\left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}}\right)$

Ne = daya efektif (HP)

g = massa jenis bahan bakar (kg/liter)

V = volume bahan bakar yang dikonsumsi (liter)

T = waktu (sekon)

d. Efisiensi Termal Efektif (h_e)

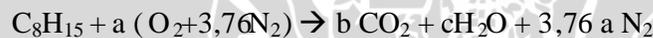
Efisiensi Termal Efektif adalah perbandingan antara manfaat yang didapat dalam hal ini yaitu daya efektif dengan efek yang dimasukkan ke dalam motor sebagai input yaitu kalor dari bahan bakar. Semakin tinggi daya yang dapat dihasilkan oleh motor, maka nilai efisiensi termal akan naik.

$$h_e = 632 \frac{Ne}{Fc.LHV} \times 100\% \quad (\text{Petrovsky, 1968, 62})$$

e. Perbandingan Campuran Udara-Bahan Bakar teoritis (AFR_{teoritis})

Air Fuel Ratio (AFR) yaitu perbandingan antara massa udara yang sebagai reaktan dengan massa bahan bakar yang akan bereaksi dalam proses pembakaran.

Untuk bensin Premium murni, disumsikan memiliki rumus kimia C_8H_{15} dan udara dengan komposisi Oksigen 21% dan Nitrogen 79%, dimana reaksi pembakaran 1 mol bahan bakar dapat ditulis:



Sehingga

$$AFR_{\text{teoritis}} = \frac{(a \times MW O_2) + (3,76 a \times MW N_2)}{(\text{mol } C_8H_{15} \times MW C_8H_{15})}$$

Jumlah mol CO_2 dan H_2O sebagai produk dapat diketahui dengan menghitung jumlah atom C dan atom H pada sisi reaktan.

$$b = 8 \times 1 = 8$$

$$c = \frac{1}{2} \times 15 = 7,5$$

Dari kedua nilai di atas, maka dapat diketahui bahwa nilai mol O_2 sebesar:

$$a = b + \frac{1}{2} c = 8 + 3,75 = 11,75$$

Jadi reaksi pembakaran teoritisnya adalah



$$\begin{aligned} AFR_{\text{teoritis}} &= \frac{(11,75 \times 32) + (3,76 \times 11,75 \times 28)}{(1 \times 111)} \\ &= 14,53 \quad (\text{kg}_{\text{udara}}/\text{kg}_{\text{bahan bakar}}) \end{aligned}$$

Untuk bahan bakar Biopremium murni, disumsikan memiliki kandungan x etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) dan $(1-x)$ C_8H_{15} , udara dengan komposisi Oksigen 21% dan Nitrogen 79%, dimana 1 mol bahan bakar reaksi pembakaran dapat ditulis:

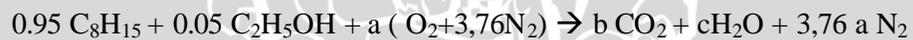


Sehingga

$$AFR_{\text{teoritis}} = \frac{(ax \text{MW O}_2) + (3,76 a \times \text{MW N}_2)}{((1-x) \text{mol C}_8\text{H}_{15} \times \text{MW C}_8\text{H}_{15} + x \text{mol C}_2\text{H}_5\text{OH} \times \text{MW C}_2\text{H}_5\text{OH})}$$

Untuk bahan bakar Biopremium, disumsikan memiliki kandungan x etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) dan $(1-x)$ C_8H_{15} , udara dengan komposisi Oksigen 21% dan Nitrogen 79%, dimana reaksi pembakaran dapat ditulis:

$$\begin{aligned} \text{Dengan : } x &= 5\% = 0,05 \\ 1-x &= 95\% = 0,95 \end{aligned}$$



Koefisien CO_2 dan H_2O sebagai produk dapat diketahui dengan menghitung jumlah atom C dan atom H pada sisi reaktan.

$$b = 0,95 \times 8 + 0,05 \times 2 = 7,7$$

$$c = 0,95 \times 15/2 + 0,05 \times 5/2 = 7,25$$

Kemudian, koefisien jumlah O_2 dapat diperoleh dengan menjumlahkan atom O_2 di sisi produk dikurangi jumlah O_2 di sisi reaktan yang ada pada etanol

$$0,05 + 2a = 2b + c$$

$$2a = 2b + c - 0,05$$

$$a = \frac{1}{2} (2b + c - 0,05)$$

$$a = \frac{1}{2} (2 \times 7,7 + 7,25 - 0,05)$$

$$a = 11,3$$

sehingga

$$\begin{aligned} AFR_{\text{teoritis}} &= \frac{(11,3 \times 32) + (3,76 \times 11,3 \times 28)}{(0,95 \times 111 + 0,05 \times 46)} \\ &= 14,39 \quad (\text{kg udara/kg bahan bakar}) \end{aligned}$$

f. *Equivalence Ratio* (f)

Equivalence Ratio adalah perbandingan antara AFR_{teoritis} dengan AFR_{aktual} . Semakin tinggi nilai Equivalence Ratio maka sifat campuran bahan bakar dengan udara akan semakin kaya.

$$f = \frac{AFR_{\text{teoritis}}}{AFR_{\text{aktual}}} \quad (\text{Pulkrabek; 1997; 56})$$

g. Koefisien kelebihan udara (a)

Koefisien kelebihan udara adalah kebalikan dari equivalence ratio dimana nilai a didapat dari perbandingan antara AFR_{aktual} dengan AFR_{teoritis} . Semakin tinggi nilai a maka sifat campuran bahan bakar dengan udara akan semakin miskin.

$$a = \frac{AFR_{\text{aktual}}}{AFR_{\text{teoritis}}} \quad (\text{Pulkrabek; 1997; 56})$$

2.3 Pembakaran

Proses pembakaran pada motor yang bekerja berdasarkan siklus Otto, terbagi menjadi 3 bagian yaitu:

a. *Ignition dan Flame Development*

Pembakaran dimulai dengan lompatan busur listrik pada elektroda busi (*spark plug*) hal ini terjadi pada saat 10^0 sampai 30^0 sebelum TMA, tergantung dari kebutuhan. Plasma yang bertemperatur tinggi melompat antara elektroda busi yang menyalakan campuran bahan bakar dan udara yang berada di dekatnya, dan dari sini pembakaran dimulai. Pembakaran dimulai namun lambat dikarenakan kondisi busi dan campuran bahan bakar yang dingin. Hal ini disebabkan banyaknya panas yang hilang akibat dinginnya busi dan campuran bahan bakar. Api dapat dideteksi sekitar 6^0 putaran poros engkol setelah penyalaaan busi.

Tegangan yang ditimbulkan kira-kira sebesar 25.000-40.000 volt dengan arus sebesar 200 ampere yang berlangsung selama 10 nanosekon. Secara umum busi memercikkan api selama 0,001 sekon, dengan temperatur kira-kira 6.000K. Menurut reaksi stoikiometri, campuran bahan bakar dan udara memerlukan sekitar 0,2 mJ energi untuk terbakar. Busi mampu melepaskan energi sebesar 30 sampai 50 mJ, tetapi tidak seluruh energi yang dilepaskan dapat dimanfaatkan karena adanya energi yang dilepas ke lingkungan berupa energi panas.

Beberapa metode digunakan untuk mendapatkan tegangan yang tinggi agar terjadi lompatan listrik pada elektroda busi. Sistem yang paling umum digunakan adalah kombinasi aki dan koil. Hampir semua kendaraan bermotor menggunakan aki 12 volt dan sistem elektrik sebesar 12 volt. Tegangan yang rendah ini dibesarkan oleh koil sehingga menghasilkan tegangan tinggi yang akan dialirkan ke busi. Beberapa sistem menggunakan kapasitor untuk mengalirkan listrik ke busi agar terjadi lompatan listrik. Hampir semua motor yang berukuran kecil dan beberapa motor yang berukuran besar menggunakan generator yang digerakkan oleh putaran poros engkol untuk menghasilkan listrik. Sedangkan

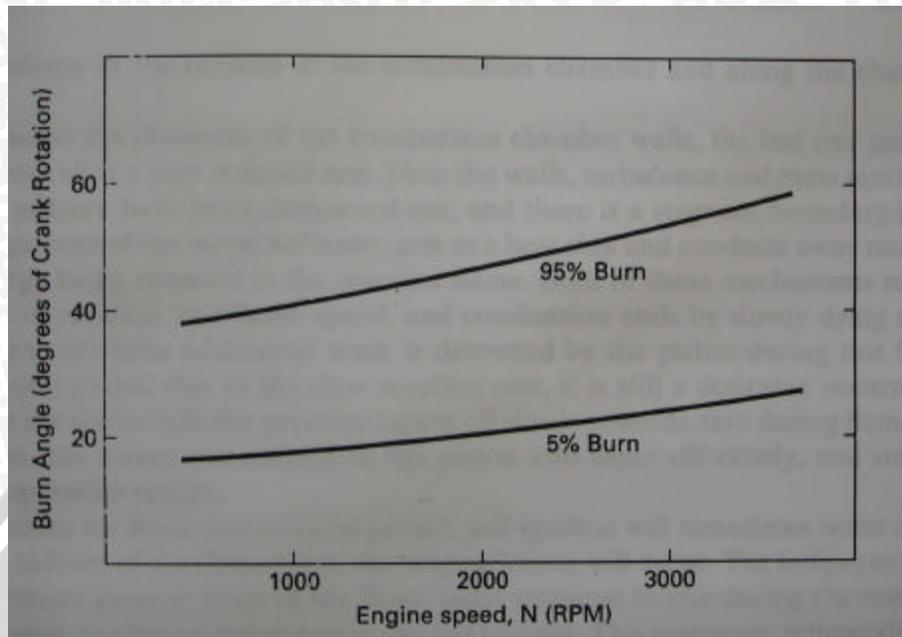
beberapa motor yang berukuran besar memiliki sistem generator terpisah untuk setiap busi yang ada, atau menggunakan satu sistem yang dilengkapi distributor yang membantu pembagian arus untuk setiap silinder yang ada.

Jarak antara dua elektroda yang ada pada busi kira-kira antara 0,7-1,7 mm. Jarak atau gap yang kecil digunakan untuk campuran bahan bakar dan udara yang kaya (*rich*) atau untuk motor dengan tekanan yang tinggi, misal motor dengan *turbocharger* dan motor dengan rasio kompresi yang tinggi.

Ketika busi mengeluarkan bunga api, plasma menyalakan campuran udara dengan bahan bakar yang ada di antara dan di dekat elektroda. Kemudian api akan menyebar ke seluruh bagian ruang bakar.

b. *Flame Propagation*

Setelah terbakarnya 5-10% dari campuran bahan bakar dan udara, proses pembakaran akan semakin mantap dan api akan bergerak dengan cepat di dalam ruang bakar. Dimana pada gas yang berada akan bergerak tidak beraturan dan berputar, maka kecepatan api akan lebih cepat dibandingkan api yang bergerak laminar pada gas yang relatif diam. Dikarenakan campuran gas terbakar, maka temperatur dan juga tekanan akan meningkat sangat tinggi. Kebanyakan motor akan melakukan proses pembakaran selama kurang lebih 25° putaran poros engkol tergantung putaran motor. Sehingga bila diasumsikan pembakaran berakhir 15° setelah TMA, maka seharusnya penyalaan dilakukan kurang lebih 20° sebelum TMA. Biasanya penyalaan dimulai sekitar 10° - 30° sebelum TMA, sesuai kebutuhan.



Gambar 2.3 Burn angle sebagai fungsi dari Engine Speed untuk motor bensin dengan fast burn combustion chamber.

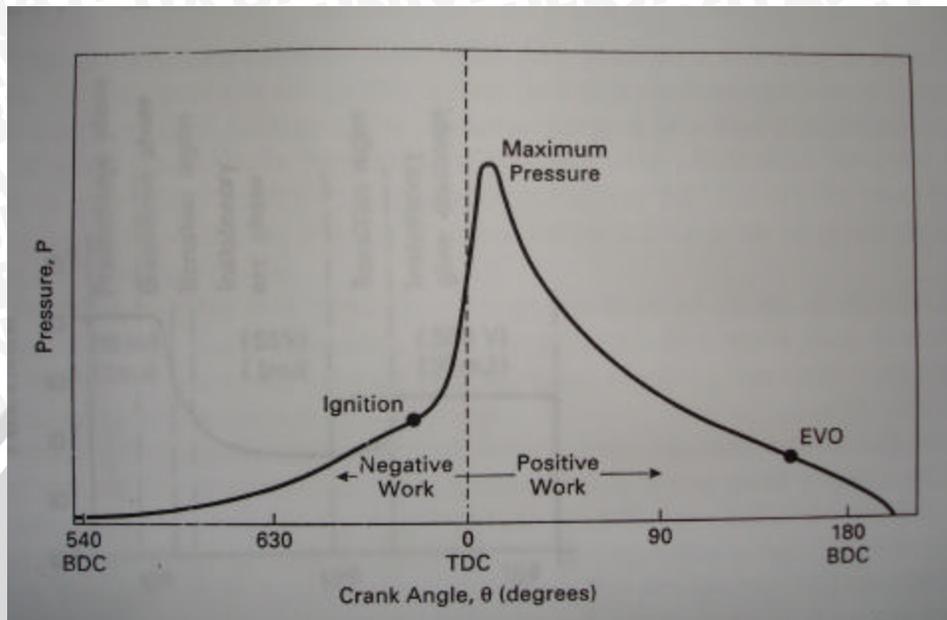
Sumber: Pulkrabek, 1997: 237

c. *Flame Termination*

Sekitar 15° sampai 20° setelah TMA, 90-95% campuran bahan bakar dengan udara telah terbakar dan api telah mencapai ke seluruh bagian ruang bakar. Pada periode ini piston sudah menjauhi TMA, dan volume ruang bakar meningkat sekitar 10%-20% dibandingkan dengan sebelumnya. Masih ada sisa gas yang belum terbakar di sudut ruang bakar dan juga bagian dinding ruang bakar.

Selama periode ini, *self ignition* sangat mungkin terjadi, dan terjadi *knock*. Temperatur dari sisa gas yang belum terbakar akan terus meningkat, dimana temperatur ini akan lebih tinggi dari suhu *self ignition* bahan bakar sehingga memungkinkan terjadi *self ignition* dari bahan bakar sisa yang belum terbakar. Hal ini menyebabkan *knock* yang agak sulit untuk diamati bahkan tidak terasa. *Knock* pada period ii akan menghasilkan kejutan tekan yang cukup kecil. Tenaga maksimum dari motor akan didapat apabila kita dapat meminimalkan *self ignition* dan *knock* yang terjadi di akhir proses pembakaran. Hal ini dapat terwujud bila terjadi

tekanan dan temperatur maksimal di dalam ruang bakar dan *knock* akan memberi tekanan atau dorongan kecil pada akhir proses.



Gambar 2.4 Tekanan Pada Ruang Bakar sebagai fungsi dari Sudut Poros Engkol.

Sumber: Pulkrabek, 1997: 230

Pada periode *flame development* terjadi penyalaan dan mulai terjadi pembakaran, dimana biasa mengkonsumsi sekitar 5% dari campuran bahan bakar dan udara. Pada tahap ini terjadi kenaikan tekanan tetapi nilainya sangat kecil dan tidak dapat menghasilkan kerja. Kerja dapat dihasilkan pada tahap *flame propagation* dimana terjadi proses pembakaran. Pada periode ini, bahan bakar dan udara yang terbakar sebanyak 80-90%. Pada periode ini, tekanan dalam silinder meningkat secara signifikan, yang akan memberikan gaya dorong untuk menghasilkan kerja pada langkah ekspansi. Sisa 5% dari campuran bahan bakar dan udara yang paling akhir terbakar disebut sebagai *flame termination*, dimana pada periode ini tekanan menurun cepat dan pembakaran berhenti.

2.4 Bahan Bakar dan Udara Pembakaran

Hampir semua bahan bakar yang digunakan oleh motor pembakaran dalam adalah bahan bakar hidrokarbon yang dicampur dengan udara. Ada ribuan variasi rangkaian hidrokarbon yang memiliki komposisi yang berbeda satu dengan yang

lain, dimana tersusun oleh unsur hidrogen dan karbon, dan unsur-unsur lain seperti oksigen, nitrogen, dan sulfur. Energi maksimum dari bahan bakar dapat diperoleh ketika reaksi berlangsung secara stoikiometri dimana suplai oksigen dapat terpenuhi. Pada reaksi stoikiometri, oksigen teoritis mengubah semua karbon yang ada pada bahan bakar menjadi CO_2 dan semua hidrogen yang ada pada bahan bakar menjadi uap air. Dan tidak ada oksigen yang tersisa.

Motor dengan daya yang besar dapat diperoleh apabila bahan bakar dapat dibakar dengan oksigen murni. Tetapi hal ini tidak mungkin dilakukan karena masalah biaya. Pada kejadian sehari-hari, udara yang digunakan pada proses pembakaran terdiri dari (dalam persen mol): 78% nitrogen , 21% oksigen, 1 % argon, dan kandungan gas gas lain seperti CO_2 , Ne, CH_4 , He, dan lainnya.

Nitrogen dan argon tidak ikut beraksi dalam proses pembakaran. Tetapi kehadiran gas tersebut berpengaruh terhadap temperatur dan tekanan pada ruang bakar. Untuk mempermudah perhitungan biasa argon dianggap tidak ada, dimana kandungan udara dianggap 21% oksigen dan 79% nitrogen Dimana angka di sini adalah persen mol (setara persen volum). Jadi setiap 0,21 mol oksigen, selalu ada 0,79 nitrogen. Di setiap pembakaran 1 mol oksigen, maka udara yang perlu disuplai adalah 4,76 mol. Dimana terdiri dari 1 mol oksigen dan 3,76 nitrogen. Pembakaran dapat terjadi baik dalam kondisi campuran miskin (*lean*) dimana udara yang masuk lebih banyak daripada stoikiometri, maupun dalam kondisi kekurangan udara yang sering disebut campuran kaya (*rich*).

TABLE 4-1 MOLECULAR WEIGHTS

SUBSTANCE		MOLECULAR WEIGHT (kg/kgmole) or (lbm/lbmmole)
Air		28.97
Argon	Ar	39.95
Carbon	C	12.01
Carbon Monoxide	CO	28.01
Carbon Dioxide	CO ₂	44.01
Hydrogen	H ₂	2.02
Water Vapor	H ₂ O	18.02
Helium	He	4.00
Nitrogen	N ₂	28.01

Tabel 2.1 Berat Molekul Relatif Gas

Sumber: Pulkrabek, 1997: 123

Nilai kalor adalah suatu parameter yang menunjukkan banyaknya jumlah energi yang terkandung dalam satu satuan massa bahan bakar. Yang dinyatakan dalam satuan energi per massa (BTU/lbm atau kJ/kg)

Ada 2 macam nilai kalor yaitu:

- Nilai Kalor Tinggi (*Higher Heating Value/ HHV*), yaitu jumlah kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran satu satuan massa bahan bakar ,yang merupakan jumlah kalor total yang terlibat dalam suatu reaksi pembakaran
- Nilai Kalor Rendah (*Lower Heating Value/ LHV*) , yaitu jumlah kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran satu satuan massa bahan bakar dengan memperhitungkan kalor yang hilang selama proses yang diakibatkan adanya penguapan air selama pembakaran

Higher Heating Value digunakan sebagai acuan bila air yang ada pada produk reaksi kimia berupa cair, sedangkan *Lower Heating Value* digunakan bila produk air berupa uap. Dari sini dapat dilihat bahwa perbedaan keduanya adalah pada kalor yang digunakan dalam penguapan air. Dalam analisa motor , yang digunakan adalah *Lower Heating Value*.

TABLE A-7 PROPERTIES OF FUELS

Fuel	Molecular Weight	Heating Value		Stoichiometric		Octane Number		Heat of Vaporization (kJ/kg)	Cetane Number
		HHV (kJ/kg)	LHV (kJ/kg)	(AF) _s	(FA) _s	MON	RON		
gasoline	C ₇ H ₁₄	111	47300	43000	14.6	0.068	80-91	92-99	307
light diesel	C _{12.5} H _{22.2}	170	44800	42500	14.5	0.069			270
heavy diesel	C _{14.5} H _{24.2}	200	43800	41400	14.3	0.069			230
isooctane	C ₈ H ₁₈	114	47810	44300	15.1	0.066	100	100	290
methanol	CH ₃ OH	32	22540	20050	6.5	0.155	92	106	1147
ethanol	C ₂ H ₅ OH	46	29710	26950	9.0	0.111	89	107	873
methane	CH ₄	16	55160	49770	17.2	0.058	120	120	509
propane	C ₃ H ₈	44	50180	46190	15.7	0.064	97	112	426
nitromethane	CH ₃ NO ₂	61	12000	10920	1.7	0.588			623
heptane	C ₇ H ₁₆	100	48070	44560	15.2	0.066	0	0	316
cetane	C ₁₆ H ₃₄	226	47280	43980	15.0	0.066			292
heptamethylnonane	C ₁₂ H ₂₆	178			15.9	0.063			15
α-methylphthalene	C ₁₁ H ₁₀	142			13.1	0.076			0
carbon monoxide	CO	28	10100	10100	2.5	0.403			
coal (carbon)	C	12	33800	33800	11.5	0.087			
butene-1	C ₄ H ₈	56	48210	45040	14.8	0.068	80	99	390
triptane	C ₇ H ₁₆	100	47950	44440	15.2	0.066	101	112	288
undecane	C ₁₁ H ₂₂	142	47590	44220	15.1	0.066	92	113	
toluene	C ₇ H ₈	92	42500	40600	13.5	0.074	109	120	412
hydrogen	H ₂	2	141800	129000	34.5	0.029		90	

Tabel 2.2 Tabel Sifat-Sifat Bahan Bakar

Sumber: Pulkrabek, 1997: 380

Bahan bakar yang digunakan pada pengujian ini adalah bensin premium dan biopremium (95% premium + 5% etanol)

a) Premium

Bahan bakar utama dari motor siklus Otto adalah bensin atau sering disebut premium, dimana merupakan bahan bakar yang tersusun dari hidrokarbon yang diperoleh dari pengolahan minyak mentah (*crude petroleum*). Minyak mentah pertama kali ditemukan di Pennsylvania tahun 1859, yang hampir semua kandungannya adalah unsur hidrogen dan karbon. Variasi kandungan minyak mentah bermacam-macam antara 83% -87% karbon dan 11%-14% hidrogen bila dinyatakan dalam persen massa. Kombinasi dari ikatan karbon dan hidrogen diidentifikasi lebih dari 25.000 variasi ikatan hidrokarbon.

Bensin yang diperoleh dengan cara destilasi bertingkat dari minyak mentah, merupakan bahan bakar yang mudah menguap dan sangat mudah terbakar, memiliki rumus kimia C₈H₁₅ dengan berat molekul relatif sebesar 111. Spesifikasi bensin yang dijual umum oleh Pertamina dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

NO	PROPERTIES	LIMITS		TEST METHODS	
		Min	Max	IP	ASTM
1.	Knock Rating -Research Octane Number ON	88	-		D-2699
2.	T.E.L Content ml/AG	-	1.5		D-2547
3.	DISTILLATION - 10 % vol evap.to 0C - 50 % vol evap. to 0C - 90% vol evap. to 0C - End Point 0C - Residue % Vol	88	74 125*) 180 205 2.0		
4.	R.V.P. at 100 0F psi	-	9.0*)		D-323
5.	Exsistent Gum g/100mg	-	4		D-381
6.	Induction Period min	240	-	-	D-525
7.	Sulphur Content % wt	-	0.2		D-1266
8.	Copper Strip Corriion 3 hr/122 0F	-	No. 1		D-130
9.	Doctor Test or Alternatively Merchaptan Sulphur % wt	-	Negative 0.002	IP 30	-
10.	Color	Yellow			
11.	Dyn Content : Yellow gr/100 AG	0.5			
12.	Odour	Marketable			

Tabel 2.3 Spesifikasi Bensin Premium

Keputusan Dirjen MIGAS No. 108K/72/DDJM/1997 tanggal 28 Agustus 1997
tentang Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Premium.

b) Bio Premium

Bio premium adalah produk yang baru saja dikeluarkan oleh Pertamina dimana produk ini mengandung premium sebesar 95% dan 5% etanol *unhidrous* (tanpa kandungan air) yang merupakan senyawa alkohol. Hal ini agak berbeda dengan bahan bakar yang beredar di negara-negara uni eropa yang mengandung 5,75% etanol. Pertamina memakai alkohol berkadar 99,5% etanol+ 0,5% air.

Alkohol adalah senyawa kimia yang sangat populer digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Alkohol dapat digolongkan sebagai bio fuel yaitu bahan bakar yang dapat diproduksi dari bahan-bahan yang pernah hidup. Bio fuel dapat diperoleh dengan membakar limbah organik kering seperti limbah rumah tangga, limbah pertanian, atau juga melalui fermentasi dari tanaman dan kotoran

hewan. Alkohol yang digunakan pada produk BioPremium adalah alkohol yang diperoleh dari fermentasi gula.

Alkohol adalah senyawa organik mengandung rantai OH yang menempel pada ikatan hidrokarbon. Alkohol yang mempunyai satu rantai OH disebut *monohydric*, dua rantai OH disebut *dihydric*, sedangkan tiga rantai OH disebut *trihydric*. Etanol merupakan *monohydric* dimana hanya ada satu OH.

Etanol sudah beberapa tahun belakangan ini digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Negara yang paling banyak mengkonsumsi etanol sebagai bahan bakar adalah Brazil dimana sejak awal 1990an, sekitar 4,5 juta kendaraan bermotor yang ada mengkonsumsi bahan bakar yang mengandung 93% etanol. Etanol memiliki tingkat emisi yang lebih rendah dari bensin murni namun masih lebih tinggi daripada metanol.

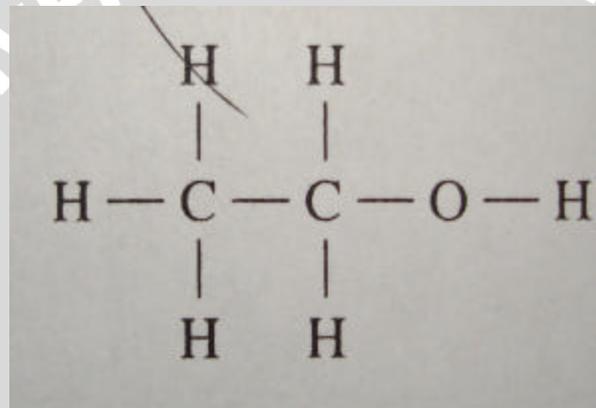
Keuntungan menggunakan etanol sebagai bahan bakar adalah:

- Alkohol dapat diperoleh baik secara natural maupun manufaktur.
- Memiliki angka oktan yang tinggi sehingga dapat digunakan untuk mencegah knocking pada motor dengan rasio kompresi yang tinggi.
- Jika dibandingkan dengan bensin, alkohol memiliki tingkat polusi yang lebih rendah.
- Ketika dibakar alkohol akan menghasilkan jumlah gas buang yang lebih banyak sehingga menghasilkan tekanan yang lebih tinggi pada saat langkah ekspansi.
- Mengurangi kandungan sulfur dalam bahan bakar.

Kerugian menggunakan alkohol sebagai bahan bakar adalah:

- Kandungan energi yang ada pada alkohol lebih kecil daripada kandungan energi bensin
- Alkohol menyebabkan korosi pada tembaga, kuningan, aluminium, plastik, dan karet. Sehingga berpotensi untuk merusak *seal* yang ada pada saluran dan tangki penyimpanan bahan bakar, dimana sebenarnya perlu desain tangki bahan bakar khusus untuk menyimpan bahan bakar alkohol.

- Susah dinyalakan pada lingkungan yang dingin. Hal ini dikarenakan tekanan uap pada alkohol lebih rendah daripada tekanan uap pada bensin, sehingga lebih sulit untuk berubah fase menjadi uap.
- Api yang berasal dari alkohol tidak dapat terlihat sehingga sangat berbahaya. Untuk mengatasi hal ini dapat dilakukan pencampuran bensin terhadap alkohol.
- Dapat membuat orang yang menghirup aroma alkohol menjadi pusing.



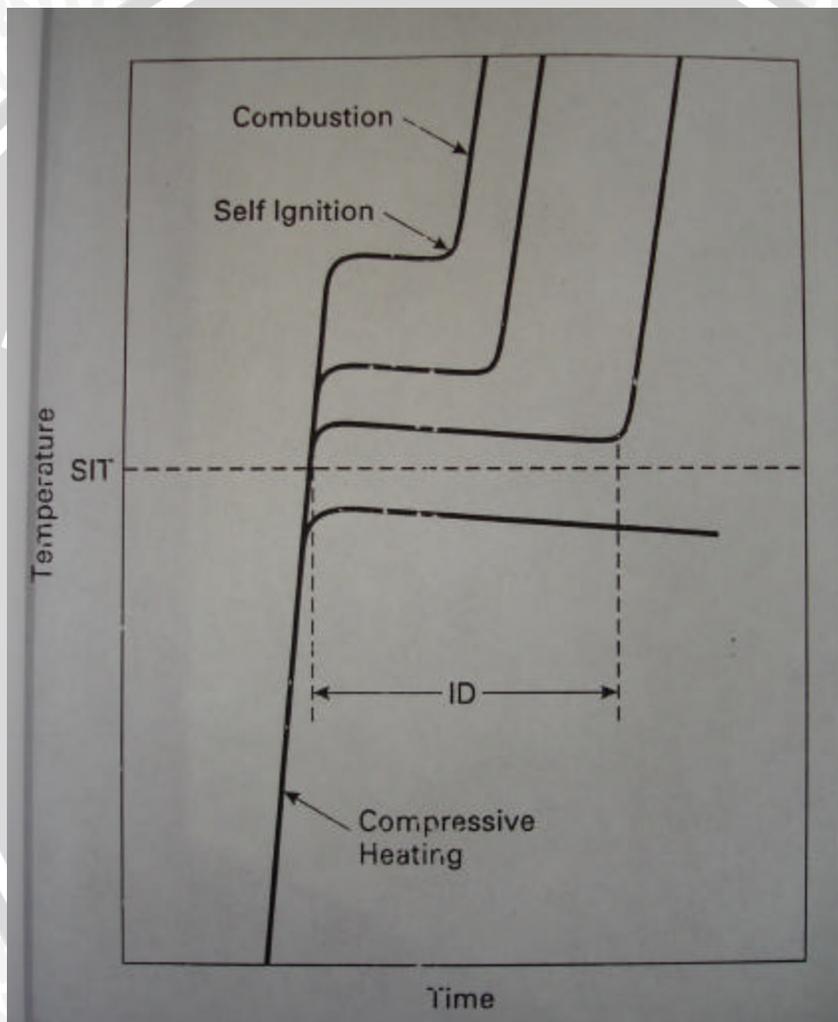
Gambar 2.5 Ikatan Atom Etanol

Sumber: Pulkrabek, 1997: 139

2.5 *Self Ignition* dan Angka Oktan

Jika temperatur dari suatu campuran bahan bakar dan udara mengalami peningkatan sampai suatu suhu tertentu, maka campuran bahan bakar dan udara tersebut akan mengalami *self ignition*, dimana pada *self ignition* bahan bakar dan udara akan terbakar dengan sendirinya tanpa memerlukan busi dan api dari benda lain. Prinsip inilah yang digunakan pada motor-motor diesel. Temperatur dimana suatu campuran bahan bakar dan udara mengalami *self ignition* disebut *self ignition temperatur (SIT)*. Suatu rasio kompresi yang tinggi memungkinkan suatu campuran bahan bakar dan udara yang berada di dalam ruang bakar mencapai *SIT* selama langkah kompresi berlangsung. Keadaan *self ignition* sangat tidak diharapkan terjadi di motor bakar bensin, dimana penyalaan campuran bahan

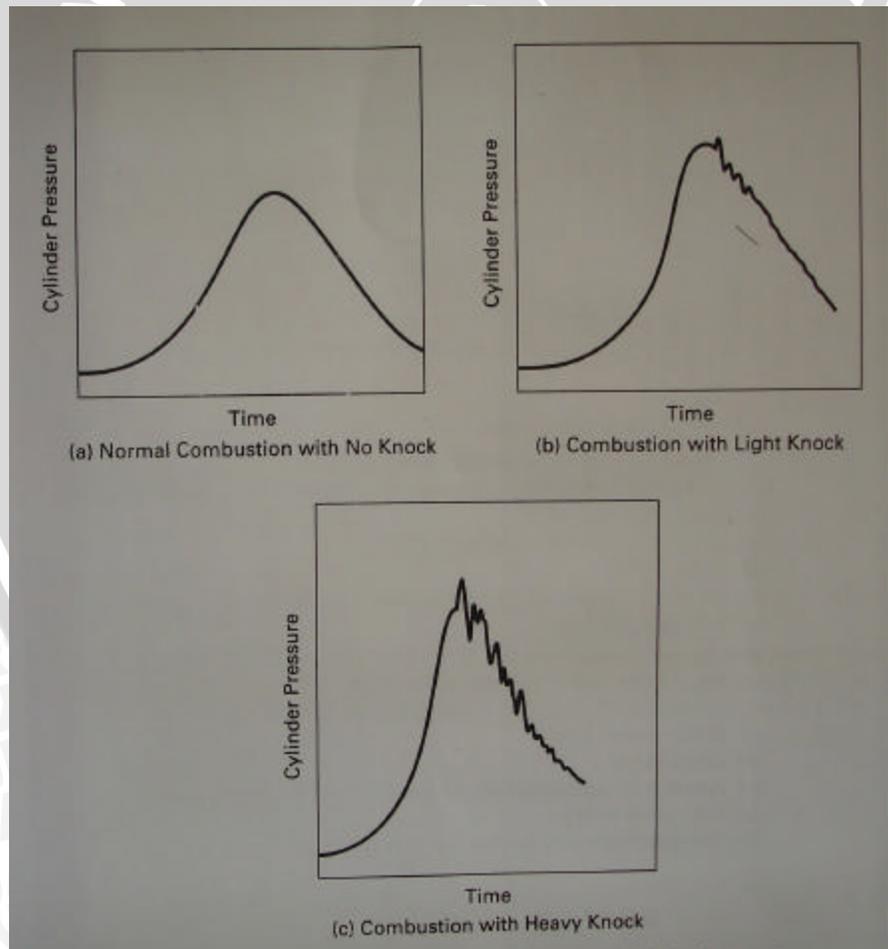
bakar dan udara dilakukan pada timing tertentu oleh busi. Rasio kompresi yang diijinkan untuk motor bensin adalah sampai 11:1, dimana tentunya hal ini juga tergantung dari kualitas bensin yang digunakan. *Self ignition* akan menyebabkan kejutan tekan yang terjadi di ruang bakar. Kejutan ini mempengaruhi kinerja motor dan menyebabkan kerusakan di motor. Fenomena ini disebut dengan *knock* atau *knocking*.



Gambar 2.6 *Self ignition* characteristics of fuels

Sumber: Pulkrabek, 1997: 140

Gambar 2.6 menunjukkan proses *self ignition* yang terjadi pada bahan bakar dan udara yang diberikan temperatur yang berbeda beda. Ketika campuran bahan bakar dan udara diberi temperatur yang masih berada di bawah SIT, tidak terjadi pembakaran. Tetapi apabila campuran bahan bakar dan udara diberikan kalor sampai suhu di atas SIT, maka akan terjadi *self ignition* beberapa saat setelah campuran tersebut mencapai SIT. Penundaan atau *delay* ini disebut *ignition delay*. Semakin tinggi temperatur yang diberikan, maka *ignition delay* akan semakin pendek. Gambar di bawah menunjukkan bila terjadi *self ignition*, maka piston mengalami gaya tekan yang disebut knock dimana tekanan berubah ubah tak menentu. Pembakaran yang diinginkan adalah pembakaran yang tidak terjadi *self ignition*.

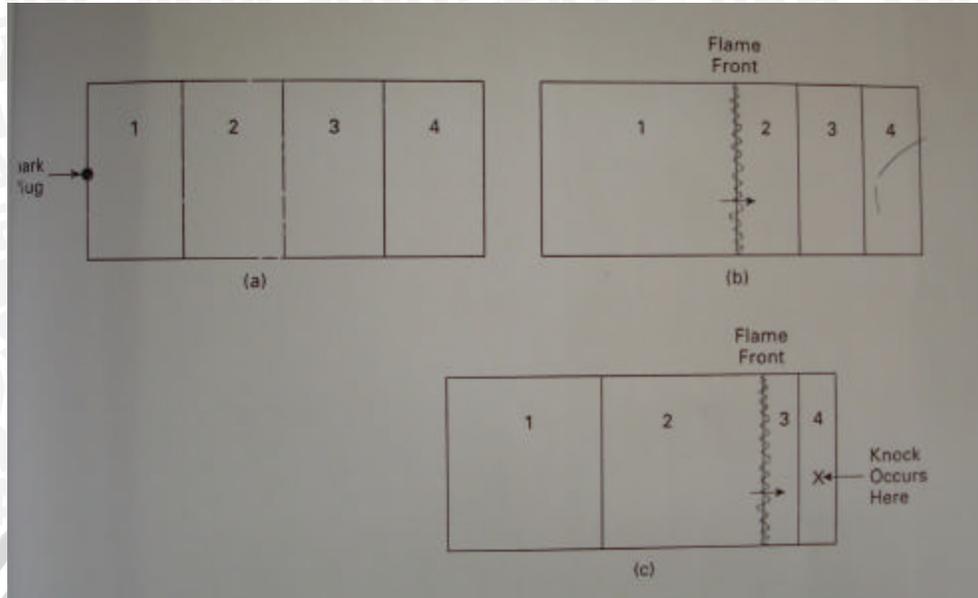


Gambar 2.7 Tekanan Pada Silinder Motor Bakar Sebagai Fungsi Waktu

Sumber: Pulkrabek, 1997: 141

Bila diilustrasikan bentuk silinder sebagai tabung yang berongga seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8, kita bisa melihat apa yang sebenarnya terjadi ketika proses pembakaran berlangsung di ruang bakar. Ruang bakar dibagi menjadi empat bagian volume dan massa. Pembakaran berlangsung ketika busi yang berada di sebelah kiri menyala dan api akan berjalan dari kiri ke kanan. Ketika pembakaran terjadi, maka temperatur dari gas yang terbakar akan meningkat tinggi. Tekanan gas yang suhunya meningkat juga akan meningkat, dan akan mengalami ekspansi. Gas yang belum terbakar akan mengalami kompresi karena mengalami gaya tekan dari gas yang telah terbakar di sisi kiri. Kenaikan tekanan tersebut akan disertai kenaikan temperatur akibat radiasi dari gas yang sudah terbakar. Konduksi dan konveksi kurang berperan dalam proses ini karena proses terjadi dalam rentang waktu yang singkat.

Api bergerak ke bagian dua dari gas dimana pada saat ini kecepatan reaksi akan meningkat akibat kenaikan temperatur. Energi yang dilepas selama proses ini akan sangat besar, api akan berjalan menuju gas yang belum terbakar. Pada akhirnya api akan mencapai bagian akhir dari gas yang belum terbakar, pada saat ini gas yang belum terbakar akan mengalami peningkatan temperatur dan tekanan yang tinggi, sehingga sebagian gas yang berada di ujung ruang bakar akan mengalami *self ignition* yang menyebabkan terjadinya *knocking*. Sangat penting untuk mendisain motor bakar yang tidak mengalami *knock*, dimana api akan membakar semua gas yang belum terbakar sebelum gas tersebut mengalami *self ignition*. Hal ini bisa dilakukan dengan perencanaan bahan bakar dan disain ruang bakar.



Gambar 2.8 Pembakaran Pada Ruang Bakar Dimana Busi Terletak Di Sisi Kiri Ruang Bakar.

Sumber: Pulkrabek, 1997: 142

Pada akhir dari proses pembakaran, bagian dengan suhu tertinggi adalah pada sisi terdekat dengan busi dimana pembakaran dimulai. Dengan membatasi rasio kompresi pada motor, temperatur pada akhir langkah kompresi dapat dibatasi, dimana berfungsi untuk menghindari terjadinya *knock*. Dengan kata lain, kompresi yang tinggi akan menghasilkan temperatur pembakaran yang tinggi, semakin tinggi temperatur maka *ignition delay* akan semakin pendek sehingga sangat mungkin terjadi *knock*.

Sifat bahan bakar yang menggambarkan kemampuan bahan bakar untuk tidak mengalami *self ignition* adalah *angka oktan*. Skala numerik ini diperoleh dengan membandingkan karakteristik bahan bakar yang diamati dengan bahan bakar acuan yang digunakan. Sebagai bahan bakar acuan digunakan *isooktan* (2,2,4 trimetilpentana) dengan angka oktan sebesar 100, dan satu lagi yaitu *n-heptana* dengan angka oktan 0. Semakin tinggi angka oktan maka semakin sulit terjadi *self ignition*. Motor dengan rasio kompresi yang rendah akan menggunakan bahan bakar dengan angka oktan yang rendah. Tetapi motor dengan rasio

kompresi yang tinggi harus menggunakan angka oktan yang tinggi pula untuk menghindari *knock*.

Ada 2 macam tes untuk menentukan angka oktan yaitu *Motor Method* dan *Research Method*. Angka oktan yang dihasilkan dari pengujian di atas adalah *Motor Octane Number (MON)* dan *Research Octane Number (RON)*. Nilai dari *MON* dan *RON* agak berbeda sedikit. Metode ini dilakukan pertama kalinya pada tahun 1930, dimana menggunakan motor silinder tunggal yang bekerja dengan siklus Otto. Motor ini dapat diubah ubah rasio kompresinya antara 3-30. Perbedaan antara *Motor Method* dengan *Research Method* dapat dilihat di tabel di bawah.

	RON	MON
Engine Speed (RPM):	600	900
Inlet Air Temperature (°C):	52 (125°F)	149 (300°F)
Coolant Temperature (°C):	100 (212°F)	100
Oil Temperature (°C):	57 (135°F)	57
Ignition Timing:	13° bTDC	19°-26° bTDC
Spark Plug Gap (mm):	0.508 (0.020 in.)	0.508
Inlet Air Pressure:	atmospheric pressure	
Air-Fuel Ratio:	adjusted for maximum knock	
Compression Ratio:	adjusted to get standard knock	

Tabel 2.4 Pengujian Angka Oktan Dengan Motor Method Dan Research Method

Sumber: Pulkrabek, 1997: 144

Cara pengukuran angka oktan adalah, motor dijalankan menggunakan bahan bakar yang ingin diuji angka oktannya, rasio kompresi diatur sampai motor mengalami *knock*. Bagian *Intake system* dari motor uji ini dirancang agar dapat memvariasikan persentase campuran dari bahan bakar standar yang digunakan yaitu *isooktana* dan *n-heptana*. Bahan bakar standar tersebut divariasikan sampai menghasilkan campuran yang memiliki karakteristik *knock* sama dengan bahan bakar yang diuji. Persentase *isooktan* dan *n-heptana* sebagai campuran tersebut adalah angka oktan dari bahan bakar yang diuji. Sebagai contoh, bahan bakar

yang memiliki karakteristik sama dengan 87% *isooktan* dan 13% *n-heptana* berarti memiliki angka oktan 87.

Anti Knock Index adalah angka yang didapat dari rata-rata antara RON dengan MON yang sering digunakan untuk menggambarkan angka oktan dari suatu bahan bakar.

Angka oktan bensin rata-rata adalah antara 87- 95. sedangkan premium yang beredar di indonesia memiliki RON 88. Sedangkan etanol memiliki RON 111 dan MON 92. Untuk BioPremium yang diedarkan Pertamina memiliki angka oktan 92.

2.6 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang yang akan diamati dalam pengujian ini adalah Hydrocarbon (HC) dan Carbonmonoksida (CO).

a. Hydrocarbon (HC)

Gas buang yang keluar dari ruang bakar pada motor bensin mengandung ikatan hidrokarbon, yang berjumlah sekitar 1-1,5% dari total bahan bakar. 40% dari hidrokarbon yang ada di sini adalah berasal dari bahan bakar yang tidak ikut terbakar. Sedangkan 60% sisanya berasal dari hasil reaksi pembakaran. Jumlah emisi hidrokarbon yang dihasilkan dari proses pembakaran tergantung dari bahan bakar yang digunakan, geometri ruang bakar, dan kondisi pengoperasian motor.

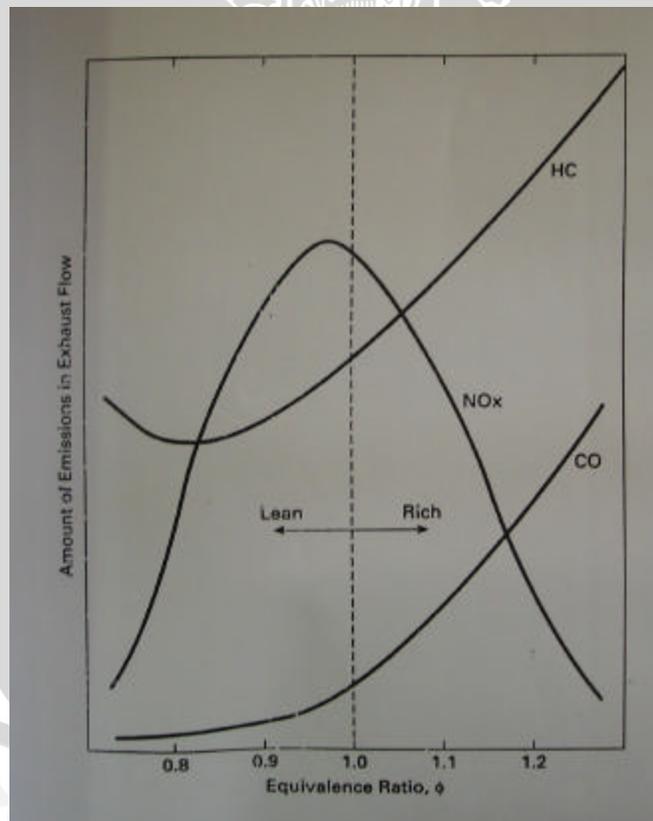
Emisi hidrokarbon yang berada di atmosfer bersifat irritant, odorant, dan kadang-kadang beracun dan menyebabkan kanker. Semua komponen kecuali CH_4 bereaksi di udara dan membentuk kabut.

Sebab terjadinya emisi HC adalah:

- Air fuel Ratio yang tidak stoikiometrik. Gambar 2.9 dapat menggambarkan emisi HC adalah fungsi dari campuran bahan bakar dengan udara. Tingkat emisi HC meningkat pada saat campuran bahan bakar dan udara yang bersifat kaya (rich).
- Pembakaran yang tidak sempurna. Pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar dapat menyebabkan emisi HC meningkat, dimana kadang

terjadi pencampuran udara dengan bahan bakar yang tidak merata sehingga sebagian kecil bahan bakar tidak ikut bereaksi.

- Campuran bahan bakar yang terperangkap di celah piston dengan silinder. Semakin jauh jarak busi dengan ring piston maka akan menyebabkan emisi HC meningkat karena bahan bakar yang terperangkap tidak ikut terbakar.
- Celah pada klep buang. Celah pada klep buang menyebabkan bahan bakar yang berasal dari klep masuk keluar langsung tanpa terbakar pada saat proses kompresi.
- Overlap pada klep. Yaitu keadaan dimana klep buang masih terbuka pada saat klep isap terbuka yang memungkinkan campuran bahan bakar yang masuk ikut terbuang tanpa terbakar lebih dahulu.

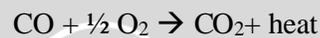


Gambar 2.9 Emisi Pada Motor Bensin Empat Langkah Sebagai Fungsi Dari Perbandingan Bahan Bakar Dan Udara.

Sumber: Pulkrabek, 1997: 279

b. Carbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida bersifat tidak berwarna, tidak berbau, namun beracun. Gas ini terbentuk ketika motor beroperasi dengan kandungan bahan bakar yang kaya (rich) seperti terlihat pada gambar 2.9. Dimana hal ini terjadi karena kurangnya oksigen yang disuplai untuk mengubah semua karbon menjadi CO₂, sehingga membuat adanya bahan bakar yang tidak terbakar unsur karbon yang terbakar menjadi CO. Terjadinya CO di sini adalah suatu kerugian karena berarti pembakaran yang terjadi tidak sempurna. CO masih bisa dibakar lagi dan menghasilkan energi seperti pada reaksi di bawah.



Motor yang beroperasi dengan kondisi campuran bahan bakar yang miskin (lean) dapat meminimalkan emisi CO. emisi CO juga dipengaruhi oleh campuran bahan bakar udara yang tidak merata, dan pembakaran yang tidak sempurna.

c. Oksida Nitrogen

Gas buang pada kendaraan bermotor mengandung hampir 2000 ppm oksida nitrogen, yang merupakan nitrogen oksida (NO), dan sebagian kecil berupa nitrogen dioksida (NO₂), dan ikatan nitrogen oksigen lainnya. Kelompok polutan ini biasa disebut dengan NO_x. NO_x merupakan emisi yang tidak diinginkan. NO_x terjadi karena adanya nitrogen di udara, selain dari udara, nitrogen juga dapat ditemui pada bahan bakar yang mungkin mengandung NH₃, NC, dan HCN., tetapi hanya menimbulkan NO_x yang jumlahnya tidak terlalu tinggi.

NO_x di atmosfer akan menyebabkan terjadinya kabut, yang menjadi masalah di beberapa kota besar. Kabut ini terjadi karena reaksi fotochemical gas buang mobil dengan sinar matahari dimana NO₂ bila terkena energi cahaya matahari akan terurai menjadi NO dan O serta kabut.

d. Aldehydes

Emisi aldehydes terjadi ketika alkohol digunakan sebagai bahan bakar, yang akan mengganggu pernafasan dan indra penglihatan.

e. Sulfur

Beberapa bahan bakar motor diesel mengandung sulfur meski hanya dalam jumlah yang sedikit, dimana sulfur merupakan penyebab terjadinya hujan asam. Kandungan sulfur di bahan bakar sudah dilarang di beberapa negara maju.

Pada temperatu yang tinggi, sulfur berkombinasi dengan hidrogen membentuk H_2S . dan juga bereaksi dengan oksigen membentuk SO_2 . SO_2 juga mampu bereaksi dengan oksigen menjadi SO_3 . Pada saat di atmosfer, SO_2 dan SO_3 akan bereaksi dengan H_2O membentuk H_2SO_3 dan H_2SO_4 yang berbahaya bagi makhluk hidup.

f. Timah hitam (*lead*)

Timah hitam merupakan additive bahan bakar yang berfungsi untuk meningkatkan angka oktan, dimana akan memungkinkan bahan bakar tersebut digunakan pada motor yang memiliki rasio kompresi yang tinggi. Polutan ini akan menyebabkan terhambatnya pertumbuhan sel-sel otak, terutama bagi anak kecil sehingga akan menyebabkan tingkat kecerdasan anak menjadi rendah. Timah hitam juga mudah berikatan dengan darah sehingga sel darah sulit mengikat oksigen.

2.7 Hipotesa

Peningkatan kadar BioPremium dalam campuran bahan bakar akan meningkatkan kandungan etanol, sehingga nilai kalor bahan bakar dan kebutuhan oksigen berkurang, yang berakibat temperatur maksimal yang dapat dicapai di dalam ruang bakar ikut menurun tetapi pembakaran yang terjadi lebih sempurna, sehingga menghasilkan emisi gas buang yang lebih baik walaupun disertai dengan penurunan kinerja motor bensin.

BAB III METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental dengan cara membandingkan unjuk kerja motor bensin empat langkah yang menggunakan Premium murni, BioPremium 25%, BioPremium 50%, BioPremium 75%, BioPremium 100%.

3.2 Bahan Yang Digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Premium yang dicampur dengan BioPremium dengan persentase yang bervariasi yaitu:

- Premium 100%
- Premium 75% + BioPremium 25%
- Premium 50% + BioPremium 50%
- Premium 25% + BioPremium 75%
- BioPremium 100%

Pencampuran bahan bakar dilakukan dengan cara pengadukan.

3.3 Peralatan Yang Digunakan

Peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah:

- Motor Bakar

Motor Bakar yang digunakan memiliki spesifikasi:

- Siklus : empat langkah
- Jumlah silinder : 4 buah
- Volume langkah torak total : 1567 cc
- Diameter silinder : 78 mm
- Panjang langkah torak : 82 mm
- Perbandingan kompresi : 9:1
- Pendingin : air
- Daya poros : 80 BHP/ 5000 RPM
- Model : GWE-80-100-HS-AV
- Negara pembuat : Jepang

- *Enginedynamometer*
Digunakan untuk mengukur besarnya momen puntir dari motor yang diuji.
- *Tachometer.*
Digunakan untuk mengukur kecepatan putar motor. Alat ini sudah terangai menjadi satu dengan motor uji.
- *Exhaust gas analyzer*
Digunakan untuk mengukur komposisi gas buang yang dihasilkan dari proses pembakaran. Gas buang yang akan dianalisa adalah CO, CO₂, O₂, HC.
- *Fuel consumption meter*
Digunakan untuk mengukur konsumsi bahan bakar.

3.4 Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

3.5 Variabel Penelitian

- a. Variabel Bebas, yaitu variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah
 - Komposisi bahan bakar
- b. Variabel Terikat, yaitu variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas yang telah ditentukan. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah
 - Torsi
 - Daya efektif
 - Konsumsi bahan bakar spesifik
 - Efisiensi termal
 - Komposisi gas buang

Selama pengujian timing pengapian dan bukaan throttle tidak diubah.

Pencatatan data diambil pada putaran 1200RPM, 1700RPM, 2200RPM, 2700RPM, 3200RPM.

3.6 Prosedur Penelitian

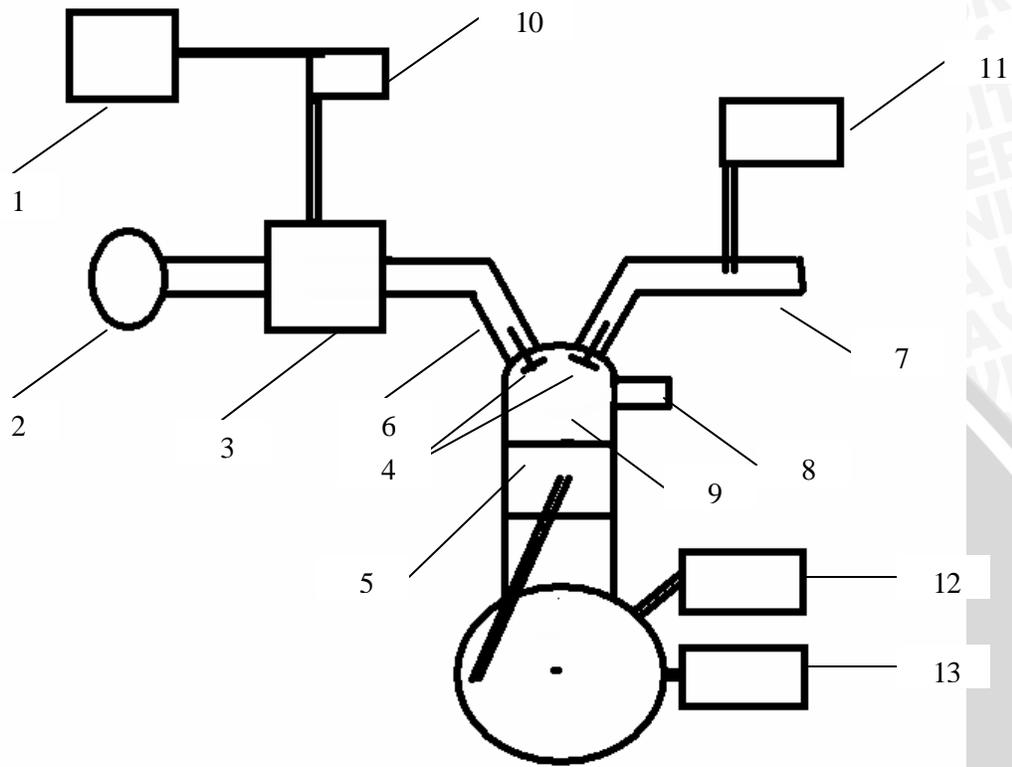
Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data dilakukan pada variasi putaran 1200RPM, 1700RPM, 2200RPM, 2700RPM, 3200RPM pada setiap variasi campuran bahan bakar.

Data yang perlu dicatat pada setiap variasi putaran adalah

- Putaran poros engkol
 - Gaya pengereman
 - Waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar 30 ml.
 - Komposisi gas buang meliputi CO_2 , O_2 , CO , HC .
2. Perhitungan data dimana akan dilakukan perhitungan terhadap data-data hasil pengujian meliputi:
 - Torsi
 - Daya efektif
 - Konsumsi bahan bakar spesifik efektif
 - Efisiensi termal
 3. Pembahasan data yang didapat selama penelitian dan data-data yang diperoleh akan dibandingkan satu sama lain

3.7 Skema Pengujian Alat Pengujian

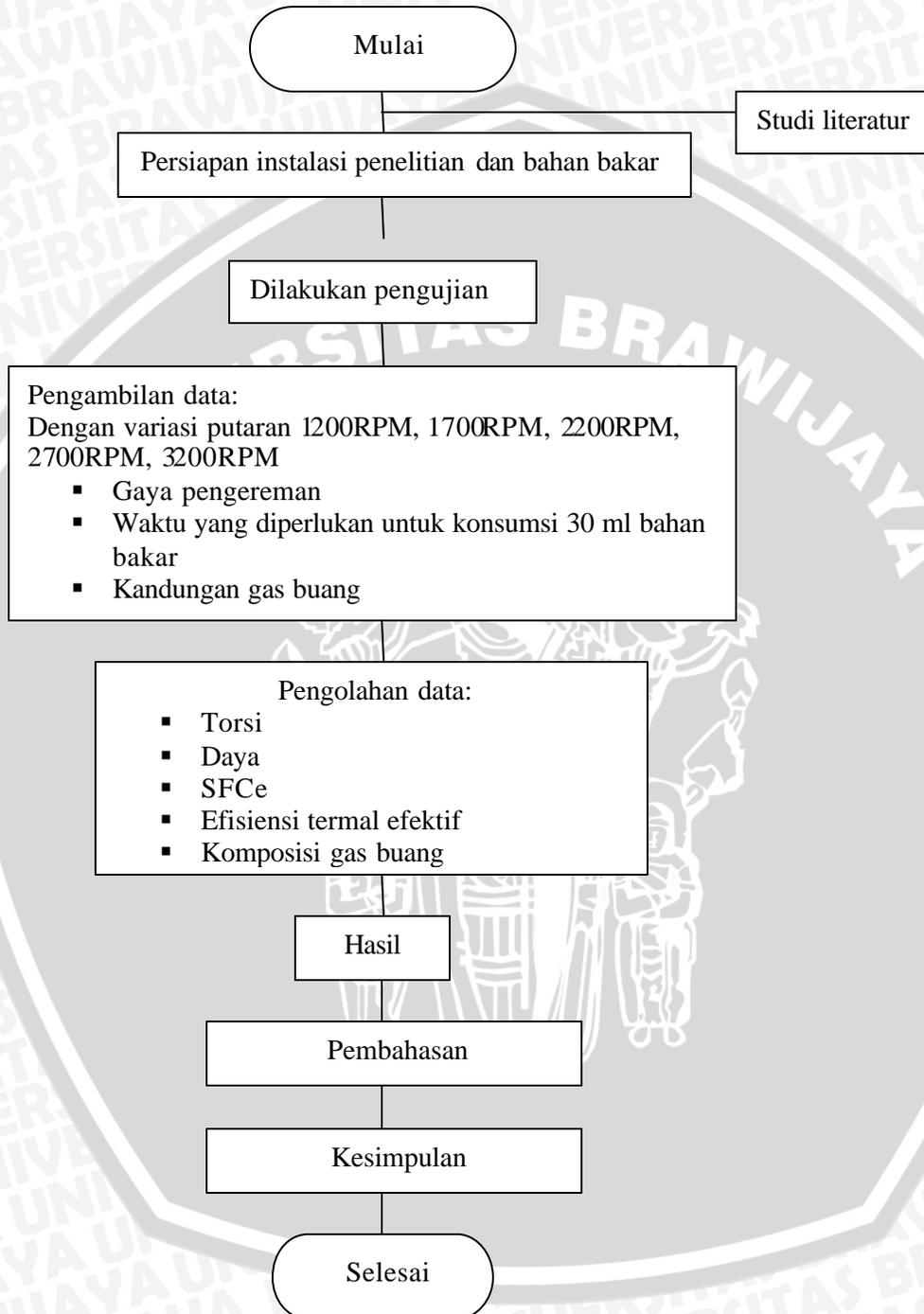


Gambar 3.1 Instalasi Alat Pengujian

Keterangan gam bar:

1. tangki bahan bakar
2. filter udara
3. karburator
4. klep isap dan klep buang
5. piston
6. intake manifold
7. exhaust port
8. busi
9. ruang bakar
10. fuel consumption meter
11. gas analyzer
12. dynamometer
13. tachometer

3.8 Flowchart Penelitian



BAB IV PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Data

Berikut adalah contoh perhitungan untuk bahan bakar BioPremium 100%

4.1.1 Bahan bakar 100% BioPremium

Dengan :

- Buka an Throttle = 32%
- Panjang lengan gaya = 0,375 meter
- Timing pengapian = 8° sebelum TMA
- Putaran poros engkol = 1200 RPM
- Massa jenis bahan bakar = 0,728 kg/liter

Berikut adalah data rata-rata yang didapat selama pengujian dengan 3 kali pengulangan pengambilan data

- Gaya pengereman = 21,166 kg
- Waktu konsumsi 30 ml bahan bakar = 26,186 sekon

Komposisi gas buang (dalam persen volume) yang diperoleh dengan bantuan alat *Gas Analyzer*

- CO = 1,367 %
- CO₂ = 11,633 %
- HC = 259,33 ppm
- O₂ = 4,023 %

a. Torsi

$$\begin{aligned}
 T &= F.L \\
 &= 21,166 \text{ kg} \times 0,375 \text{ m} \\
 &= 7,937 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

b. Daya

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716.2}$$

$$Ne = \frac{T \cdot n}{716.2}$$

$$Ne = \frac{7,937 \text{ kg} \times 1200 \text{ RPM}}{716.2}$$

$$Ne = 13,299 \text{ HP}$$

c. *Fuel Consumption* (FC)

$$Fc = \frac{3600 \cdot g \cdot V}{t}$$

$$Fc = \frac{3600 \cdot 0,729 \text{ kg/liter} \cdot 0,030 \text{ liter}}{26,186 \text{ sekon}}$$

$$Fc = 3,002 \text{ kg/jam}$$

d. *Effective Spesific Fuel Consumption* (SFCe)

$$SFCe = \frac{Fc}{Ne}$$

$$SFCe = \frac{3,002 \text{ kg/jam}}{13,299 \text{ HP}}$$

$$SFCe = 0,225 \frac{\text{kg}}{\text{HP} \cdot \text{jam}}$$

e. Efisiensi Termal Efektif (h_e)

$$h_e = 632 \frac{Ne}{Fc \cdot LHV} \times 100\%$$

$$h_e = 632 \frac{13,299 \text{ HP}}{3,002 \text{ kg/jam} \cdot 9326,32 \text{ kcal/kg}} \times 100\%$$

$$h_e = 30,020 \%$$

f. AFR_{teoritis}

Secara teoritis, AFR dapat dicari dengan menyesuaikan jumlah atom sisi reaktan dan produk pada reaksi pembakaran. Untuk bahan bakar Biopremium, disumsikan memiliki kandungan x etanol (C₂H₅OH) dan (1-x)C₈H₁₅, udara dengan komposisi Oksigen 21% dan Nitrogen 79% dalam persen volum, dimana reaksi pembakaran dapat ditulis:

$$\text{Dengan: } x = 5\% = 0,05$$

$$1-x = 95\% = 0,95$$



Jumlah mol CO₂ dan H₂O sebagai produk dapat diketahui dengan menghitung jumlah atom C dan atom H pada sisi reaktan.

$$b = 0,95 \times 8 + 0,05 \times 2 = 7,7$$

$$c = 0,95 \times 15/2 + 0,05 \times 5/2 = 7,25$$

Koefisien CO₂ dan H₂O sebagai produk dapat diketahui dengan menghitung jumlah atom C dan atom H pada sisi reaktan.

$$0,05 + 2a = 2b + c$$

$$2a = 2b + c - 0,05$$

$$a = \frac{1}{2} (2b + c - 0,05)$$

$$a = \frac{1}{2} (2 \times 7,7 + 7,25 - 0,05)$$

$$a = 11,3$$

sehingga

$$\text{AFR}_{\text{teoritis}} = \frac{(11,3 \times 32) + (3,76 \times 11,3 \times 28)}{(0,95 \times 111 + 0,05 \times 46)}$$

$$= 14,39$$

$$(\text{kg}_{\text{udara}}/\text{kg}_{\text{bahan bakar}})$$

g. AFR_{aktual}

Untuk bahan bakar BioPremium 100% , diasumsikan memiliki kandungan (C_2H_5OH) dan C_8H_{15}



Dari alat *Gas Analyzer* dapat diketahui bahwa emisi gas buang memiliki kandungan :

$$c \rightarrow CO = 1,367 \quad \%$$

$$d \rightarrow CO_2 = 11,63 \quad \%$$

$$e \rightarrow O_2 = 4,02 \quad \%$$

$$g \rightarrow N_2 = 82,983 \quad \%$$

Nilai mol bahan bakar dan udara pada sisi reaktan serta jumlah mol H_2O dalam gas buang dapat dicari dengan menghitung jumlah atom pada sisi reaktan dan sisi produk, dimana jumlah atom kedua sisi harus sama:

$$a = \frac{1}{8} (c + d) = \frac{1}{8} (1,367 + 11,63) = 1,624$$

$$f = \frac{15}{2} \times 0,95 a + \frac{5}{2} \times 0,05 a = 11,774$$

Dimana a adalah koefisien bahan bakar, f adalah koefisien H_2O pada gas buang, serta b adalah jumlah oksigen pada sisi reaktan.

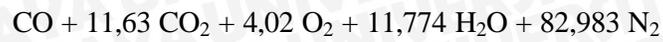
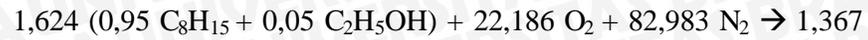
$$\frac{1}{2} (0,05 a) + b = \frac{1}{2} c + d + e + \frac{1}{2} f$$

$$b = \frac{1}{2} c + d + e + \frac{1}{2} f - \frac{1}{2} (0,05 a)$$

$$b = \frac{1}{2} 1,367 + 11,63 + 4,02 + \frac{1}{2} 11,774 - \frac{1}{2} (0,05 \times 1,367)$$

$$b = 22,186$$

Jadi persamaan reaksinya menjadi



sehingga

$$\begin{aligned} \text{AFR}_{\text{aktual}} &= \frac{(22,186 \times 32) + (82,983 \times 28)}{(1,624 \times 0,95 \times 111 + 1,624 \times 0,05 \times 46)} \\ &= 17,32 \quad (\text{kg}_{\text{udara}}/\text{kg}_{\text{bahan bakar}}) \end{aligned}$$

h. Koefisien kelebihan udara (a)

$$a = \frac{\text{AFR}_{\text{aktual}}}{\text{AFR}_{\text{teoritis}}}$$

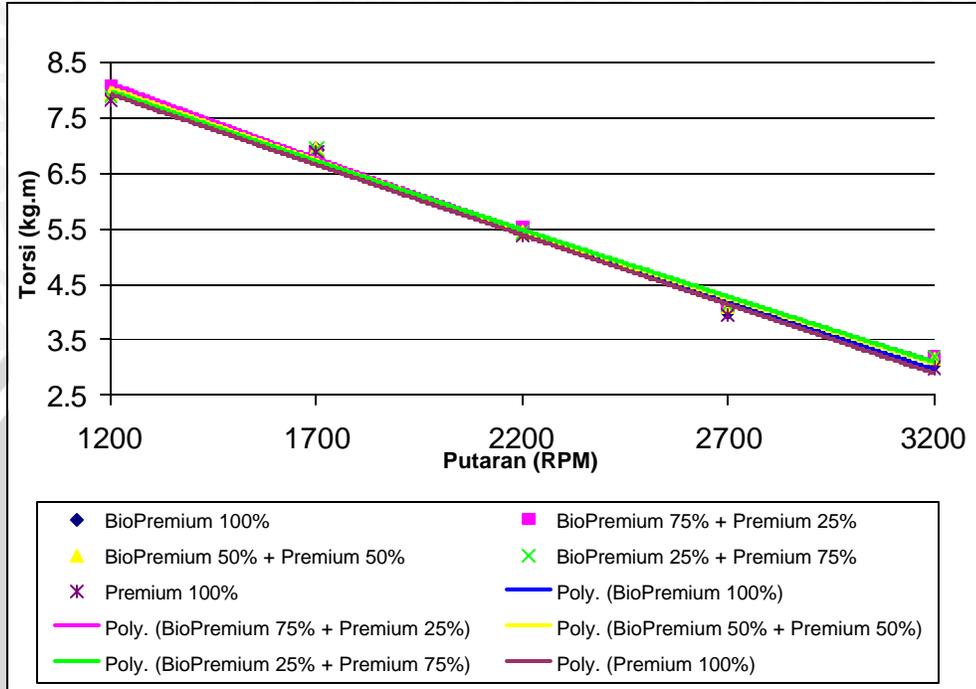
$$a = \frac{17,32}{14,39}$$

$$a = 1,203$$



4.2 Pembahasan Grafik

4.2.1 Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Torsi Dengan Variasi Bahan Bakar



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Torsi Dengan Variasi Bahan Bakar

Dari grafik dapat diketahui bahwa seiring dengan meningkatnya putaran motor, maka torsi akan cenderung turun. Dimana peningkatan putaran motor dilakukan dengan menurunkan gaya pengereman yang dikenakan pada *brake* pada kondisi bukaan *throttle* konstan sebesar 32%. Gaya yang terukur pada neraca pegas akan dikalikan dengan lengan gaya untuk mendapatkan torsi.

Secara keseluruhan dari grafik dapat dilihat bahwa torsi tertinggi didapatkan pada saat menggunakan bahan bakar BioPremium 25% + Premium 75%. Kemudian dari grafik tersebut, dapat diketahui bahwa BioPremium 75% + Premium 25% dan BioPremium 50% + Premium 50% berada di bawah bahan bakar BioPremium 75% + premium 25%. Dibandingkan dengan campuran bahan bakar yang lain, bahan bakar BioPremium 25% + premium 75% memiliki nilai kalor yang paling besar yaitu sebesar 9689,29 kcal/kg, namun angka oktannya agak rendah. Sedangkan bahan bakar BioPremium 75% + Premium 25% dan

BioPremium 50% + Premium 50% masing-masing memiliki nilai kalor sebesar 9499,16 kcal/kg dan 9533,72 kcal/kg. Dengan menggunakan bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang tinggi maka berarti energi kimia yang dikonversi menjadi energi panas kemudian menjadi mekanik akan semakin besar. Untuk bahan bakar BioPremium 100%, menghasilkan torsi yang lebih besar dibandingkan Premium 100%. Namun secara keseluruhan torsi masing-masing bahan bakar tidak berbeda jauh.

Apabila membandingkan nilai torsi yang didapat pada variasi bahan bakar yang berbeda pada saat putaran 1200 RPM, maka dapat diketahui bahwa torsi terbesar pada putaran poros engkol 1200 RPM didapatkan pada bahan bakar BioPremium 75% + Premium 25% sebesar 8,06 kg.m. Nilai torsi yang tinggi, sebesar 7,9375 kg.m, juga didapatkan pada bahan bakar dengan komposisi BioPremium 100% dan BioPremium 50% + Premium 50%. Sedangkan nilai torsi terendah 7,8125 kg.m pada putaran motor yang sama didapatkan pada penggunaan Premium 100% sebagai bahan bakar.

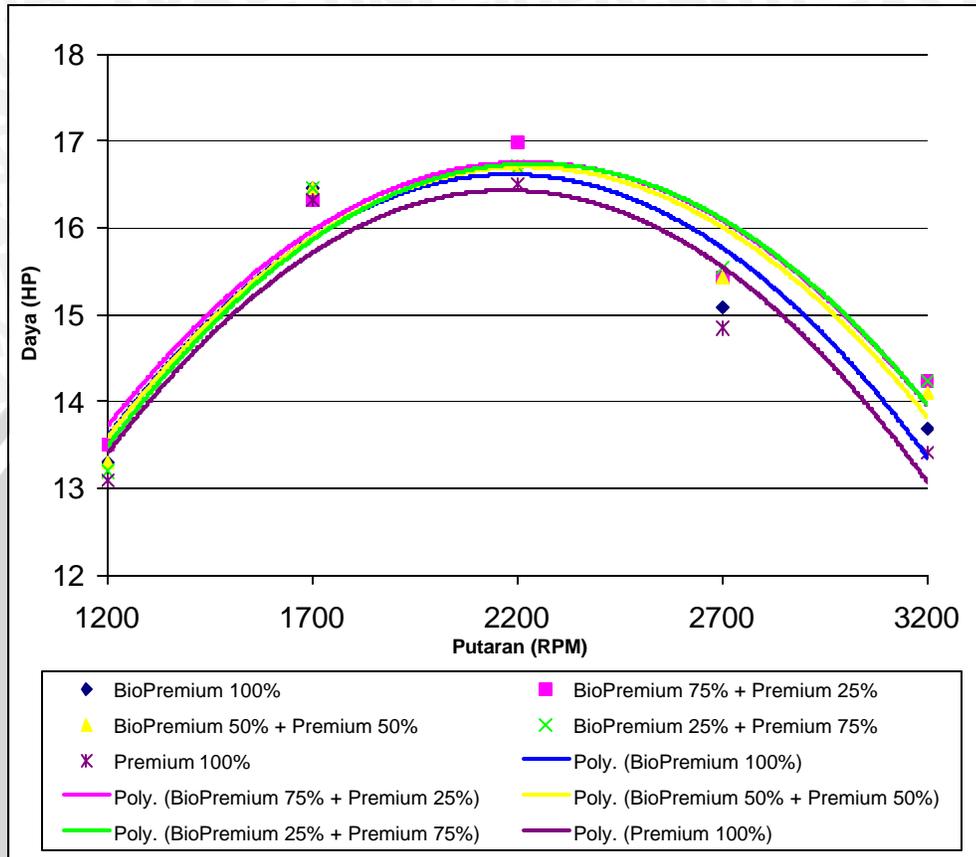
Torsi yang diperoleh pada saat menggunakan bahan bakar BioPremium murni berada di atas torsi yang didapat ketika menggunakan Premium murni. Hal ini tidak sesuai dengan hipotesa dimana sebelum dilakukan pengujian, diperkirakan dengan meningkatnya kadar BioPremium dalam Premium akan menurunkan nilai kalor dari bahan bakar karena rendahnya nilai kalor etanol dibandingkan dengan bensin. Ternyata penurunan nilai kalor pada etanol tidak menyebabkan menurunnya torsi motor, karena dapat diimbangi oleh kenaikan angka oktan yang ada pada bahan bakar yang mengandung etanol. Dengan meningkatnya angka oktan maka selama proses kompresi berlangsung bahan bakar akan terhindar dari kondisi *self ignition* yang biasa dikenal dengan sebutan *knocking*, fenomena ini akan menurunkan kinerja motor, karena pada saat *knocking* motor menerima kejutan pada *timing* yang tidak diinginkan. Dari pengujian dapat diketahui bahwa perbedaan nilai torsi yang didapat tidak terlalu jauh. Selama proses pengujian, pada motor tidak dilakukan pengaturan ulang waktu penyalaan (*timing ignition*), serta pengaturan sekrup udara (*air screw*). Unjuk kerja motor bensin dengan bahan bakar BioPremium murni dan campuran bahan bakar BioPremium dengan Premium yang memiliki angka oktan tinggi

mungkin dapat dimaksimalkan lagi dengan cara mengatur derajat pengapian agar didapat waktu penyalaan atau *timing ignition* yang tepat. Sedangkan bila ditinjau dari kandungan kimianya, BioPremium yang mengandung etanol memerlukan AFR yang lebih kecil karena molekul etanol memiliki rantai karbon yang lebih pendek serta terdapat atom oksigen yang diperlukan dalam proses pembakaran. Untuk mendapatkan AFR yang diinginkan dapat dilakukan pengaturan sekrup udara.

Dari pengujian ini dapat diketahui bahwa mengkonsumsi BioPremium yang diproduksi oleh Pertamina tidak akan mempengaruhi torsi motor secara signifikan karena turunnya nilai kalor pada bahan bakar diimbangi dengan tingginya angka oktan pada BioPremium.



4.2.2 Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Daya Efektif Dengan Variasi Bahan Bakar



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Daya Efektif Untuk Masing-Masing Variasi Bahan Bakar

Dari grafik dapat diketahui bahwa pada penggunaan komposisi bahan bakar yang berbeda beda akan didapat daya yang berbeda pula. Daya efektif yang terukur pada poros dapat dinyatakan dengan

$$Ne = T \cdot \omega = \frac{T \cdot 2\pi \cdot n}{60 \cdot 75} = \frac{T \cdot n}{716,2}$$

Daya motor meningkat seiring meningkatnya putaran motor karena daya motor merupakan fungsi dari putaran motor dikalikan torsi. Pada putaran poros engkol sebesar 1200 RPM sampai 2200 RPM terjadi kenaikan daya efektif, hal ini terjadi karena meskipun setiap kenaikan putaran terjadi penurunan torsi, tetapi dapat ditutupi dengan kenaikan putaran motor. Pada putaran 2200 RPM sampai 3200

RPM maka peningkatan putaran motor tidak akan meningkatkan daya dikarenakan penurunan torsi yang lebih besar daripada kenaikan putaran motor.

Secara keseluruhan daya tertinggi dihasilkan oleh bahan bakar BioPremium 75% + Premium 25%, kemudian diikuti oleh BioPremium 25% + Premium 75% dan BioPremium 50% + Premium 50%. Campuran bahan bakar BioPremium 75% + Premium 25% memiliki angka oktan sebesar RON 91 yang lebih tinggi dibandingkan kedua campuran bahan bakar lainnya masing masing sebesar 90 RON dan 89 RON.

BioPremium 100% menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan Premium 100% karena angka oktan BioPremium sebesar 92 RON lebih tinggi dibandingkan dengan Premium murni sebesar 88 RON. Meskipun Premium memiliki nilai kalor yang lebih tinggi, tetapi tidak dapat menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan BioPremium. Hal ini disebabkan dengan meningkatnya angka oktan yang ada pada bahan bakar BioPremium maka selama proses kompresi berlangsung bahan bakar akan terhindar dari kondisi *self ignition* yang biasa dikenal dengan sebutan *knocking*, fenomena ini akan menurunkan kinerja motor, karena pada saat *knocking* motor menerima kejut tekan pada *timing* yang tidak diinginkan.

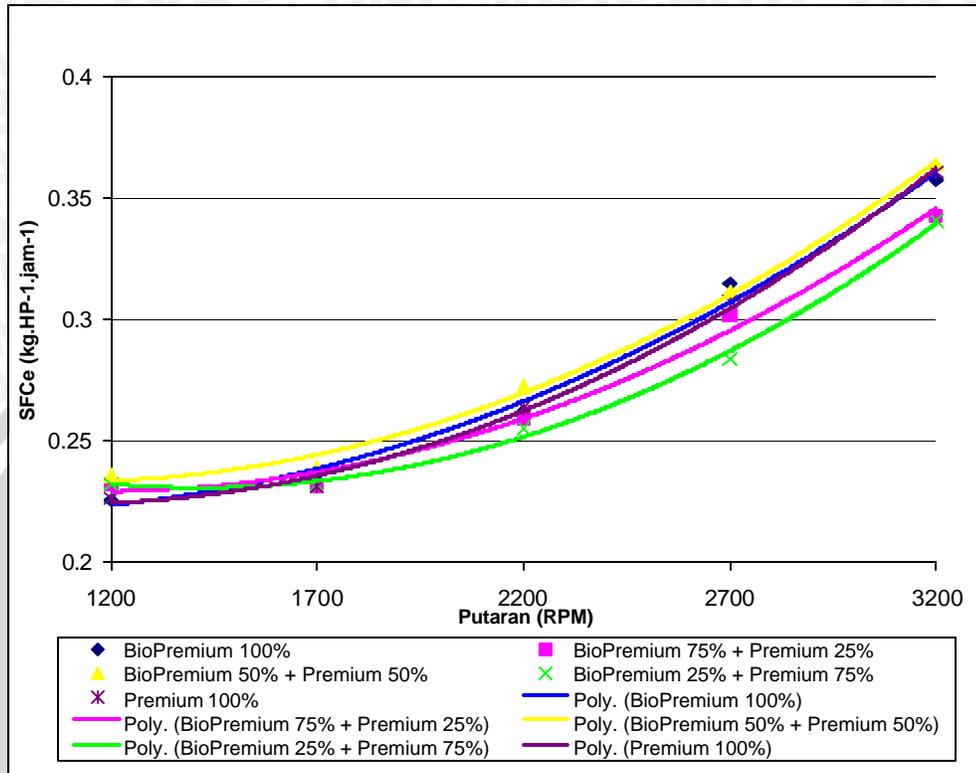
BioPremium murni yang memiliki angka oktan tertinggi menghasilkan daya yang lebih rendah dibandingkan dengan campuran bahan bakar BioPremium dengan Premium dapat disebabkan beberapa hal, yaitu karena pada saat pengujian tidak dilakukan penyeteruan ulang sekrup udara dan *timing* pengapian motor. Dengan meningkatnya angka oktan, maka *timing* pengapian dapat dibuat lebih mundur mendekati TMA dikarenakan semakin tinggi angka oktan maka ketahanan bahan bakar terhadap tekanan pun akan semakin meningkat sehingga dapat mencegah *knocking* seperti yang sudah dijelaskan di atas.

Daya maksimum pada pengujian ini yang diperoleh pada putaran poros engkol sebesar 2200 RPM. Daya tertinggi sebesar 16,9907 HP diperoleh pada saat menggunakan bahan bakar BioPremium 75% + Premium 25%. Hal ini disebabkan bahan bakar ini memiliki kandungan Biopremium yang tinggi yang juga berarti memiliki angka oktan yang cukup tinggi dibandingkan dengan bahan bakar yang

lain. Angka oktan tertinggi didapat pada bahan bakar BioPremium 100%, namun pada prakteknya bahan bakar ini hanya menghasilkan daya sebesar 16,7027 HP. Hal ini dikarenakan tingginya angka oktan pada bahan bakar ini disertai dengan menurunnya nilai kalor pada bahan bakar seiring meningkatnya kandungan etanol yang memiliki nilai kalor yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan bensin (*gasoline*). Berdasarkan referensi nilai kalor bensin murni sebesar 10320 kcal/kg sedangkan etanol sebesar 6468 kcal/kg. Daya maksimum terendah didapat pada saat menggunakan bahan bakar dengan komposisi Premium 100% sebesar 16,510 HP. Namun secara keseluruhan, pada penggunaan etanol yang terkandung pada BioPremium sebagai bahan bakar tidak meningkatkan daya motor secara signifikan karena meski terdapat kenaikan angka oktan, namun nilai kalor bahan bakar menurun akibat rendahnya nilai kalor etanol.



4.2.3 Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap SFCE Dengan Variasi Bahan Bakar



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap SFCE Untuk Masing-Masing Variasi Bahan Bakar

Dari grafik dapat diketahui bahwa *Specific Fuel Consumption Effective* (SFCE) semakin meningkat seiring dengan meningkatnya putaran motor. SFCE adalah fungsi dari *Fuel Consumption* dan daya efektif yang dihasilkan motor.

$$SFCE = \frac{Fc}{Ne}$$

Dari persamaan di atas dapat diketahui bahwa selain dari konsumsi bahan bakar (dalam ukuran massa atau volume) per satuan waktu, SFCE juga dipengaruhi oleh besarnya daya efektif motor. Semakin besar daya yang dihasilkan, maka semakin kecil nilai SFCE. Daya efektif motor dipengaruhi oleh torsi yang dihasilkan motor yang dikalikan dengan putaran poros engkol. Apabila penurunan torsi yang dilakukan dengan mengurangi gaya pengereman dapat ditutupi oleh kenaikan putaran motor, maka terjadi kenaikan daya, dan juga

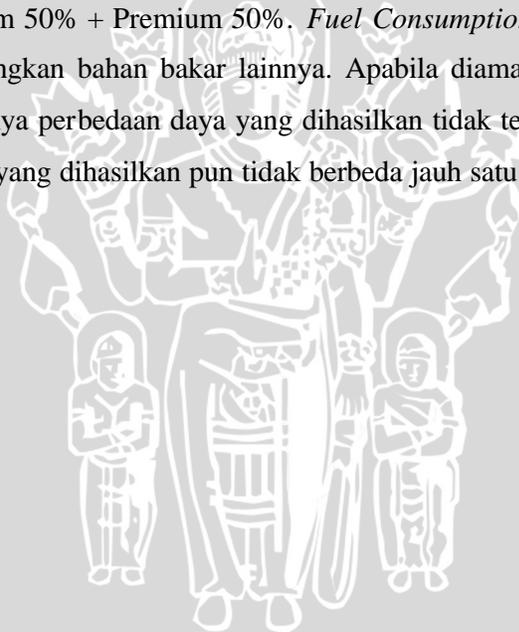
sebaliknya. Kenaikan daya maupun penurunan daya yang dihasilkan oleh motor akan berpengaruh terhadap SFCE motor. Sedangkan *Fuel Consumption* adalah banyaknya bahan bakar dalam satuan massa yang dikonsumsi motor dalam waktu satu jam. Semakin meningkat putaran motor, maka semakin besar konsumsi bahan bakarnya.

Semakin tinggi putaran motor, maka bahan bakar yang dikonsumsi pun akan semakin banyak setiap sekonnnya, peningkatan ini tidak seimbang dengan kenaikan daya yang dihasilkan akibat alasan yang telah dijelaskan dalam pembahasan sebelumnya. Hal ini yang akan mengakibatkan semakin tinggi putaran motor, maka SFCE cenderung meningkat. Bahan bakar BioPremium murni memiliki kandungan alkohol yang paling tinggi. Kerugian menggunakan alkohol sebagai bahan bakar adalah rendahnya nilai kalor atau kandungan energi yang ada dalam satu satuan massanya. Hal ini berarti apabila kita menggunakan alkohol, kita harus membakar lebih banyak alkohol untuk mendapatkan energi yang sama dengan bila kita menggunakan bensin. Hal ini yang mengakibatkan penggunaan alkohol sebagai bahan bakar akan lebih boros dari sisi jumlah bahan bakar yang digunakan. Penggunaan alkohol dalam bentuk etanol sebagai campuran pada BioPremium, kandungannya relatif kecil yaitu 5%. Namun hal ini juga mengakibatkan penurunan nilai kalor bahan bakar secara keseluruhan. Berdasarkan pengujian, Premium murni memiliki LHV 9705,15 kcal/kg sedangkan bensin dengan campuran etanol 5% memiliki LHV 9326,32 kcal/kg.

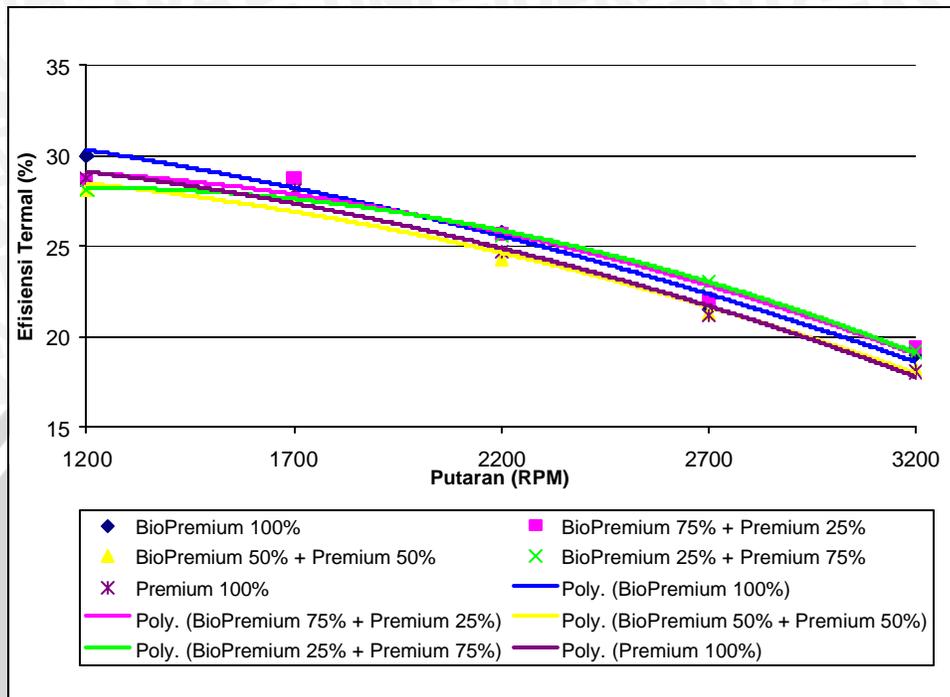
Perbedaan konsumsi bahan bakar diakibatkan perbedaan kandungan yang ada pada bahan bakar. Bensin dan alkohol serta adanya aditif yang ada dalam bahan bakar tidak menguap secara merata. Pada saat adanya udara yang masuk ke dalam venturi, maka udara akan mengalami penurunan tekanan dan kecepatannya meningkat. Penurunan tekanan akan menyebabkan bahan bakar naik dari reservoir venturi menuju leher venturi melalui lubang main jet dan pilot jet. Naiknya bahan bakar ini tidak seragam, bahan bakar yang memiliki berat molekul yang lebih ringan akan lebih mudah naik ke atas atau menguap, sedangkan zat yang memiliki berat molekul lebih besar akan lebih susah menguap. Selain hal tersebut, tekanan uap masing masing zat berbeda. Bensin memiliki tekanan uap (*equilibrium vapour pressure*) yang lebih tinggi dibandingkan dengan alkohol sehingga pada

tekanan dan temperatur yang sama, bensin akan lebih mudah menguap dibandingkan dengan alkohol. Pada tekanan 1 atm atau 76cmHg, bensin akan menguap pada suhu $(37,77-65,55)^{\circ}\text{C}$ sedangkan alkohol menguap pada suhu $77,77^{\circ}\text{C}$. seiring penurunan tekanan maka bahan bakar tersebut akan menguap pada suhu yang lebih rendah pula. Perbedaan dua hal di atas akan berpengaruh terhadap banyaknya bahan bakar yang terhisap ke dalam ruang bakar. Pada daya yang sama, bahan bakar dengan *Fuel Consumption* yang tinggi akan meningkatkan SFCE.

SFCE terendah dihasilkan oleh bahan bakar dengan campuran BioPremium 25% + Premium 75%. Dibandingkan bahan bakar yang lain, bahan bakar BioPremium 25% + Premium 75% menghasilkan daya yang sedikit lebih tinggi dan FC yang baik. Sedangkan SFCE tertinggi dihasilkan oleh bahan bakar dengan campuran BioPremium 50% + Premium 50%. *Fuel Consumption* bahan ini lebih boros sedikit dibandingkan bahan bakar lainnya. Apabila diamati dari sisi daya motor, maka sebenarnya perbedaan daya yang dihasilkan tidak terlampau berbeda jauh. Sehingga SFCE yang dihasilkan pun tidak berbeda jauh satu sama lain.



4.2.4 Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Efisiensi Termal Efektif Dengan Variasi Bahan Bakar



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Efisiensi Termal Efektif Untuk Masing-Masing Variasi Bahan Bakar

Seperti yang diketahui, efisiensi termal adalah perbandingan antara manfaat yang didapat dalam hal ini yaitu daya efektif dengan efek yang dimasukkan ke dalam motor sebagai input yaitu kalor dari bahan bakar.

$$h_e = 632 \frac{Ne}{F_c.LHV} \times 100\%$$

Semakin tinggi daya yang dapat dihasilkan oleh motor, maka nilai efisiensi termal akan naik. Efisiensi termal menurun seiring meningkatnya putaran poros engkol, hal ini disebabkan pada peningkatan putaran poros engkol tidak selalu disertai dengan peningkatan daya akibat turunnya torsi motor. Daya efektif motor dipengaruhi oleh torsi yang dihasilkan motor yang dikalikan dengan putaran poros engkol. Apabila penurunan torsi yang dilakukan dengan mengurangi gaya pengereman dapat ditutupi oleh kenaikan putaran motor, maka terjadi kenaikan daya, dan apabila penurunan torsi terlampaui besar sehingga tidak

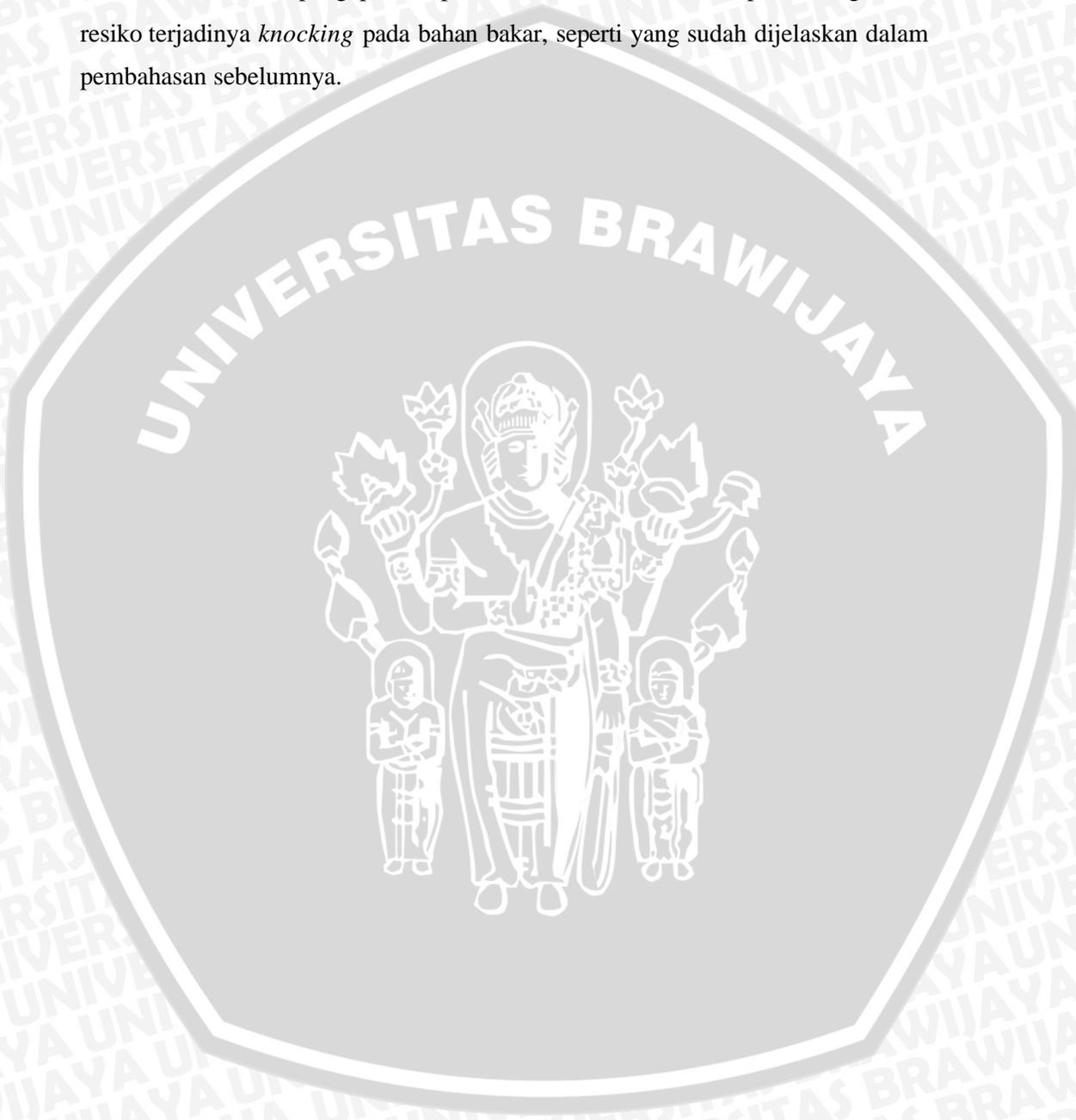
dapat lagi diimbangi oleh kenaikan putaran, maka daya yang terjadi akan semakin rendah atau menurun. Kenaikan daya maupun penurunan daya yang dihasilkan oleh motor akan berpengaruh terhadap efisiensi termal motor.

Secara keseluruhan efisiensi termal terendah dimiliki oleh campuran bahan bakar BioPremium 50% + Premium 50%. Hal ini terjadi karena rendahnya daya yang dihasilkan pada saat motor mengkonsumsi bahan bakar tersebut. Sehingga bila dibandingkan dengan nilai energi yang ada pada bahan bakar maka akan menghasilkan nilai yang rendah. Nilai energi bahan bakar dapat diketahui dengan melihat LHV bahan bakar. BioPremium 50% + Premium 50% memiliki LHV 9533,72 kcal/kg. Padahal konsumsi bahan bakar pada saat menggunakan campuran ini cukup besar. Secara keseluruhan, efisiensi termal terbesar dimiliki oleh campuran bahan bakar BioPremium 25% + Premium 75%. Bahan bakar ini memiliki angka oktan yang cukup tinggi yaitu sebesar 91 RON. Sehingga pada saat digunakan, dapat menghindari terjadinya *knocking* pada motor. Terjadinya *knocking* sangat merugikan seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya.

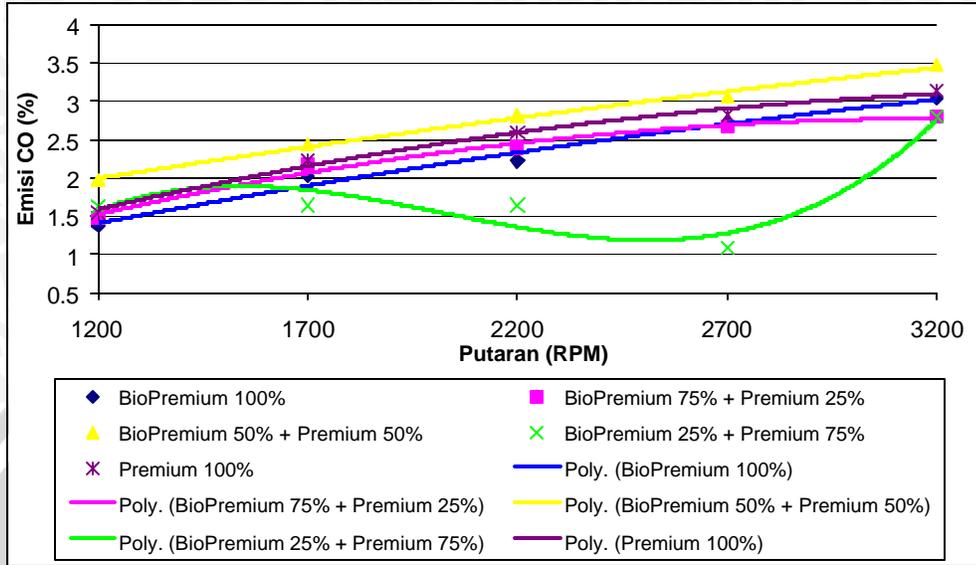
Bahan bakar BioPremium murni memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan Premium murni. Hal ini dimungkinkan terjadi karena BioPremium murni memiliki angka oktan yang lebih tinggi dibandingkan dengan Premium murni. Angka oktan BioPremium murni adalah sebesar 92 RON. Sedangkan Premium murni hanya 88 RON. Sedangkan ditinjau dari nilai kalor, Premium memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan BioPremium yaitu sebesar 9705,15 kcal/kg, BioPremium hanya 9326,32 kcal/kg. Dengan tingginya nilai kalor Premium murni yang tidak disertai tingginya daya yang dihasilkan, maka efisiensi termal Premium murni tidak lebih tinggi dibandingkan dengan BioPremium murni.

Pada saat pengujian, tidak dilakukan pengaturan sekrup udara dan *timing* pengapian, hal ini berpengaruh terhadap efisiensi termal dari masing masing bahan bakar. BioPremium murni sangat mungkin akan menunjukkan peningkatan efisiensi termal apabila dilakukan penyetelan sekrup udara yang berarti akan berpengaruh terhadap debit udara yang masuk sehingga akan didapat AFR yang sesuai, dimana BioPremium memiliki kandungan etanol yang memiliki rantai

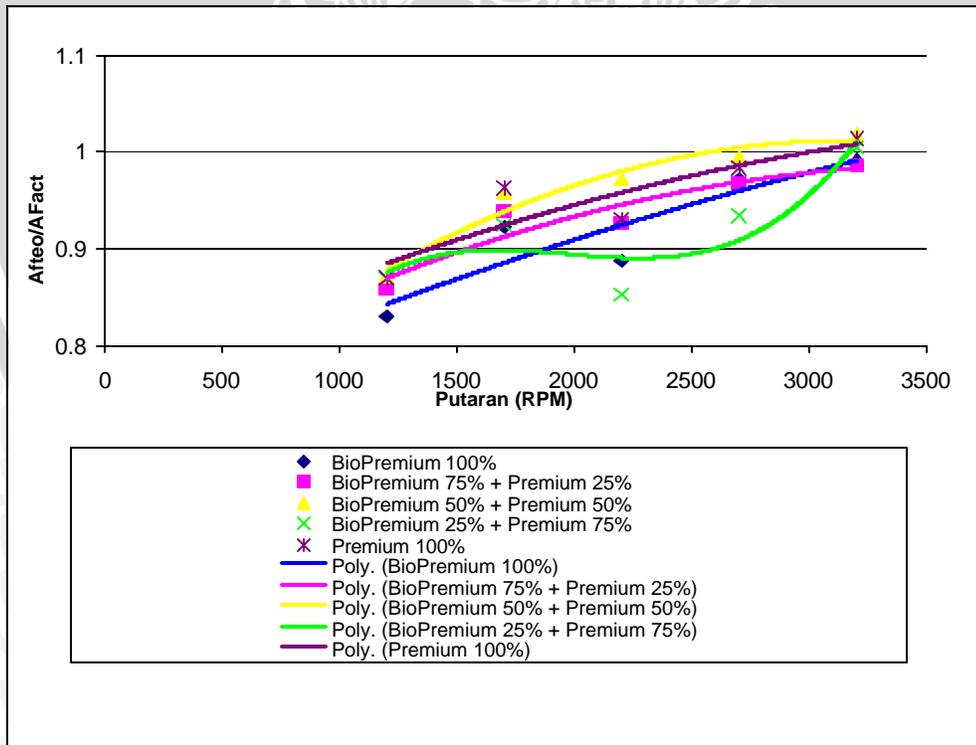
karbon yang lebih pendek daripada bensin serta memiliki atom O akan membutuhkan udara pembakaran yang lebih sedikit daripada Premium murni. Pengaturan *timing* pengapian juga perlu dilakukan. Dengan tingginya angka oktan BioPremium, maka pengapian dapat diatur lebih mundur tanpa meningkatkan resiko terjadinya *knocking* pada bahan bakar, seperti yang sudah dijelaskan dalam pembahasan sebelumnya.



4.2.5 Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Emisi CO Dengan Variasi Bahan Bakar



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Emisi CO Untuk Masing-Masing Variasi Bahan Bakar

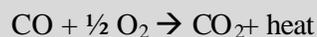


Gambar 4.6 Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap *Equivalence Ratio* Untuk Masing-Masing Variasi Bahan Bakar

Dari grafik dapat diketahui bahwa jumlah emisi CO cenderung meningkat seiring dengan kenaikan putaran motor. Jumlah CO pada gas buang semakin meningkat pada campuran bahan bakar dan udara yang bersifat kaya.

Dari Grafik Hubungan Antara Putaran Poros Engkol Terhadap *Equivalence Ratio* Dengan Variasi Bahan Bakar, dapat terlihat bahwa bahan bakar dengan campuran BioPremium 50% + Premium 50% memiliki nilai *equivalence ratio* berada di atas bahan bakar lainnya. Semakin tinggi *equivalence ratio* campuran bahan bakar dan udara, maka emisi CO akan semakin meningkat. Hal ini terjadi akibat campuran bahan bakar udara yang bersifat kaya, sehingga terjadi kekurangan oksigen selama proses pembakaran, sehingga pembakaran kurang sempurna.

Secara keseluruhan, emisi CO terendah dihasilkan pada saat menggunakan bahan bakar dengan campuran BioPremium 25% + Premium 75%. Pada grafik hubungan putaran poros engkol terhadap *equivalence ratio* dengan variasi bahan bakar, dapat terlihat bahwa rata-rata nilai dari *equivalence ratio* bahan bakar dengan campuran BioPremium 25% + Premium 75% berada di bawah *equivalence ratio* bahan bakar lainnya. Semakin rendah *equivalence ratio* campuran bahan bakar dan udara, campuran bahan bakar dan udara akan semakin miskin, maka emisi CO akan semakin rendah. Hal ini karena jumlah oksigen yang mencukupi sehingga dapat menghasilkan pembakaran sempurna dimana emisi yang dikeluarkan berupa CO₂. Selain itu, kekurangan oksigen juga akan berpengaruh terhadap energi yang dikonversikan dari bahan bakar menjadi energi kalor karena CO pada bahan bakar sebenarnya masih bisa menghasilkan energi panas seperti pada reaksi:



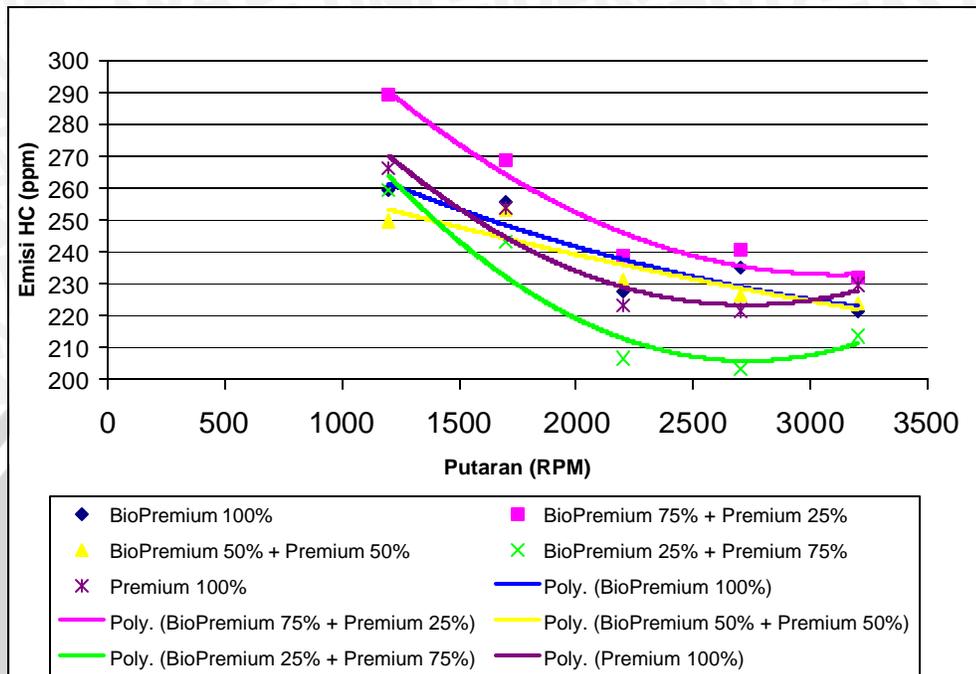
Pada saat menggunakan bahan bakar BioPremium 100%, emisi CO yang dihasilkan lebih rendah daripada penggunaan Premium 100%. Sehingga terbukti bahwa penggunaan etanol sebagai campuran bahan bakar mampu menurunkan kadar emisi CO. Alkohol memiliki rantai karbon yang pendek dan juga memiliki atom oksigen di dalam senyawanya sehingga atom oksigen yang ada di dalamnya dapat bereaksi dengan atom oksigen yang lain pada saat pembakaran membentuk

O₂ yang akan membantu pembakaran. Dengan demikian kekurangan oksigen pada saat pembakaran dapat dihindari.

Emisi CO terbesar terjadi ketika digunakannya bahan bakar dengan campuran BioPremium 50% + Premium 50%. Nilai emisi CO bahan bakar ini selalu berada di atas variasi bahan bakar yang lain. Pada campuran beberapa bahan bakar maka penguapan terjadi pada saat yang berbeda satu sama lain tergantung dari tekanan uap masing-masing bahan bakar. Dimana pada tekanan yang sama, bensin menguap pada temperatur yang lebih rendah daripada etanol. Selain itu sebagian partikel penyusun bahan bakar yang memiliki berat molekul yang lebih besar sangat mungkin untuk menguap tidak bersama-sama dengan partikel yang memiliki berat molekul lebih kecil. Campuran bahan bakar dan udara yang tidak merata akan menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna yang menurunkan daya yang dihasilkan motor dimana juga akan meningkatkan emisi CO pada gas buang.

Pengaturan sekrup udara dan *timing* pengapian juga merupakan sebab terjadinya emisi CO yang berlebih. Semakin banyak udara yang disuplai ke dalam ruang bakar akan menyebabkan bahan bakar bersifat miskin seperti yang telah diuraikan pada paragraf sebelumnya. Dengan mengatur sekrup udara, maka akan didapatkan debit udara yang tepat untuk melakukan proses pembakaran. Dimana semakin miskin campuran, maka emisi CO akan berkurang. Hanya saja penambahan oksigen akan membuat proses pembakaran kekurangan suplai bahan bakar yang dapat menimbulkan kemungkinan terjadinya *misfire* sehingga emisi HC meningkat meskipun CO menurun.

4.2.6 Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Emisi HC Dengan Variasi Bahan Bakar



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Putaran Poros Engkol Terhadap Emisi HC Untuk Masing-Masing Variasi Bahan Bakar

Dari grafik dapat terlihat bahwa masing-masing bahan bakar menghasilkan emisi HC yang berbeda beda. Emisi Hidrocarbon berasal dari bahan bakar yang tidak ikut terbakar dan hasil pembakaran yang tidak sempurna. Hal ini terjadi akibat AFR yang tidak stoikiometrik. Pada kondisi kaya bahan bakar maka akan terjadi peningkatan emisi HC karena karbon dan hidrogen yang ada pada bahan bakar tidak mendapat oksigen yang cukup. Namun peningkatan emisi HC juga terjadi pada pembakaran yang terlampau miskin bahan bakar sehingga mengakibatkan pembakaran berkurang dan adanya *misfire* atau gagalnya pembakaran dalam ruang bakar akibat lambatnya suplai bahan bakar. Pembakaran yang tidak merata, kondisi motor yang tidak standar, celah pada komponen motor akan menyebabkan adanya bahan bakar yang tidak terbakar dan langsung ikut terbuang dalam gas buang akibat terjebak dalam celah-celah tersebut selama proses pembakaran. Kalor latent penguapan masing masing bahan bakar juga merupakan salah satu penyebab terjadinya emisi HC, dimana pada saat alkohol

dan bensin mengalami penguapan, alkohol dan bensin akan menyerap kalor sehingga akan menyebabkan turunnya temperatur pada ruang bakar sehingga memperlambat penyalaan bahan bakar akibat hilangnya kalor yang terjadi pada dinding ruang bakar.

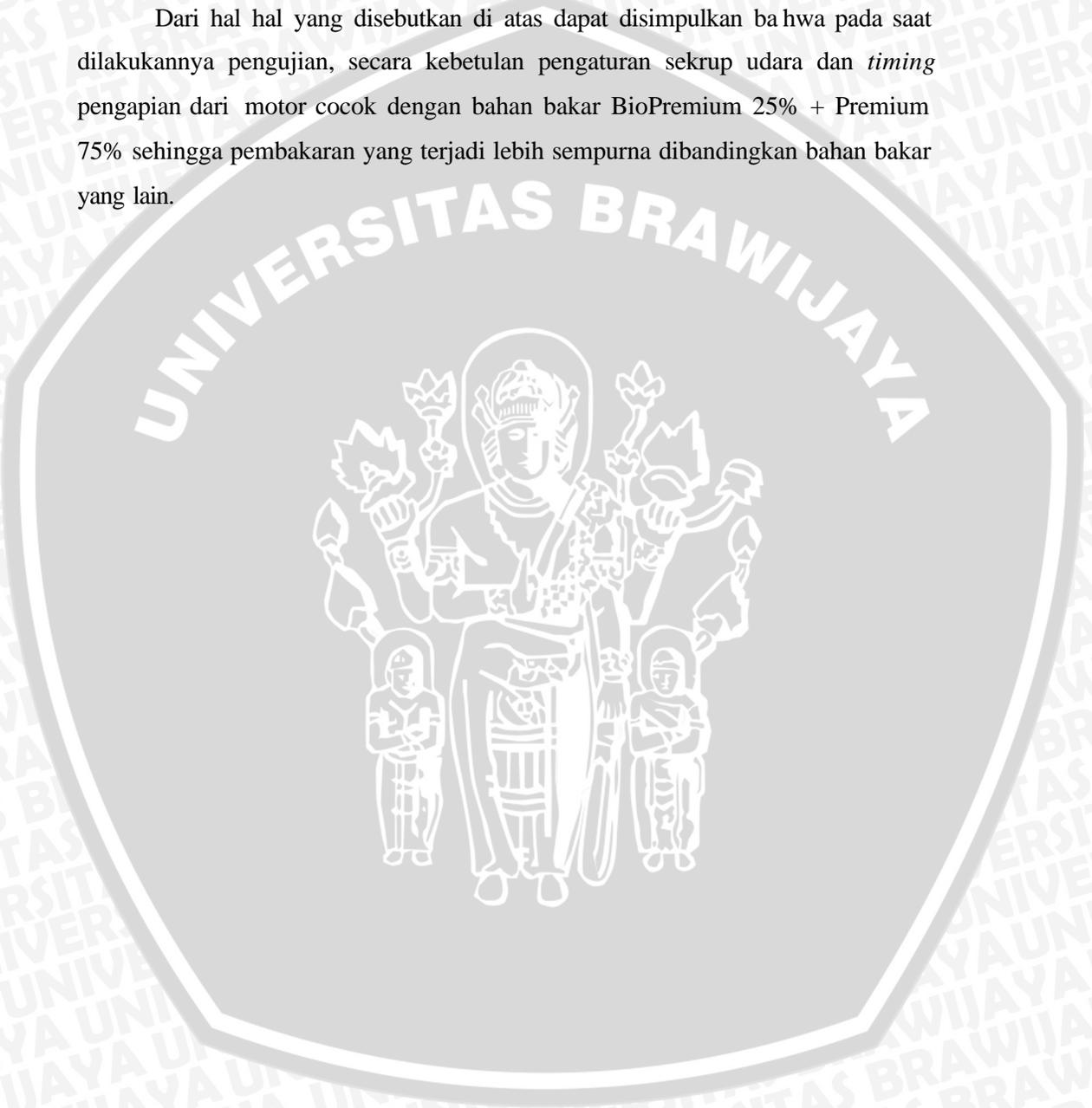
Dari pengujian dapat diketahui bahwa penggunaan campuran bahan bakar BioPremium 75% + Premium 25% tidak ramah lingkungan. Sedangkan bahan bakar BioPremium 25% + Premium 75% menghasilkan emisi HC yang paling rendah. Pada grafik hubungan putaran poros engkol terhadap *equivalence ratio* dengan variasi bahan bakar, dapat terlihat bahwa rata-rata nilai dari *equivalence ratio* bahan bakar dengan campuran BioPremium 25% + Premium 75% berada di bawah *equivalence ratio* bahan bakar lainnya. Tetapi apabila *equivalence ratio* dibuat lebih rendah lagi, maka dimungkinkan terjadi *misfire* sehingga meningkatkan emisi HC. Setelah melewati titik minimum, semakin tinggi *equivalence ratio* campuran bahan bakar dan udara, maka emisi HC akan semakin meningkat.

Penggunaan BioPremium 100% sebagai bahan bakar tidak membuat emisi HC yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan Premium 100%. Hal ini terjadi akibat pada saat menggunakan kedua bahan bakar tersebut *setting* karburator konstan dimana tidak dilakukan penyesuaian sekrup udara (*air screw*) untuk masing masing bahan bakar. Kandungan alkohol yang ada pada BioPremium juga dapat menyebabkan bahan bakar tidak terbakar sempurna. Tekanan uap pada alkohol lebih rendah daripada bensin sehingga pada saat berada di dalam ruang bakar, alkohol yang terkompresi akan berubah fase menjadi cair, yang dalam kata lain dapat dikatakan mengembun sehingga akan menempel di dinding ruang bakar yang akan berakibat alkohol tidak seluruhnya bereaksi dengan udara sehingga tidak terbakar sempurna.

Emisi HC masing-masing campuran bahan bakar dapat dikurangi dengan mengatur sekrup udara sehingga dapat diperoleh debit udara yang sesuai dengan bahan bakar yang digunakan. Semakin tinggi kandungan etanol dari bahan bakar, maka oksigen yang dibutuhkan akan semakin rendah karena etanol memiliki rantai karbon yang pendek dan senyawa etanol memiliki atom oksigen sendiri sehingga dapat mengurangi jumlah oksigen yang harus diberikan untuk terjadinya

proses pembakaran. Selain itu, pengaturan timing pengapian juga perlu dilakukan, dimana bahan bakar yang memiliki oktan yang lebih tinggi memiliki kemampuan untuk mencegah terjadinya *knocking* yang akan menurunkan daya motor seperti yang telah dijelaskan dalam pembahasan sebelumnya.

Dari hal hal yang disebutkan di atas dapat disimpulkan bahwa pada saat dilakukannya pengujian, secara kebetulan pengaturan sekrup udara dan *timing* pengapian dari motor cocok dengan bahan bakar BioPremium 25% + Premium 75% sehingga pembakaran yang terjadi lebih sempurna dibandingkan bahan bakar yang lain.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada pengujian ternyata variasi komposisi bahan bakar yang berbeda akan mengakibatkan perubahan unjuk kerja dan emisi gas buang yang dihasilkan.

Pencampuran BioPremium dalam bahan bakar berpengaruh terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah

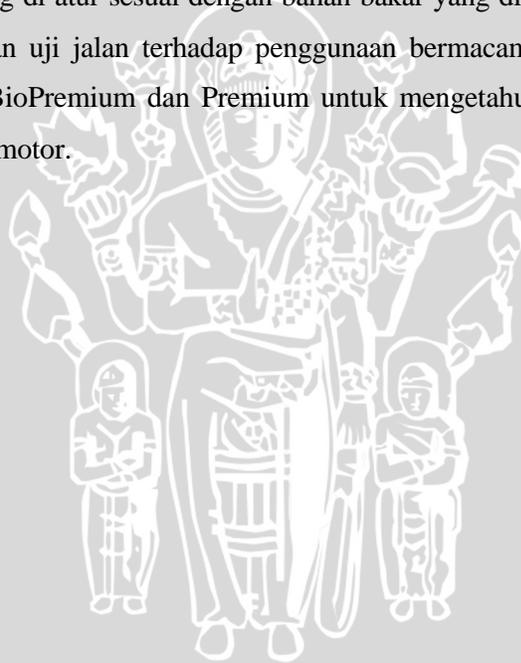
- Torsi tertinggi pada putaran 1200 RPM sebesar 8,06 kg.m didapatkan pada saat variasi campuran bahan bakar BioPremium 75% + Premium 25%.
- Daya efektif tertinggi pada putaran 2200 RPM sebesar 16,99 HP didapatkan pada saat variasi campuran bahan bakar BioPremium 75% + Premium 25%.
- SFCe terendah pada putaran 1200 RPM sebesar 0,2257 kg.HP⁻¹.jam⁻¹ didapatkan pada saat variasi campuran bahan bakar BioPremium 100%.
- Efisiensi termal tertinggi pada putaran 1200 RPM sebesar 30,01 % didapatkan pada saat variasi campuran bahan bakar BioPremium 100%

Pencampuran BioPremium dalam bahan bakar berpengaruh terhadap emisi gas buang motor bensin 4 langkah

- Emisi CO terendah pada putaran 1200 RPM sebesar 1,367 % didapatkan pada saat variasi campuran bahan bakar BioPremium 100%.
- Emisi HC terendah pada putaran 3200 RPM sebesar 213,667 ppm didapatkan pada saat variasi campuran bahan bakar BioPremium 25% + Premium 75%.

5.2 Saran

1. Bagi masyarakat, pengisian bahan bakar secara berganti-ganti antara BioPremium dengan Premium sangat tidak dianjurkan karena dapat menimbulkan kemungkinan memperburuk emisi gas buang. Apabila masyarakat mengisi bahan bakar dengan jenis yang berbeda, maka diharapkan dilakukan pengaturan ulang sekrup udara dan timing pengapian untuk memaksimalkan unjuk kerja motor.
2. BioPremium murni secara keseluruhan lebih baik daripada Premium murni.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk pengujian dengan memvariasikan *timing* pengapian dan pengaturan skrup udara pada karburator yang di atur sesuai dengan bahan bakar yang digunakan.
4. Perlu dilakukan uji jalan terhadap penggunaan bermacam macam variasi bahan bakar BioPremium dan Premium untuk mengetahui akselerasi dari kendaraan bermotor.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim;** 2006: *Motor Plus*; Edisi 393/VII; PT Penerbit Media Motorindo, Jakarta.
- Anonim;** 2005: *Microsoft Encarta Reference Library* 2005; Microsoft Corporation, USA.
- Arismunandar, Wiranto.;** 1988: *Penggerak Mula Motor Bakar*; Penerbit ITB, Bandung.
- Arismunandar, W dan Tsuda, K.;** 1975: *Motor Diesel Putaran Tinggi*; Pradnya Paramita, Jakarta.
- Cengel, Yunus A.;** 1998: *Heat Transfer, A Practical Approach*; McGraw-HillBook Company, New York
- Ferguson, C.R.;** 1986, *Internal Combustion Engine*; Wiley, New York.
- Goodsell, D.L.;** 1995: *Dictionary of Automotive Engineering*; SAE International Inc, USA.
- Holman, J.P.;** 1990: *Heat Transfer*; Mc Graw Hill, New York
- Pulkrabek, Willard W.;** 1997: *Engineering Fundamental of The Internal Combustion Engine*; Prentice Hall International Inc, USA.
- Petrovsky, N.;**1968: *Marine Internal Combustion Engines*; MIR Publiser, Moscow.
- Sudjito dan Widodo, S. Agung;** 2004: *Buku Panduan Praktikum Motor Bakar* (edisi revisi); UB, Malang.