



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PERBANDINGAN KINERJA MESIN OTTO DINAMIS DENGAN
PENAMBAHAN ETHANOL SEBAGAI CAMPURAN BAHAN BAKAR MELALUI MAIN
JET DAN PILOT JET SECARA INDEPENDENT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

CARRY KHARISMA

0906605271

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

JULI 2012

i

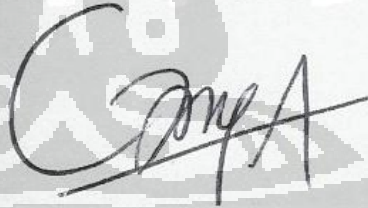
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Carry Kharisma

NPM : 0906605271

Tanda Tangan :



Tanggal : 12 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Carry Kharisma

NPM : 0906605271

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisa Perbandingan Kinerja Motor Otto Dinamis Dengan Penambahan Etanol Sebagai Campuran Bahan Bakar Melalui *Main Jet* dan *Pilot Jet* Secara *Independent*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof.Dr.Ir. Bambang Sugiarto, M Eng

Penguji : Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M.Eng

Penguji : Dr. Agus Pamitran, ST., MEng

Penguji : Ridho Irwansyah, ST., MT

The image shows a collection of handwritten signatures in blue ink. At the top, there is a large signature that appears to be 'B. Sugiarto'. Below it, there are three smaller signatures, each enclosed in parentheses. These correspond to the names of the examiners listed on the left: 'A. Surjosatyo', 'A. Pamitran', and 'R. Irwansyah'. The signatures are written over a faint watermark of the Garuda Pancasila emblem.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 12 Juli 2012

UCAPAN TERIMA KASIH

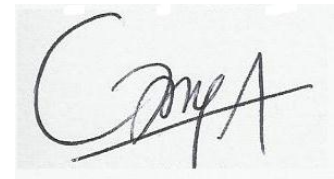
Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. yang telah memberikan nikmat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “ Analisa Perbandingan Kinerja Motor Otto Dinamis Dengan Penambahan Etanol Sebagai Campuran Bahan Bakar Melalui *Main Jet* dan *Pilot Jet Secara Independent.*”

Penulis menyadari, bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai masa penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Allah subhanahuwata'ala** atas kemudahan dan ridhonya sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian ini
2. **Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng** sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan memberikan arahan selama penelitian berlangsung.
3. **Tim penguji skripsi** atas koreksi dan saran untuk perbaikan penelitian ini.
4. **Keluarga** dirumah, terima kasih atas doa dan *support*-nya selama penelitian berlangsung
5. Rekan-rekan satu angkatan **PPSE 09 Teknik Mesin UI.**
6. Rekan-rekan di **PT Astra Honda Motor** khususnya bagian *Motorcycle Testing Sub Dept.* atas bantuan teknis maupun non teknis.
7. Dan **berbagai pihak** yang tidak bisa disebutkan satu per-satu yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung sehingga penelitian ini bisa selesai tepat waktu

Depok, Juli 2012

Penulis



(Carry Kharisma)

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

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

Nama : Carry Kharisma

NPM : 0906605271

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

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

**ANALISA PERBANDINGAN KINERJA MESIN OTTO DINAMIS DENGAN
PENAMBAHAN ETHANOL SEBAGAI CAMPURAN BAHAN BAKAR MELALUI
MAIN JET DAN PILOT JET SECARA INDEPENDENT**

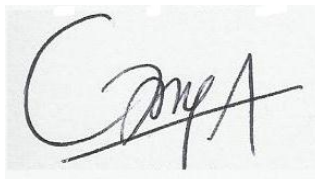
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 12 Juli 2012

Yang menyatakan,



(Carry Kharisma)

ABSTRAK

Nama : Carry Kharisma

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Analisa Perbandingan Kinerja Motor Otto Dinamis

Dengan Penambahan Etanol Sebagai Campuran Bahan

Bakar Melalui *Main Jet* dan *Pilot Jet* Secara *Independent*

Semakin meningkatnya kebutuhan minyak bumi sebagai sumber energi primer yang tidak terbarukan memaksa manusia untuk menemukan sumber energi alternatif. Energi terbarukan merupakan salah satu solusi untuk menghadapi persoalan ini. Salah satu sumber energi yang terbarukan adalah Bioethanol. Dalam penelitian ini akan dilakukan pencampuran etanol melalui variasi jalur *main jet* dan *pilot jet* secara terpisah dengan bensin premium. Tujuannya adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan etanol sebagai campuran bahan bakar terhadap performa mesin Otto dinamis. Besar kadar etanol yang digunakan adalah 80%, 85%, 90%, dan 95%. Dari hasil penelitian ini diharapkan akan diketahui lewat jalur *main jet* atau *pilot jet* etanol dapat bekerja paling optimal sehingga layak digunakan sebagai campuran bahan bakar mesin Otto.

Kata kunci:

Etanol, *main jet*, *pilot jet*, *wheel power*, *wheel torque*, *air fuel ratio*, *emision*.

ABSTRACT

Name : Carry Kharisma

Study Program : *Mechanical Engineering*

Title : *Comparative Performance Analysis of Dynamic Motor Otto*

With the addition of ethanol as Mixed Fuel Through the Main Jet

Fuel and Jet Pilot The Independently

The increasing need for petroleum as a primary energy source is not renewable forcing people to find alternative energy sources. Renewable energy is one solution to deal with this issue. One source of renewable energy is Bioethanol. In this study ethanol blending will be done through a variety of courses main jet and pilot jet separately with premium gasoline. The goal is to determine the effect of the addition of ethanol as a fuel mixture of the Performance of dynamic Otto engines. Large levels of ethanol used was 80%, 85%, 90%, and 95%. From the results of this study is expected to be known via the main jet or pilot jet ethanol so it can work most optimal fit for use as a fuel mix Otto engines.

Keywords:

Ethanol, main jet, pilot jet, power wheel, wheel torque, air fuel ratio, emission.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
PENGESAHAN.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian.....	4
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 DASAR TEORI	7
2.1 Motor Otto	
2.1.1 Klasifikasi Engine (Mesin Otto)	8
2.1.2 Istilah-istilah Pada Engine (Mesin Otto)	9
2.1.3 Siklus Kerja Motor Otto	13
2.1.4 Carburator	16

2.2	Peformasi Mesin Otto	
2.2.1	Torsi dan Daya.....	18
2.2.2	Spesific Fuel Consumption (SFC).....	19
2.3	Air Fuel Ratio (AFR)	20
2.4	Emisi Gas Buang	
2.4.1	Carbon Monoksida	23
2.4.2	Nitrogen Dioksida (NOx)	24
2.4.3	Carbon Dioksida (CO ₂)	24
2.4.5	Oksigen (O ₂)	24
2.5	Bioethanol	
2.5.1	Penggunaan Bioetanol	26
2.5.2	Proses Pembuatan Bioetanol	26
2.5.3	Klasifikasi Etanol / Alkohol	27
2.5.4	Penggunaan Bioetanol Pada Mesin Pembakaran Dalam.	29
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		32
3.1	Metode Eksperimental.....	32
3.2	Persiapan Bahan Bakar	33
3.3	Persiapan Sepeda Motor Dan Alat Uji	34
3.4	Proses Pengambilan Data	39
3.4.1	Pengambilan Data Wheel Power dan Wheel Torque	39
3.4.2	Pengambilan Data Emisi	41
BAB IV ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGOLAHAN DATA		43
4.1	Pengujian Peformasi Motor Otto	43
4.1.1	Daya Roda (Wheel Power)	43
4.1.2	Torsi Roda (Wheel Torque)	45

4.1.3	Air Fuel Ratio (AFR)	48
4.1.4	Specific Fuel Consumption (SFC)	49
4.2	Pengujian Emisi Gas Buang Motor Otto	51
4.2.1	Kadar Gas Carbon Monoksida (CO) Dalam Gas Buang..	51
4.2.2	Kadar Gas Carbon Dioksida (CO ₂) Dalam Gas Buang ..	52
4.2.3	Kadar Oksigen O ₂ Dalam Gas Buang	52
4.2.4	Kadar NO _x Dalam Gas Buang	53
BAB V PENUTUP		54
5.1	Kesimpulan	54
5.2	Saran	55
DAFTAR PUSTAKA		56
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel Emisi Standar Euro	23
Tabel 2.2	Perbandingan sifat etanol dengan bensin	28
Tabel 3.1	Variasi Data Pengujian Etanol – Bensin Premium	33
Tabel 3.2	Spesifikasi Bahan Bakar Premium	33
Tabel 3.3	Spesifikasi Bahan Bakar Etanol	33
Tabel 3.4	Spesifikasi Bahan Pengotor Etanol	34
Tabel 3.5	Spesifikasi Honda Revo 100cc	34
Tabel 3.6	Spesifikasi Gas Analyzer	38
Tabel 4.1	Tabel perbandingan wheel power dari semua varian data	43
Tabel 4.2	Tabel perbandingan wheel torque dari semua varian data	46
Tabel 4.3	Tabel Specific Fuel Consumption	50

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Produksi Minyak, Konsumsi dan Ekspor Impor Nasional	1
Gambar 2.1	Bagan Klasifikasi Engine	8
Gambar 2.2	Gambar TDC dan BDC	9
Gambar 2.3	Gambar Bore Engine	10
Gambar 2.4	Gambar Stroke	10
Gambar 2.5	Gambar Displacement	11
Gambar 2.6	Gambar Compression Ratio	11
Gambar 2.7	Komponen Engine Pembentuk Ruang Bakar	12
Gambar 2.8	Urutan Siklus Kerja Motor Bakar 4 Langkah	13
Gambar 2.9	Diagram P-V ideal Siklus Otto 4 Langkah	14
Gambar 2.10	Diagram T-S ideal Siklus Otto 4 Langkah	14
Gambar 2.11	Bagian-bagian Karburator	16
Gambar 2.12	Posisi Main Jet dan Pilot Jet	17
Gambar 2.13	Ilustrasi Komponen Penyusun Torsi	19
Gambar 2.14	Perbandingan AFR	21
Gambar 3.1	Flow Chart	32
Gambar 3.2	Design 3D fuel mixer	35
Gambar 3.3	Posisi Karburator Utama dan Karburator Penyuplai.....	36
Gambar 3.4	Posisi Selang By Pass Main Jet dan Pilot Jet	36
Gambar 3.5	Posisi Botol Infus Sebagai Reservoir Bahan Bakar	37
Gambar 3.6	Gas Analyzer Technotest	37
Gambar 3.7	Dynamometer Dyno Dynamic	39

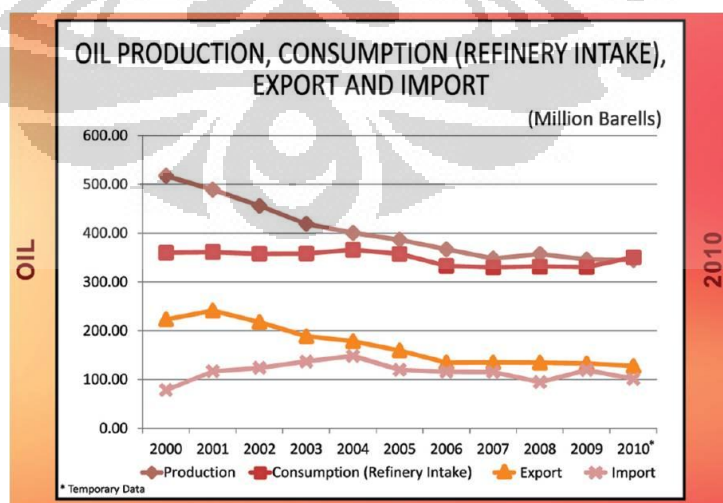
Gambar 3.8	Pengambilan Data Rear Wheel Power & Wheel Torque Menggunakan Dyno Dynamic	40
Gambar 3.9	Pengambilan Data Emisi Menggunakan Gas Analyzer Technotest	42
Gambar 4.1	Grafik Wheel Power Penambahan Etanol Melalui Pilot Jet	44
Gambar 4.2	Grafik Wheel Power Penambahan Etanol Melalui Main Jet	44
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan Max Wheel Power	45
Gambar 4.4	Grafik Wheel Torque Penambahan Etanol Melalui Pilot Jet	46
Gambar 4.5	Grafik Wheel Torque Penambahan Etanol Melalui Main Jet	47
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan Max Wheel Torque	47
Gambar 4.7	Grafik AFR Etanol Melalui Pilot Jet	48
Gambar 4.8	Grafik Trendline AFR Etanol Melalui Pilot Jet	49
Gambar 4.9	Grafik SFC Etanol Melalui Pilot Jet	50
Gambar 4.10	Grafik SFC Etanol Melalui Main Jet	50
Gambar 4.11	Grafik Emisi Gas CO	51
Gambar 4.12	Grafik Emisi Gas CO ₂	52
Gambar 4.13	Grafik Emisi Gas O ₂	52
Gambar 4.14	Grafik Emisi Gas NOx	53

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

50% konsumsi energi nasional Indonesia selama ini berasal dari minyak bumi. Hal ini menunjukkan bahwa bangsa Indonesia masih sangat tergantung pada sumber energi tak terbarukan tersebut. Faktanya, saat ini Indonesia telah melewati masa puncak produksi minyak (sekitar akhir 1970-an melalui primary recovery) dan sedang berjuang keras untuk menahan penurunan produksi alami melalui secondary dan tertiary recovery. Sejak tahun 2004, Indonesia menjadi negara net importer minyak bumi. Konsekuensinya, fluktuasi harga dan ketersediaan pasokan minyak dunia mempengaruhi ketahanan energi Indonesia (Sumber : Migas, ESDM 2012). Produksi minyak bumi dan kondensat Indonesia pada tahun 2010 mencapai 346,38 ribu barrel dengan produksi harian sebesar 944,9 ribu bph, mengalami penurunan sebesar 3.900 bph dibandingkan produksi minyak bumi dan kondensat tahun 2009 sebesar 948,8 ribu bph. Penurunan produksi tersebut disebabkan antara lain karena mundurnya jadwal produksi awal beberapa KKKS, penurunan produksi alamiah, dan permasalahan teknis operasional (Sumber : ESDM 2011)



Grafik 1.1 Produksi Minyak, Konsumsi dan Export Import Nasional

(Sumber : Kementerian ESDM, 2010)

Kontroversi rencana kenaikan bahan bakar minyak pada akhir april 2012 lalu memunculkan banyak aksi demonstrasi, kenaikan harga bahan pokok, serta instabilitas perekonomian lainnya. Hal ini cukup untuk memberikan gambaran bahwa minyak bumi mempunyai peran yang ¹ sangat vital terhadap stabilitas keamanan dan perekonomian bangsa. Oleh sebab itu, Negara perlu mencari energi alternative selain minyak bumi yang diprediksi dalam beberapa tahun kedepan akan habis. Kebijakan energi nasional menargetkan pada tahun 2000-2025 sebesar 5% kebutuhan energi nasional harus dapat dipenuhi melalui pemanfaatan biofuel sebagai energi baru. Dalam pelaksanaannya didukung oleh Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (Biofuel) sebagai Bahan Bakar Lain, yang menginstruksikan kepada Menteri terkait sesuai dengan lingkup tugasnya. Sumberdaya hayati yang terjamin ketersediaannya di bumi Indonesia yang subur merupakan potensi yang besar untuk dapat dimanfaatkan sebagai sumber biofuel. Teknologi pengolahan dan pemanfaatan biofuel sudah banyak dikuasai oleh institusi terkait dan saat ini sudah dapat diaplikasikan secara komersial untuk memenuhi kebutuhan energi nasional sesuai dengan arah kebijakan energi nasional.

Indonesia sebagai Negara yang beriklim tropis mempunyai potensi yang sangat besar untuk mengembangkan energi alternative berupa *Bio-fuel*. Hal ini dikarenakan banyak tanaman yang mengandung banyak selulosa seperti tebu, jagung, ubi, dan singkong dapat tumbuh dengan subur di Indonesia. . Bahan-bahan seperti nira, tebu, jagung, singkong, umbi dan bahan lainnya dapat dengan mudah ditanam untuk diolah menjadi bio-ethanol yang nantinya bisa digunakan sebagai pengganti ataupun campuran bahan bakar minyak. Dengan begitu, pemerintah bisa mereduksi ketergantungan Negara terhadap minyak bumi.

Bio-ethanol dikenal sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan, karena bersih dari emisi bahan pencemar. Bio-ethanol yang dihasilkan dari tanaman-tanaman tadi pada umumnya masih mempunyai kadar ethanol yang rendah. Sedangkan untuk mengaplikasikan bio-ethanol sebagai bahan pengganti atau campuran pada mesin kendaraan bermotor dibutuhkan bio-ethanol dengan kadar tinggi dengan kadar ethanol minimal 85%. Bio-ethanol kadar tinggi bisa

didapatkan dengan melalui proses destilasi. Destilasi adalah proses pemurnian, dimana bio-etanol dengan kadar rendah dapat dijadikan bio-etanol kadar tinggi. Prosesnya seperti halnya penyulingan, cairan yang terdiri dari dua jenis dipanaskan sampai menguap kemudian dicairkan kembali dengan heat exchanger. Proses ini dapat terjadi karena perbedaan titik didih dari fluida yang akan dimurnikan. Setelah bio-ethanol kadar tinggi diperoleh, penulis tidak serta merta mencampur bio-ethanol dengan bensin untuk memperoleh gasohol. Hal ini dikarenakan bio-ethanol tidak dapat bercampur secara homogen dengan cara manual. Pada penelitian ini, penulis menggunakan fuel mixer berupa tiga buah karburator untuk mengatur pencampuran bio-ethanol dengan bensin yang diinjeksikan langsung melalui variasi jalur main jet dan pilot jet. Setelah itu, akan dianalisa kinerja mesin tersebut dari segi , *specific fuel consumption*, *wheel power*, *wheel torque*, dan emisi gas buang yang dihasilkan.

1.2 PERUMUSAN MASALAH

Untuk mengembangkan bio-ethanol sebagai campuran bahan bakar sepeda motor mempunyai beberapa kendala. Pertama adalah bagaimana menjaga pencampuran bensin dengan bio-etanol secara *homogen* dan sesuai dengan kebutuhan mesin pada putaran mesin yang fluktuatif. Dan yang kedua adalah bagaimanakah performa dan emisi gas buang dari motor dinamik setelah bahan bakar bensin dicampurkan dengan bio-etanol, perlu dilakukan analisa faktor apa saja yang mempengaruhi kinerja motor dinamik setelah diaplikasikannya bio-ethanol ini.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan etanol sebagai campuran bahan bakar terhadap peforma mesin Otto dinamis. Besar kadar etanol yang digunakan adalah 80%, 85%, 90%, dan 95%. Dari hasil penelitian ini diharapkan akan diketahui lewat jalur *main jet* atau *pilot jet* etanol dapat bekerja paling optimal sehingga layak digunakan sebagai campuran bahan bakar mesin Otto.

1.4 BATASAN PENELITIAN

Adapun batas-batas terhadap penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Motor bakar dinamis yang akan digunakan adalah Sepeda Motor Honda Revo 4 langkah 100 cc produksi tahun 2007
- b. Proses pengambilan rear wheel power dan wheel torque dilakukan dengan cara *scanning* manual dari 4000 rpm – 10.000 rpm
- c. Kondisi putaran mesin pada saat uji emisi dilakukan pada kondisi statis (tanpa beban jalan) dengan bukaan *throttle* secara konstan.
- d. Variasi rpm saat uji emisi dilakukan mulai dari rpm idle (1600rpm) menengah (4500rpm) , dan rpm tinggi (7500 rpm)

1.5 METODOLOGI PENELITIAN

Pelaksanaannya penelitian ini dilakukan dengan metodologi sebagai berikut:

a. Studi literatur

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya yang juga membahas tentang *BIOETHANOL DISTILLATOR*, *BIOETHANOL ENGINE*, dan Pemanfaatan gas buang pada *engine* statis dan dinamis. oleh karena itu dalam pelaksanaan penelitian ini ada beberapa hal yang menjadi dasar pengembangan alat pada skripsi tersebut sehingga dihasilkan alat yang memiliki kemampuan mencampur etanol dengan bensin secara lebih homogen

b. Pembuatan alat *fuel mixer* dan pengujian pengaruh etanol yang telah dicampur menggunakan alat *fuel mixer* terhadap performa motor pembakaran dalam

Pada tahap ini, konsumsi waktu yang digunakan cukup banyak dalam pelaksanaan penelitian ini. Pembuatan komponen-komponen *fuel mixer* ini diawali dengan konsultasi dengan dosen pembimbing

mengenai rancangan komponen-komponen tersebut agar lebih *compact* serta dapat diaplikasikan pada *engine test*. Tahapan selanjutnya adalah pencarian material-material yang dibutuhkan, untuk kemudian dilakukan proses pembuatan komponen. Pembuatan komponen-komponen ini cukup memberikan tantangan tersendiri karena memerlukan wawasan yang cukup luas dalam proses fabrikasi, metode pembentukan serta perlakuan bahan agar bentuk yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan dengan ketersediaan alat yang ada dan efektifitas pengerjaannya. Pengujian alat *fuel mixer* dengan motor Otto dilakukan berulang kali untuk mencegah serta mengoreksi terjadinya kebocoran dan *over supply* pada *main jet* dan *pilot jet* yang akan mengakibatkan motor Otto tidak hidup.

c. Pengambilan data unjuk kerja motor Otto.

Proses pengambilan data ini dilakukan dengan mengukur konsentrasi bioethanol yang akan dijadikan campuran bahan bakar dan jalur pemasukan bioethanol ke dalam *engine*. Maka selanjutnya disimulasikan untuk bahan bakar sepeda motor dan dilakukan pengambilan data *dyno test* untuk mengetahui perbedaan *performance* dari sepeda motor dan emisi gas buang dari hasil pembakaran. Variasi beban Sepeda Motor pada penelitian ini menggunakan perbedaan putaran mesin yaitu pada posisi stasioner (*idle*), putaran menengah dan putaran tinggi.

1.6 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan pada penelitian adalah seperti di bawah ini:

a. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, permasalahan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batas-batas penelitian, asumsi-asumsi yang digunakan, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.

b. **BAB II DASAR TEORI**

Bab ini berisi teori-teori penunjang atau hal-hal yang menjadi pendukung topik penelitian.

c. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bagian ini memaparkan urutan proses instalasi alat uji, persiapan pengujian, tahapan pengujian, serta prosedur pengambilan data.

d. **BAB IV ANALISA PERHITUNGAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Pada bab ini dijelaskan mengenai data hasil dari percobaan, perhitungan dan pengolahan dari data yang telah diambil dari pengujian. Hasil pengolahan data akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik yang terpadu untuk digunakan sebagai alat bantu analisa terhadap hasil pengolahan data tersebut sehingga dapat bermanfaat untuk mengetahui kondisi unjuk kerja peralatan penelitian.

e. **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini merupakan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 MOTOR OTTO

Motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) adalah mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversikan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanis dan prosesnya terjadi di dalam suatu ruang bakar yang tertutup. Energi kimia dalam bahan bakar terlebih dahulu diubah menjadi energi thermal melalui proses pembakaran. Energi thermal yang diproduksi akan menaikkan tekanan yang kemudian menggerakkan mekanisme pada mesin seperti torak (*piston*), batang torak (*connecting rod*) dan poros engkol (*crank shaft*).

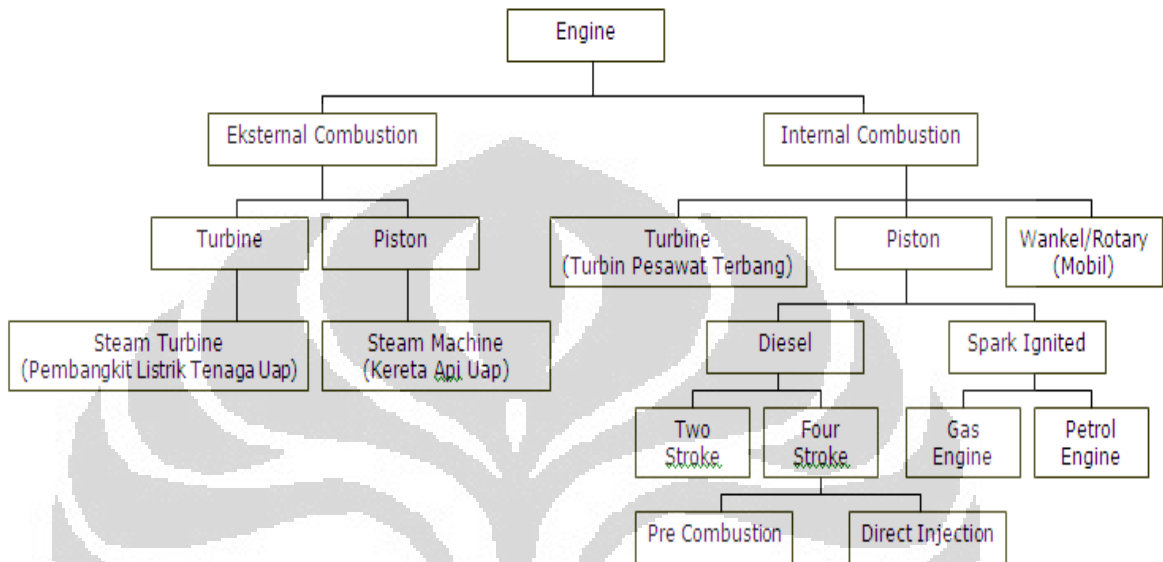
Berdasarkan metode penyalan campuran bahan bakar-udara, motor pembakaran dalam diklasifikasikan menjadi *spark ignition engine* dan *compression ignition engine*. Dalam proses pembakaran tersebut, bagian-bagian motor yang telah disebutkan di atas akan melakukan gerakan berulang yang dinamakan siklus. Setiap siklus yang terjadi dalam mesin terdiri dari beberapa urutan langkah kerja.

Berdasarkan siklus langkah kerjanya, motor pembakaran dalam dapat diklasifikasikan menjadi motor 2 langkah dan motor 4 langkah. Peralatan uji yang digunakan adalah motor *Otto* berbahan bakar bioethanol atau Premium dengan sistem 4 langkah. Motor *Otto* merupakan motor pembakaran dalam karena motor *Otto* melakukan proses pembakaran gas dan udara di dalam silinder untuk melakukan kerja mekanis.

Motor *Otto* dengan sistem *Spark Ignition* menggunakan bantuan bunga api untuk menyalakan atau membakar campuran bahan bakar-udara. Bunga api yang digunakan berasal dari busi. Busi akan menyala saat campuran bahan bakar-udara mencapai rasio kompresi, temperatur, dan tekanan tertentu sehingga akan terjadi reaksi pembakaran yang menghasilkan tenaga untuk mendorong torak bergerak bolak-balik. Siklus langkah kerja yang terjadi pada mesin jenis ini dinamakan siklus *Otto* dengan menggunakan bahan bakar bensin.

2.1.1 Klasifikasi Engine (Mesin Otto)

Saat ini untuk mengerjakan berbagai macam jenis pekerjaan yang berbeda sudah banyak sekali jenis *engine* yang dirancang oleh manusia. Secara umum penggolongan berbagai jenis *engine* yang saat ini biasa dipakai dapat dilihat pada bagan berikut ini:



Gambar 2.1 Bagan Klasifikasi Engine

(Sumber : Bambang Sugiarto. Motor Pembakaran Dalam)

Dari bagan tersebut maka penggolongan yang pertama dilakukan adalah membagi *engine* berdasarkan tempat terjadinya proses pembakaran dan tempat perubahan energi panas menjadi energi gerak. Apabila kedua peristiwa tadi terjadi dalam ruang yang sama maka *engine* tersebut dikategorikan sebagai *engine* dengan jenis *internal combustion*. Sedangkan apabila ruang tersebut terpisah maka *engine* tersebut dikategorikan sebagai *engine eksternal combustion*.

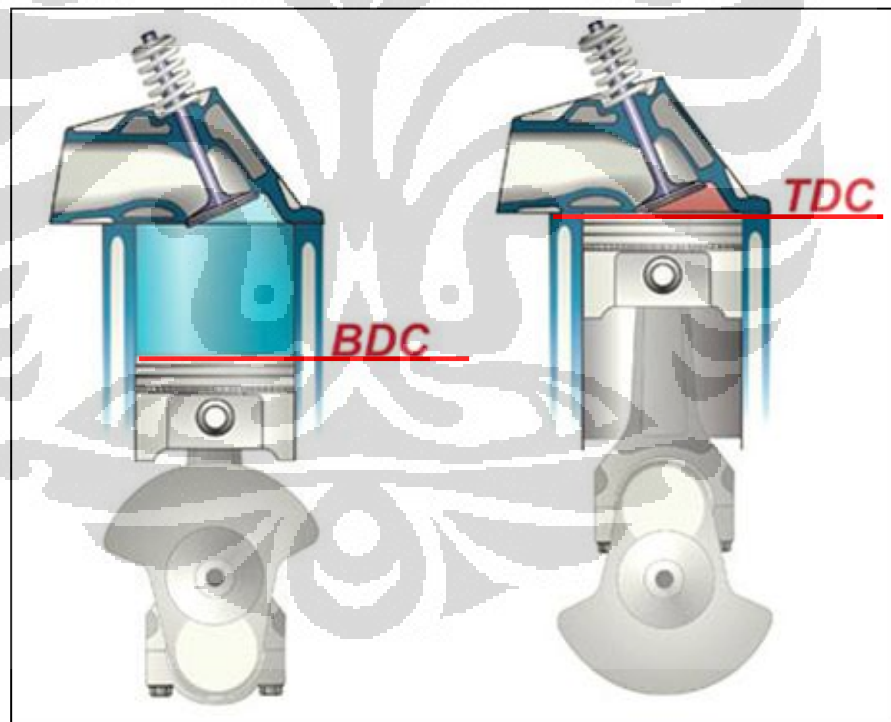
Eksternal combustion engine selanjutnya dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu: *turbine* dan *piston*. Pada *engine* jenis *internal combustion* penggolongan *engine* selanjutnya terdiri dari: *engine piston*, *turbine* dan *wenkel* atau *rotary*. Berdasarkan perlu tidaknya percikan bunga api untuk proses pembakaran maka *engine piston* dibagi menjadi dua jenis, yaitu: *engine diesel* dan *engine spark ignited*. Merujuk pada banyaknya langkah yang diperlukan untuk

mendapat satu langkah *power* maka *diesel engine* dibagi menjadi *engine diesel* dua langkah (*two stroke*) dan empat langkah (*four stroke*). Selanjutnya *engine diesel* empat langkah digolongkan lagi berdasarkan cara pemasukan bahan bakar ke dalam ruang bakar menjadi dua tipe yaitu: *engine* dengan system *pre-combustion chamber* dan *direct injection*. Pada *spark ignited engine* penggolongan pertama didasarkan pada jenis bahan bakar yang digunakan, yaitu: *engine* berbahan bakar gas dan bensin.

2.1.2 Istilah-Istilah Pada Engine (Mesin Otto)

Beberapa terminology/istilah yang banyak digunakan dalam membahas *Engine Otto*.

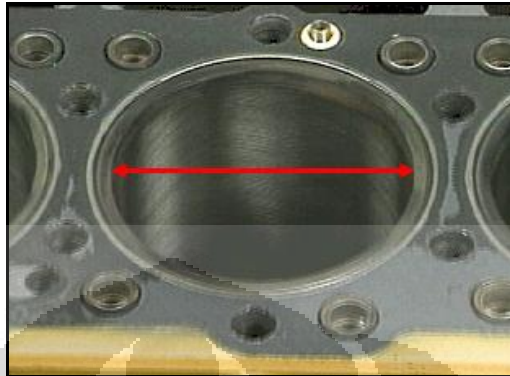
- *Top dead center*/titik mati atas: Posisi paling atas dari gerakan *piston*.
- *Bottom dead center*/titik mati bawah: Posisi paling bawah dari gerakan *piston*.



Gambar 2.2 Gambar TDC dan BDC

(Sumber : www.popularhotrodding.com)

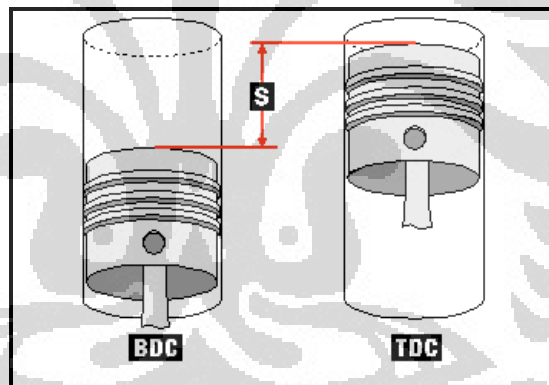
- *Bore*: Diameter blok *cylinder*.



Gambar 2.3 Gambar Bore Engine

(Sumber : www.rychie89-enginediesel.blogspot.com)

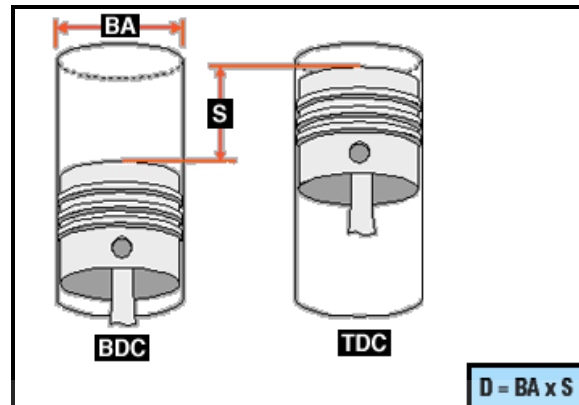
- *Stroke*: menunjukkan jarak yang ditempuh oleh *piston* untuk bergerak dari BDC menuju TDC atau sebaliknya.



Gambar 2.4 Gambar Stroke

(Sumber : www.rychie89-enginediesel.blogspot.com)

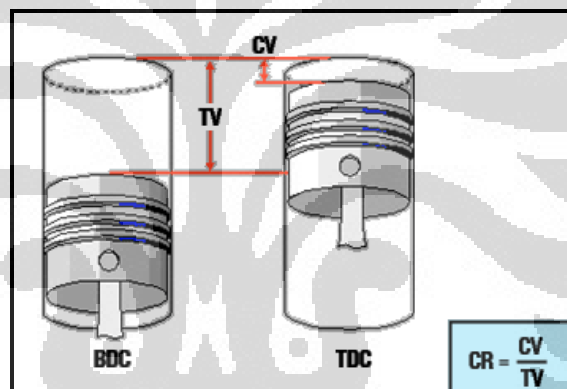
- *Displacement*: $Bore\ Area \times Stroke$.



Gambar 2.5 Gambar Displacement

(Sumber : www.rychie89-enginediesel.blogspot.com)

- *Compression ratio: Total volume (BDC)/compression volume (TDC).*



Gambar 2.6 Gambar Compression Ratio

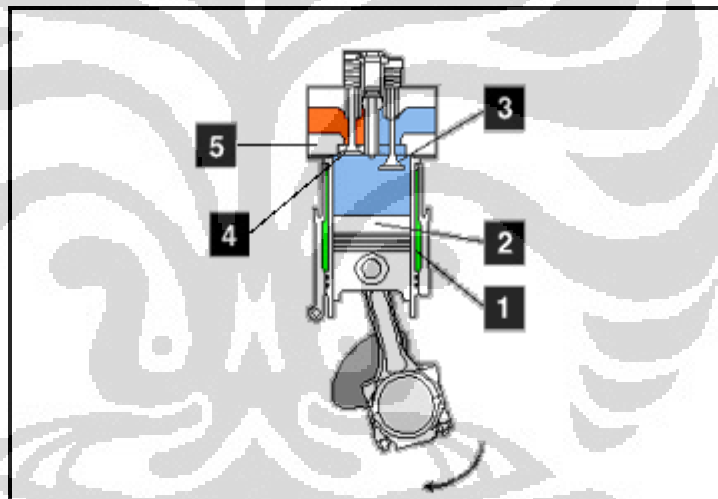
(Sumber : www.rychie89-enginediesel.blogspot.com)

- *Friction/gesekan: Friction* adalah tahanan yang timbul dari gesekan antara dua permukaan yang saling bergerak relatif satu sama lain. Contoh: *Friction* yang terjadi antara *piston* dan dinding *liner* pada saat *piston* bergerak ke atas dan ke bawah. *Friction* menimbulkan panas yang merupakan salah satu penyebab utama keausan dan kerusakan pada komponen.
- *Inertia/kelembaman: Inertia* adalah kecenderungan dari suatu benda yang bila diam akan tetap diam atau benda yang bergerak akan tetap

bergerak. *Engine* harus menggunakan tenaga untuk melawan *inertia* tersebut.

- *Force/gaya*: *Force* adalah dorongan atau tarikan yang menggerakkan, menghentikan atau merubah gerakan suatu benda. Daya yang ditimbulkan oleh pembakaran pada saat langkah kerja. Semakin besar gaya yang ditimbulkan semakin besar pula tenaga yang dihasilkan.
- *Pressure/tekanan*: Tekanan adalah ukuran gaya yang terjadi setiap satuan luas. Sewaktu siklus empat langkah berjalan maka tekanan terjadi di atas *piston* pada saat langkah kompresi dan langkah tenaga.

Selain istilah-istilah di atas harus diketahui juga nama-nama komponen dasar *engine* yang membentuk *combustion chamber* (ruang bakar), yaitu:



Gambar 2.7 Komponen engine pembentuk ruang bakar
(Sumber : www.rychie89-enginediesel.blogspot.com)

No 1: *Cylinder Liner*

No 2: *Piston*

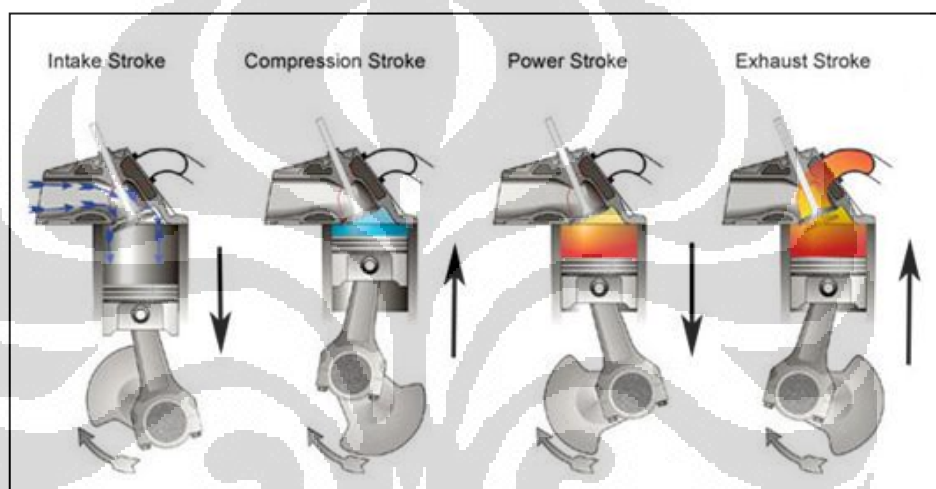
No 3: *Intake valve*

No 4: *Exhaust valve*

No 5: *Cylinder Head*

2.1.3 Siklus Kerja Motor Otto

Pada mesin 4 langkah, torak bergerak bolak-balik dalam silinder dari Titik Mati Atas (TMA) menuju Titik Mati Bawah (TMB) sebanyak 4 kali atau 2 putaran engkol untuk memenuhi 1 siklus kerja. Jarak yang ditempuh torak selama gerakan bolak-balik disebut dengan *stroke* atau langkah torak. Langkah-langkah yang terdapat pada motor bensin 4 langkah adalah langkah hisap (*intake stroke*), kompresi (*Compression stroke*), kerja (*Power stroke*), dan buang (*Exhaust stroke*) seperti pada gambar dibawah ini:

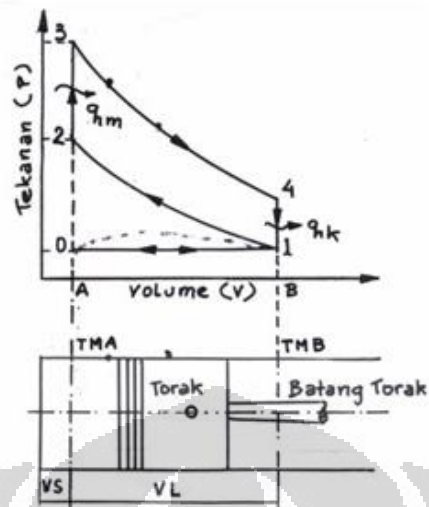


Gambar 2.8 Urutan siklus kerja motor bakar 4 langkah

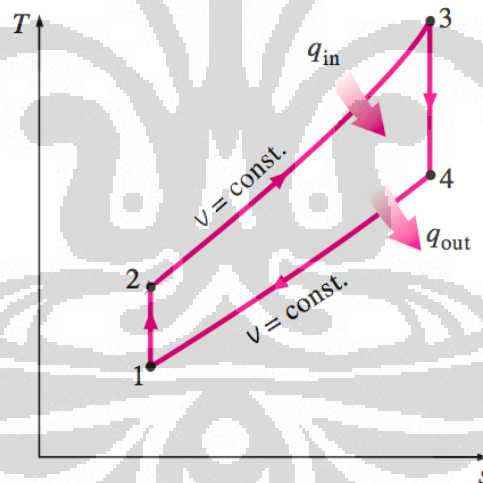
(Sumber : www.popularhotrodding.com)

Pada motor Otto 4 langkah ini, gas pembakaran hanya mendorong torak pada langkah *power stroke* saja. Oleh karena itu, untuk memungkinkan gerak torak pada tiga langkah lainnya maka sebagian energi pembakaran selama langkah ekspansi diubah dan disimpan dalam bentuk energi kinetis roda gila (*flywheel*).

Siklus kerja motor Otto dapat digambarkan pada diagram indikator, yaitu diagram P-V (tekanan-volumen) dan diagram T-S (tekanan-entropi). Diagram indikator ini berguna untuk melakukan analisa terhadap karakteristik internal motor Otto.



Gambar 2.9 Diagram P-V ideal Siklus Otto 4 langkah



Gambar 2.10 Diagram T-S ideal siklus Otto 4 langkah

(Sumber : Y. Cengel & M. A. Boles. *Thermodynamic : An Engineering Approach 5th*)

Langkah-langkah pada mesin Otto 4 langkah dapat dilihat pada gambar 2.9. langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Langkah Hisap / Intake (0 - 1)

Selama langkah isap torak bergerak dari TMA menuju TMB, katup masuk terbuka dan katup buang tertutup. Gerakan torak memperbesar volume ruang bakar dan menciptakan ruang hampa (*vacuum*) dalam ruang bakar. Akibatnya campuran udara dan bahan bakar terisap masuk ke dalam ruang bakar melalui katup masuk. Langkah isap berakhir ketika torak telah mencapai TMB.

2. Langkah kompresi / *compression* (1 – 2)

Selama langkah kompresi katup isap tertutup dan torak bergerak kembali ke TMA dengan katup buang masih dalam keadaan tertutup. Gerakan torak tersebut mengakibatkan campuran udara dan bahan bakar yang ada di dalam ruang bakar tertekan akibat volume ruang bakar yang diperkecil, sehingga tekanan dan temperatur di dalam silinder meningkat.

3. Proses pembakaran / *combustion* (2 - 3)

Pada akhir langkah kompresi, busi pijar menyala sehingga campuran udara-bahan bakar yang telah memiliki tekanan dan temperatur tinggi terbakar. Pembakaran yang terjadi mengubah komposisi campuran udara-bahan bakar menjadi produk pembakaran dan menaikkan temperatur dan tekanan dalam ruang bakar secara drastis.

4. Langkah kerja / *power* (3 – 4)

Tekanan tinggi hasil dari proses pembakaran campuran udara-bahan bakar mengakibatkan torak terdorong menjauhi TMA. Dorongan ini merupakan kerja keluaran dari siklus mesin Otto. Dengan Bergeraknya torak menuju TMB, volume silinder meningkat sehingga temperatur dan tekanan dalam ruang bakar turun.

5. Proses buang (4 – 5)

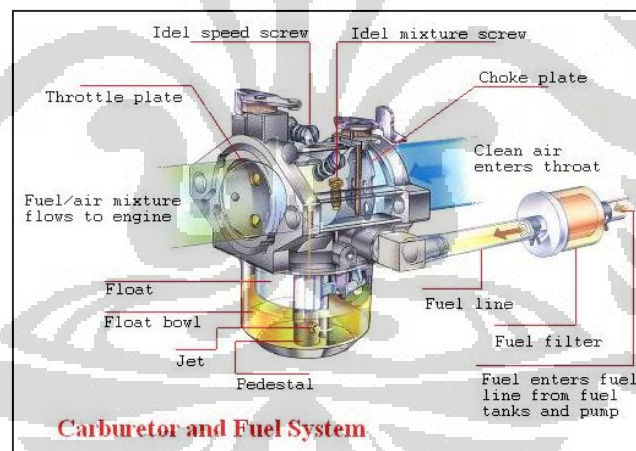
Proses buang ini terjadi pada akhir langkah kerja dimana katup buang mulai terbuka sehingga menyebabkan penurunan tekanan didalam silinder secara drastis.

6. Langkah buang /*exhaust* (5 – 0)

Katup buang terbuka ketika torak telah mencapai TMB. Torak terus bergerak kembali menuju TMA sehingga gas hasil pembakaran tertekan keluar dari ruang bakar melalui katup buang

2.1.4 Carburator

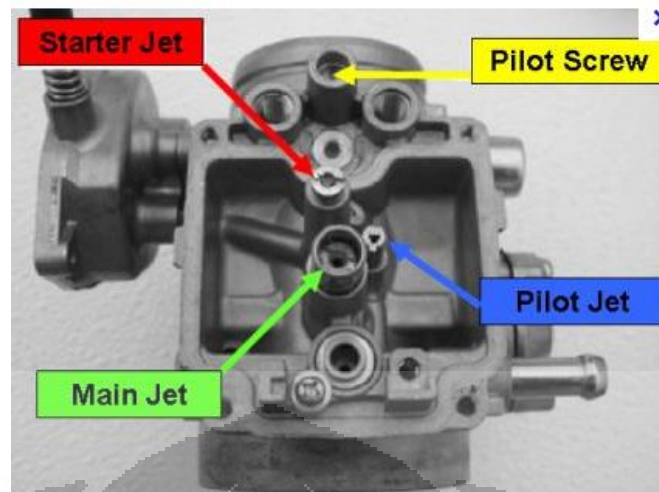
Carburator adalah sebuah alat yang mencampur udara dan bahan bakar untuk sebuah mesin pembakaran dalam. Pada dasarnya karburator bekerja menggunakan Prinsip Bernoulli: semakin cepat udara bergerak maka semakin kecil tekanan statis-nya namun makin tinggi tekanan dinamis-nya. Pedal gas pada mobil sebenarnya tidak secara langsung mengendalikan besarnya aliran bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar. Pedal gas sebenarnya mengendalikan katup dalam karburator untuk menentukan besarnya aliran udara yang dapat masuk kedalam ruang bakar. Udara bergerak dalam karburator inilah yang memiliki tekanan untuk menarik serta bahan bakar masuk kedalam ruang bakar.



Gambar 2.11 Bagian-bagian karburator

(Sumber : www.peswiki.com)

Di dalam karburator terdapat dua komponen yang berfungsi sebagai jalur keluarnya bahan bakar dari ruang pelampung karburator menuju ke intake mesin Otto. Dua komponen tersebut adalah *main jet* dan *pilot jet*.



Gambar 2.12 Posisi main jet & pilot jet

(Sumber : www.oto-trendz.blogspot.com)

Pilot-jet berfungsi buat mensuplai bahan bakar di putaran rendah (*stasioner*) hingga 4.000 rpm. Suplai berangsur hilang dan beralih ke main-jet sesuai bukaan *skep* dan akhirnya digantikan secara penuh oleh main-jet untuk di putaran atas.

2.2 PEFORMASI MESIN OTTO

Ada beberapa hal yang mempengaruhi peformasi motor Otto, antara lain besarnya perbandingan kompresi, tingkat homogenitas campuran bahan bakar dengan udara, angka oktan bensin sebagai bahan bakar, tekanan udara masuk ruang bahan bakar. Semakin besar perbandingan udara motor akan semakin efisien, akan tetapi semakin besar perbandingan kompresi akan menimbulkan *knocking* pada motor yang berpotensi menurunkan daya motor, bahkan bisa menimbulkan kerusakan serius pada komponen motor. Untuk mengatasi hal ini maka harus dipergunakan bahan bakar yang memiliki angka oktan tinggi. Angka oktan pada bahan bakar motor Otto menunjukkan kemampuannya menghindari terbakarnya campuran udara dan bahan bakar sebelum waktunya (*self ignition*) yang menimbulkan *knocking* tadi. Untuk memperbaiki kualitas campuran bahan bakar dengan udara maka aliran udara dibuat turbulen, sehingga diharapkan tingkat homogenitas campuran akan lebih baik.

2.2.1 Torsi dan Daya

Daya atau power adalah kemampuan untuk seberapa cepat kendaraan itu mencapai suatu kecepatan tertentu. Misalnya suatu mobil A dapat mencapai kecepatan 0-100km/jam hanya dalam waktu 10 detik, sementara mobil B mampu hanya dalam waktu 6 detik, dengan begitu bisa diambil kesimpulan bahwa power mobil B > mobil A. Pada pengujian kali ini nilai power yang diukur adalah *Brake Horse Power* (BHP). Daya ini merupakan daya yang dihasilkan mesin kepada beban-beban (inersia mobil, gesekan udara, dll.). Nilai dari Brake Horse Power lebih sedikit daripada daya yang dibangkitkan oleh gas pembakaran didalam silinder. Hal ini dikarenakan terjadinya gesekan mekanik dan beban-beban tambahan (pompa oli, kompresor AC, dll.)

Rumus persamaannya adalah sebagai berikut :

$$P_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} T \quad (2.1)$$

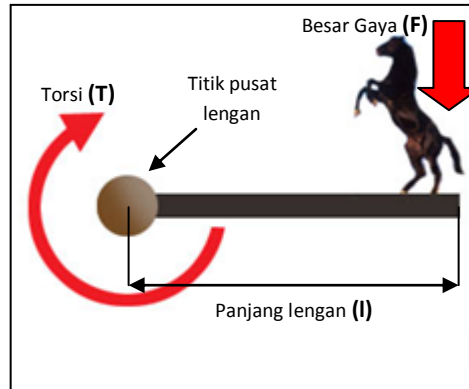
dimana :

P_e = Daya yang dihasilkan (Watt) atau (N.m/s)

n = Putaran poros mesin (rev/min)

T = Torsi (N.m)

Torsi (*torque*) atau momen adalah kemampuan mesin untuk menggerakkan/memindahkan mobil/motor dari kondisi diam hingga berjalan. Torsi berkaitan dengan akselerasi. Pada saat kita merasakan tubuh kita terhempas ke belakang saat berakselerasi, menunjukkan besarnya angka torsi pada mesin tersebut. Rumus dasar torsi adalah besar gaya dikalikan panjang lengan dari titik pusat.



Gambar 2.13 Ilustrasi komponen penyusun torsi

(Sumber : oto.detik.com)

$$\boxed{T = F \times l} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

T = Torsi/momen (N.m)

F = Gaya yang bekerja (N)

l = Panjang lengan (m)

2.2.2 Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific fuel consumption adalah suatu parameter untuk mengetahui jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

Bila daya dalam satuan kW dan laju aliran massa bahan bakar dalam satuan kg/jam, maka :

$$\boxed{Sfc = \frac{m_f \times 10^3}{P_e}} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana: Sfc = konsumsi bahan bakar spesifik (g/kW.h).

m_f = laju aliran bahan bakar (kg/jam).

Besarnya laju aliran massa bahan bakar (m_f) dihitung dengan persamaan berikut :

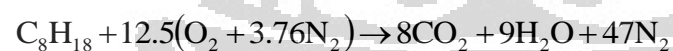
$$m_f = \frac{sg_f \cdot V_f \cdot 10^{-3}}{t_f} \times 3600 \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana: sg_f = *specific gravity*.
 V_f = volume bahan bakar yang diuji.
 t_f = waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak volume uji (detik).

2.3 Air Fuel Ratio (AFR)

Air fuel ratio adalah rasio perbandingan massa udara dengan bahan bakar pada *internal combustion engine*. Untuk mengetahui apakah campuran bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar mempunyai ratio yang tepat kita bisa melihat kondisi motor di bagian ruang bakar dan performa saat dinyalakan.

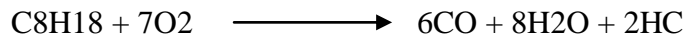
Proses pembakaran dikatakan sempurna bila campuran bahan bakar dan udara dapat terbakar seluruhnya pada waktu dan keadaan yang dikehendaki. Selain itu, pembakaran sempurna terjadi bila seluruh iso-oktana (C₈H₁₈) dapat bereaksi seluruhnya menjadi CO₂ dan H₂O. Berikut ini adalah reaksi pembakaran sempurna:



$$AFR = \frac{\text{Air}}{\text{Fuel}} = \frac{12.5 \times ((2 \times 15.994) + (3.76 \times 2 \times 14.0))}{(8 \times 12.0107) + (18 \times 1.0079)} = \frac{1715.85}{114.2278} = 15.02$$

Dengan memasukkan bilangan *Avogadro* maka didapat perhitungan AFR untuk reaksi pembakaran bensin (C₈H₁₈) dengan udara secara sempurna adalah 15.02.

Proses pembakaran tidak sempurna (tidak *stoikiometri*) terjadi bila terdapat sebagian bahan bakar yang tidak ikut terbakar atau pembakaran yang terjadi bila iso-oktana (C₈H₁₈) tidak dapat bereaksi seluruhnya menjadi CO₂ dan H₂O melainkan menjadi CO, HC, dan H₂O. Reaksi pembakaran tidak sempurna dapat dituliskan sebagai berikut:

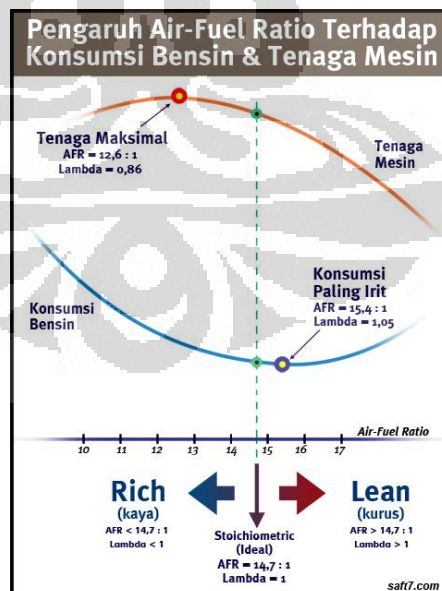


Untuk mendapatkan ratio yang tepat, karburator disetting agar aliran udara yang masuk sesuai dengan bahan bakar yang dibutuhkan. Secara teoritis, untuk membakar bensin secara sempurna, ratio udara banding bahan bakar yang tepat adalah 15:1. Namun mesin memerlukan kondisi campuran yang berbeda bergantung pada kondisi kerja, contohnya sbb Start mesin dingin 2~3 : 1 (choke dioperasikan), start mesin yang sudah panas 7~8 : 1, stasioner/langsam 8~10 : 1, kecepatan rendah 10~12 : 1, kecepatan menengah 15~17 : 1, kecepatan tinggi / beban berat 12~13 : 1.

Secara umum, peruntukan ratio yang baik sbb:

- 12~13 : 1 Adalah ratio yang menghasilkan tenaga yang paling besar / max
- 15 : 1 Adalah ratio yang memungkinkan pembakaran bensin secara sempurna
- 16~17 : 1 Adalah ratio untuk pemakaian bensin yang paling irit

Secara *stoikiometri* AFR 15,02 : 1 adalah yang paling sempurna. Di bawah ini adalah grafik perbandingan Air-Fuel Ratio,



Gambar 2.14 Grafik perbandingan AFR

(sumber : www.saft7.com)

Campuran yang terlalu kurus/miskin, bisa ditandai dengan kondisi sbb:

- a. Electrode pada busi berwarna putih
- b. Stasioner / lambat tidak stabil
- c. Mesin terasa cepat panas
- d. Mesin sulit distart
- e. Ngelitik / detonasi

Campuran yang terlalu gemuk/kaya bisa ditandai dengan kondisi sbb:

- a. Electrode busi berwarna hitam dan basah (Knalpot berasap hitam)
- b. Bahan bakar sangat boros
- c. Putaran mesin tidak stabil
- d. Banyak deposit karbon di dalam ruang bakar
- e. Mesin sulit distart

Campuran yang tepat akan menghasilkan pembakaran yang sempurna sehingga busi berwarna coklat keabu-abuan dan kering, deposit karbon tidak banyak terbentuk, putaran mesin stabil dan mesin mudah distart.

Sedangkan untuk reaksi pembakaran Gasohol (etanol + bensin) dengan udara secara *stoikiometri* dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut :



$$\begin{aligned} AFR &= \frac{\text{Air}}{\text{Fuel}} = \frac{\text{Air}}{\text{Gasoline} + \text{Ethanol}} \\ &= \frac{11.55 \times ((2 \times 15.994) + (3.76 \times 2 \times 14.0))}{0.9[(8 \times 12.0107) + (18 \times 1.0079)] + 0.1[(2 \times 12.0107) + (6 \times 1.0079) + 15.994]} \\ &= \frac{1585.4454}{102.80502 + 4.60628} = \frac{1585.4454}{107.4113} = 14.76 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas AFR untuk reaksi pembakaran gasohol dengan udara secara sempurna sebesar 14.76

2.4 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin pembakaran dalam, mesin pembakaran luar, mesin jet yang dikeluarkan melalui

sistem pembuangan mesin. Sisa hasil pembakaran berupa air (H_2O), gas CO atau disebut juga karbon monoksida yang beracun, CO_2 atau disebut juga karbon dioksida yang merupakan gas rumah kaca, NO_x senyawa nitrogen oksida, HC berupa senyawa Hidrat arang sebagai akibat ketidaksempurnaan proses pembakara serta partikel lepas (Sumber: wikipedia, 2012).

Di Indonesia sendiri berdasar surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 141 tahun 2003, standar emisi Euro 2 mulai diterapkan.

Berikut adalah tabel emisi standar Euro :

Tabel 2.1 Tabel emisi standar euro

Referensi	Tahun	CO	HC	NO _x	PM
Euro0	1988-1992	12.3	15.8	2.6	-
Euro1	1992-1995	4.9	9	1.23	0.4
Euro2	1995-1999	4.0	7.0	1.1	0.15
Euro3	1999-2005	2.1	5.0	0.66	0.1
Euro4	2005-2008	1.5	3.5	0.46	0.02
Euro5	2008-2012	1.5	2.0	0.46	0.02
(Carbon Monoksida)					
(Hidrokarbon)					
(nitrogen oksida)					
(Particle Matter)					

2.4.1 Carbon Monoksida (CO)

Karbon dan oksigen dapat bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida (CO_2) sebagai hasil pembakaran sempurna. Karbon monoksida merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna. Gas ini akan dihasilkan bila karbon yang terdapat dalam bahan bakar (kira-kira 85% dari berat dan sisanya hidrogen) terbakar tidak sempurna karena kekurangan oksigen. Hal ini terjadi bila campuran udara lebih gemuk daripada campuran stoikiometris, dan terjadi selama idling pada beban rendah atau pada output maksimum. Karbon monoksida tidak dapat

dihilangkan jika campuran udara bahan bakar gemuk. Bila campuran kurus karbon monoksida tidak terbentuk.

2.4.2 Nitrogen Oksida (NO_x)

Senyawa nitrogen oksida yang sering menjadi pokok pembahasan dalam masalah polusi udara adalah NO dan NO₂. Kedua senyawa ini terbuang langsung ke udara bebas dari hasil pembakaran bahan bakar. Nitrogen monoksida (NO) merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau sebaliknya nitrogen dioksida (NO₂) berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. NO merupakan gas yang berbahaya karena mengganggu saraf pusat. NO terjadi karena adanya reaksi antara N₂ dan O₂ pada temperatur tinggi diatas 1210 °C.

2.4.3 Karbon Dioksida (CO₂)

Konsentrasi CO₂ menunjukkan secara langsung status proses pembakaran di ruang bakar. Semakin tinggi maka semakin baik. Saat AFR berada di angka ideal, emisi CO₂ berkisar antara 12% sampai 15%. Apabila AFR terlalu kurus atau terlalu kaya, maka emisi CO₂ akan turun secara drastis. Apabila CO₂ berada dibawah 12%, maka kita harus melihat emisi lainnya yang menunjukkan apakah AFR terlalu kaya atau terlalu kurus.

Perlu diingat bahwa sumber dari CO₂ ini hanya ruang bakar dan CC (*Catalytic Converter*). Apabila CO₂ terlalu rendah tapi CO dan HC normal, menunjukkan adanya kebocoran *exhaust pipe*.

2.4.4 Oksigen (O₂)

Konsentrasi dari oksigen di gas buang kendaraan berbanding terbalik dengan konsentrasi CO₂. Untuk mendapatkan proses pembakaran yang sempurna, maka kadar oksigen yang masuk ke ruang bakar harus mencukupi untuk setiap molekul hidrokarbon.

Untuk mengurangi emisi HC, maka dibutuhkan sedikit tambahan udara atau oksigen untuk memastikan bahwa semua molekul bensin dapat “bertemu” dengan molekul oksigen untuk bereaksi dengan sempurna. Ini berarti AFR 15:1 (lambda = 1.00) sebenarnya merupakan kondisi yang sedikit kurus. Inilah yang

menyebabkan oksigen dalam gas buang akan berkisar antara 0.5% sampai 1%. Pada mesin yang dilengkapi dengan CC, kondisi ini akan baik karena membantu fungsi CC untuk mengubah CO dan HC menjadi CO₂.

Mesin tetap dapat bekerja dengan baik walaupun AFR terlalu kurus bahkan hingga AFR mencapai 16:1. Tapi dalam kondisi seperti ini akan timbul efek lain seperti mesin cenderung *knocking*, suhu mesin bertambah dan emisi senyawa NO_x juga akan meningkat drastis.

Normalnya konsentrasi oksigen di gas buang adalah sekitar 1.2% atau lebih kecil bahkan mungkin 0%. Tapi kita harus berhati-hati apabila konsentrasi oksigen mencapai 0%. Ini menunjukkan bahwa semua oksigen dapat terpakai semua dalam proses pembakaran dan ini dapat berarti bahwa AFR cenderung kaya. Dalam kondisi demikian, rendahnya konsentrasi oksigen akan berbarengan dengan tingginya emisi CO. Apabila konsentrasi oksigen tinggi dapat berarti AFR terlalu kurus tapi juga dapat menunjukkan beberapa hal lain. Apabila dibarengi dengan tingginya CO dan HC, maka pada mobil yang dilengkapi dengan CC berarti CC mengalami kerusakan. Untuk mobil yang tidak dilengkapi dengan CC, bila oksigen terlalu tinggi dan lainnya rendah berarti ada kebocoran di exhaust sytem.

2.5 BIOETHANOL

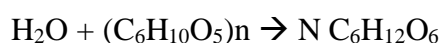
Alkohol/etanol merupakan bahan kimia yang diproduksi dari bahan baku tanaman yang mengandung pati seperti ubi kayu, ubi jalar, jagung, dan sagu biasanya disebut dengan bioethanol. Ubi kayu, ubi jalar, dan jagung merupakan tanaman pangan yang biasa ditanam rakyat hampir di seluruh wilayah Indonesia, sehingga jenis tanaman tersebut merupakan tanaman yang potensial untuk dipertimbangkan sebagai sumber bahan baku pembuatan bioethanol atau gasohol. Namun dari semua jenis tanaman tersebut, ubi kayu merupakan tanaman yang setiap hektarnya paling tinggi dapat memproduksi ethanol. Selain itu pertimbangan pemakaian ubi kayu sebagai bahan baku proses produksi bioethanol juga didasarkan pada pertimbangan ekonomi. Pertimbangan keekonomian pengadaan bahan baku tersebut bukan saja meliputi harga produksi tanaman sebagai bahan baku, tetapi juga meliputi biaya pengelolaan tanaman, biaya produksi pengadaan bahan baku, dan biaya bahan baku untuk memproduksi setiap liter ethanol/bio-ethanol.

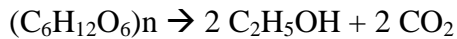
2.5.1 Penggunaan Bio-etanol

Secara umum ethanol/bio-ethanol dapat digunakan sebagai bahan baku industry turunan alkohol, campuran untuk miras, bahan dasar industri farmasi, campuran bahan bakar untuk kendaraan. Mengingat pemanfaatan ethanol/bio-ethanol beraneka ragam, sehingga grade ethanol yang dimanfaatkan harus berbeda sesuai dengan penggunaannya. Untuk ethanol/bio-ethanol yang mempunyai *grade* 90-96,5% vol dapat digunakan pada industri, sedangkan ethanol/bioethanol yang mempunyai *grade* 96-99,5% vol dapat digunakan sebagai campuran untuk miras dan bahan dasar industri farmasi. Berlainan dengan besarnya *grade* ethanol/bioethanol yang dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar untuk kendaraan yang harus betul-betul kering dan anhydrous supaya tidak korosif, sehingga ethanol/bio-ethanol harus mempunyai *grade* sebesar 99,5-100% vol. Perbedaan besarnya *grade* akan berpengaruh terhadap proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air. Mengacu dari penjelasan tersebut, disusunlah makalah yang berjudul “Teknologi Proses Produksi Bio-Ethanol”

2.5.2 Proses Pembuatan Bio-etanol

Produksi ethanol/bio-ethanol (alkohol) dengan bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat, dilakukan melalui proses konversi karbohidrat menjadi gula (glukosa) larutair. Glukosa dapat dibuat dari pati-patian, proses pembuatannya dapat dibedakan berdasarkan zat pembantu yang dipergunakan, yaitu hidrolisis asam dan hidrolisis enzim. Berdasarkan kedua jenis hidrolisis tersebut, saat ini hidrolisis enzim lebih banyak dikembangkan, sedangkan hidrolisis asam (misalnya dengan asam sulfat) kurang dapat berkembang, sehingga proses pembuatan glukosa dari pati-patian sekarang ini dipergunakan dengan hidrolisis enzim. Dalam proses konversi, karbohidrat menjadi gula (glukosa) larut air dilakukan dengan penambahan air dan enzim, kemudian dilakukan proses peragian atau fermentasi gula menjadi etanol dengan menambahkan *yeast* atau ragi. Reaksi yang terjadi pada proses produksi bioetanol secara sederhana disajikan pada reaksi berikut :





Selain bioetanol dapat diproduksi dari bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat, juga dapat diproduksi dari bahan tanaman yang mengandung selulosa, namun dengan adanya lignin mengakibatkan proses penggulaannya menjadi lebih sulit, sehingga pembuatan bioetanol dari selulosa tidak perlu direkomendasikan. Meskipun teknik produksi bioetanol merupakan teknik yang sudah lama diketahui, namun bioetanol untuk bahan bakar kendaraan memerlukan etanol dengan karakteristik tertentu yang memerlukan teknologi yang relatif baru di Indonesia antara lain mengenai neraca energi dan efisiensi produksi, sehingga penelitian lebih lanjut mengenai teknologi proses produksi etanol masih perlu dilakukan. Secara singkat teknologi proses produksi bioetanol tersebut dapat dibagi dalam tiga tahap, yaitu gelatinasi, sakarifikasi, dan fermentasi.

Etanol memiliki berat jenis sebesar 0,7937 g/mL (15oC) dan titik didih sebesar 78,32oC pada tekanan 760 mmHg. Etanol larut dalam air dan eter dan mempunyai panas pembakaran 328 Kkal (Paturau, 1981). Menurut Paturau (1981), fermentasi etanol membutuhkan waktu 30-72 jam. Prescott and Dunn (1981) menyatakan bahwa waktu fermentasi etanol yang dibutuhkan adalah 3 hingga 7 hari. Frazier and Westhoff (1978) menambahkan suhu optimum fermentasi 25-30oC dan kadar gula 10-18 %. Etil-Alkohol (CH₃CH₂OH) dikenal juga dengan nama alkohol adalah suatu cairan tidak berwarna dengan bau yang khas. Di dalam perdagangan kualitas alkohol di kenal dengan beberapa tingkatan.

2.5.3 Klasifikasi Etanol / Alkohol

a. Alkohol Teknis (96,5°GL)

Digunakan terutama untuk kepentingan industri sebagai bahan pelarut organik, bahan baku maupun bahan antara produksi berbagai senyawa organik lainnya. Alkohol teknis biasanya terdenaturasi memakai ½ -1 % piridin dan diberi warna memakai 0,0005% metal violet.

b. Alkohol Murni (96,0 – 96,5 °GL)

Digunakan terutama untuk kepentingan farmasi dan konsumsi misal untuk minuman keras.

c. Alkohol Absolut (99,7 – 99,8 °GL)

Digunakan di dalam pembuatan sejumlah besar obat-obatan dan juga sebagai bahan antara didalam pembuatan senyawa-senyawa lain skala laboratorium. Alkohol jenis ini disebut *Fuel Grade Ethanol* (F.G.E) atau *anhydrous ethanol* yaitu etanol yang bebas air atau hanya mengandung air minimal. Alkohol absolut terdenaturasi digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor dan motor bensin lainnya.

Berikut tabel perbandingan karakteristik etanol dengan bensin secara umum.

Tabel 2.2 Perbandingan sifat etanol dengan bensin

Property	Ethanol	Gasoline
Chemical formula	C ₂ H ₅ OH	C ₄ sd C ₁₀
Composition : % weight		
Carbon	52.2	85-88
Hydrogen	13.1	12-15
Oxygen	34.7	0
Octane Number		
Research Octane	108	90-100
Motor Octane	92	81-90
Density lb/gal	6.61 ^(b)	6.0 – 6.5 ^(b)
Boiling temp. °F	172 ^(c)	80-437 ^(c)
Freezing point °F	-173.2 ^(a)	-40 ^(d)
Flash point °F	55 ^(e)	-45 ^(b)
Autoignition Temp. °F	793 ^(b)	495 ^(b)
Heating Value		
Higher (Btu/gal)	84 100	124 800
Lower (Btu/gal)	76 000	115 000
Specific heat Btu/lb °F	0.57	0.48
Stoichiometric air/fuel. weight	9	14.7

2.5.4 Penggunaan Bioetanol Pada Mesin Pembakaran Dalam

Dewasa ini, hampir seluruh mesin pembangkit daya yang digunakan pada kendaraan bermotor menggunakan mesin pembakaran dalam. Mesin bensin (Otto) dan diesel adalah dua jenis mesin pembakaran dalam yang paling banyak

digunakan di dunia. Mesin diesel, yang memiliki efisiensi lebih tinggi, tumbuh pesat di Eropa, sedangkan komunitas USA yang cenderung khawatir pada tingkat polusi sulfur dan UHC pada diesel, lebih memilih mesin bensin. Meski saat ini, mutu solar dan mesin diesel yang digunakan di Eropa sudah semakin baik yang berimplikasi pada rendahnya emisi sulfur dan UHC. Ethanol yang secara teoritik memiliki angka oktan di atas standard maksimal bensin, cocok diterapkan sebagai substitusi sebagian ataupun keseluruhan pada mesin bensin.

Terdapat beberapa karakteristik internal ethanol yang menyebabkan penggunaan ethanol pada mesin Otto lebih baik daripada gasolin. Ethanol memiliki angka research octane 108.6 dan motor octane 89.7 (Yuksel dkk, 2004). Angka tersebut terutama research octane) melampaui nilai maksimal yang mungkin dicapai oleh gasolin (pun setelah ditambahkan aditif tertentu pada gasolin). Sebagai catatan, bensin yang dijual Pertamina memiliki angka research octane 88 (Website Pertamina) (catatan: tidak tersedia informasi motor octane untuk gasolin di Website Pertamina, namun umumnya motor octane lebih rendah daripada research octane).

Angka oktan pada bahan bakar mesin Otto menunjukkan kemampuannya menghindari terbakarnya campuran udara-bahan bakar sebelum waktunya (selfignition). Terbakarnya campuran udara-bahan bakar di dalam mesin Otto sebelum waktunya akan menimbulkan fenomena ketuk (knocking) yang berpotensi menurunkan daya mesin, bahkan bisa menimbulkan kerusakan serius pada komponen mesin. Selama ini, fenomena ketuk membatasi penggunaan rasio kompresi (perbandingan antara volume silinder terhadap volume sisa) yang tinggi pada mesin bensin. Tingginya angka oktan pada ethanol memungkinkan penggunaan rasio kompresi yang tinggi pada mesin Otto. Korelasi antara efisiensi dengan rasio kompresi berimplikasi pada fakta bahwa mesin Otto berbahan bakar ethanol (sebagian atau seluruhnya) memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar gasoline (Yuksel dkk, 2004), (Al-Baghdadi, 2003). Untuk rasio campuran ethanol:gasoline mencapai 60:40 tercatat peningkatan efisiensi hingga 10 Yuksel dkk, 2004).

Ethanol memiliki satu molekul OH dalam susunan molekulnya. Oksigen yang inheren di dalam molekul ethanol tersebut membantu penyempurnaan pembakaran antara campuran udara-bahan bakar di dalam silinder. Ditambah dengan rentang keterbakaran (flammability) yang lebar, yakni 4.3 -19 vol dibandingkan dengan gasoline yang memiliki rentang keterbakaran 1.4 -7.6 vol pembakaran campuran udara-bahan bakar ethanol menjadi lebih baik -ini dipercaya sebagai faktor penyebab relatif rendahnya emisi CO dibandingkan dengan pembakaran udara-gasolin. Ethanol juga memiliki panas penguapan (heat of vaporization) yang tinggi, yakni 842 kJ/kg (Al-Baghdadi, 2003). Tingginya panas penguapan ini menyebabkan energi yang dipergunakan untuk menguapkan ethanol lebih besar dibandingkan gasolin. Konsekuensi lanjut dari hal tersebut adalah temperatur puncak di dalam silinder akan lebih rendah pada pembakaran ethanol dibandingkan dengan gasolin.

Rendahnya emisi NO, yang dalam kondisi atmosfer akan membentuk NO₂ yang bersifat racun, dipercaya sebagai akibat relatif rendahnya temperatur puncak pembakaran ethanol di dalam silinder. Pada rasio kompresi 7, penurunan emisi NO_x tersebut bisa mencapai 33% dibandingkan terhadap emisi NO_x yang dihasilkan pembakaran gasolin pada rasio kompresi yang sama (Al-Baghdadi, 2003). Dari susunan molekulnya, ethanol memiliki rantai karbon yang lebih pendek dibandingkan gasolin (rumus molekul ethanol adalah C₂H₅OH, sedangkan gasolin memiliki rantai C₆-C₁₂ (Wikipedia) dengan perbandingan antara atom H dan C adalah 2:1 (Rostrup-Nielsen, 2005)). Pendeknya rantai atom karbon pada ethanol menyebabkan emisi UHC pada pembakaran ethanol relatif lebih rendah dibandingkan dengan gasolin, yakni berselisih hingga 130 ppm (Yuksel dkk, 2004).

Dari paparan di atas, terlihat bahwa penggunaan ethanol (sebagian atau seluruhnya) pada mesin Otto, positif menyebabkan kenaikan efisiensi mesin dan turunnya emisi CO, NO_x, dan UHC dibandingkan dengan penggunaan gasolin. Namun perlu dicatat bahwa emisi aldehyde lebih tinggi pada penggunaan ethanol, meski bahaya emisi aldehyde terhadap lingkungan adalah lebih rendah daripada berbagai emisi gasolin (Yuksel dkk, 2004). Selain itu, pada prinsipnya emisi CO₂

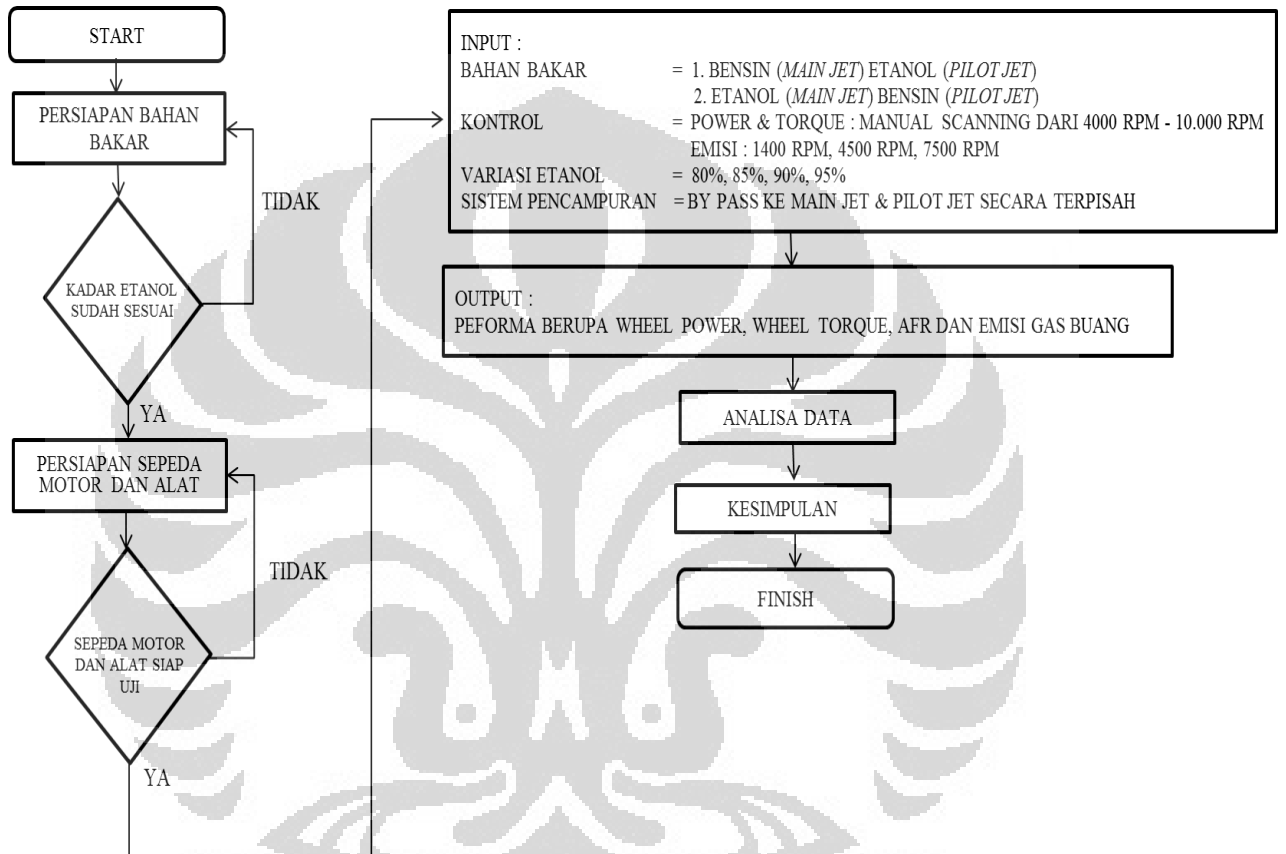
yang dihasilkan pada pembakaran ethanol juga akan dipergunakan oleh tumbuhan penghasil ethanol tersebut. Sehingga berbeda dengan bahan bakar fosil, pembakaran ethanol tidak menciptakan sejumlah CO₂ baru ke lingkungan. Terlebih untuk kasus di Indonesia, dimana bensin yang dijual Pertamina masih mengandung timbal (TEL) sebesar 0.3 g/L serta sulfur 0.2 wt (Website Pertamina), penggunaan ethanol jelas lebih baik dari bensin. Seperti diketahui, TEL adalah salah satu zat aditif yang digunakan untuk meningkatkan angka oktan bensin dan zat ini telah dilarang di berbagai negara di dunia karena sifat racunnya. Keberadaan sulfur juga menjadi perhatian di USA dan Eropa karena dampak yang ditimbulkannya bagi kesehatan.

Ethanol murni akan bereaksi dengan karet dan plastik (Wikipedia). Oleh karena itu, ethanol murni hanya bisa digunakan pada mesin yang telah dimodifikasi. Dianjurkan untuk menggunakan karet fluorokarbon sebagai pengganti komponen karet pada mesin Otto konvensional. Selain itu, molekul ethanol yang bersifat polar akan sulit bercampur secara sempurna dengan gasolin yang relatif non-polar, terutama dalam kondisi cair. Oleh karena itu modifikasi perlu dilakukan pada mesin yang menggunakan campuran bahan bakar ethanolgasolin agar kedua jenis bahan bakar tersebut bisa tercampur secara merata di dalam ruang bakar. Salah satu inovasi pada permasalahan ini adalah pembuatan karburator tambahan khusus untuk ethanol (Yuksel dkk, 2004). Pada saat langkah hisap, uap ethanol dan gasolin akan tercampur selama perjalanan dari karburator hingga ruang bakar memberikan tingkat pencampuran yang lebih baik

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 METODE EKSPERIMENTAL



Gambar 3.1 Flow Chart

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu melakukan pengujian dengan mencampur bio-etanol dan bensin pada beberapa kadar prosentase etanol dan variasi posisi pemasukan yang berbeda seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.1 variasi data pengujian etanol-bensin premium

No	Pilot jet	Main Jet
1	Bensin	Bensin
2	Bensin	Etanol 80%
3	Bensin	Etanol 85%
4	Bensin	Etanol 90%
5	Bensin	Etanol 95%
6	Etanol 80%	Bensin
7	Etanol 85%	Bensin
8	Etanol 90%	Bensin
9	Etanol 95%	Bensin

3.2 PERSIAPAN BAHAN BAKAR

Penelitian ini menggunakan variasi kadar etanol 80% , 85%, 90%, dan 95% yang akan dimasukkan ke dalam engine melalui *main jet* dan *pilot jet* secara terpisah dengan bensin premium. Berikut spesifikasi bahan bakar yang digunakan,

a. Bahan Bakar Premium

Bensin premium (Pertamina) digunakan pada motor Otto sebagai data pembandingan unjuk kinerja motor bakar.

Tabel 3.2 Spesifikasi Bahan Bakar Premium

Jenis	Bensin tanpa Timbal
Nilai Kalor Spesifik	11973 Kkal/Kg

Sumber : Wikipedia

b. Bahan Bioethanol

Tabel 3.3. Spesifikasi Bahan Bakar Bioetanol

Jenis	Bio-etanol Tetes Tebu
Kadar	95 %
Nilai Kalor Spesifik	6400 Kkal/Kg (@ 100%)

Sumber : Wikipedia

c. Bahan Pengotor Etanol

Aquades digunakan sebagai campuran bioethanol untuk merubah tingkat konsentrasi ethanol menjadi kadar rendah sebagai varian data yang akan dibandingkan.

Tabel 3.4. Spesifikasi Bahan Pengotor Etanol

Jenis	Aquades
Nilai Kalor Spesifik	1 Kkal/Kg

Sumber : Wikipedia

3.3 PERSIAPAN SEPEDA MOTOR DAN ALAT UJI

a. Sepeda motor Honda Revo 100cc

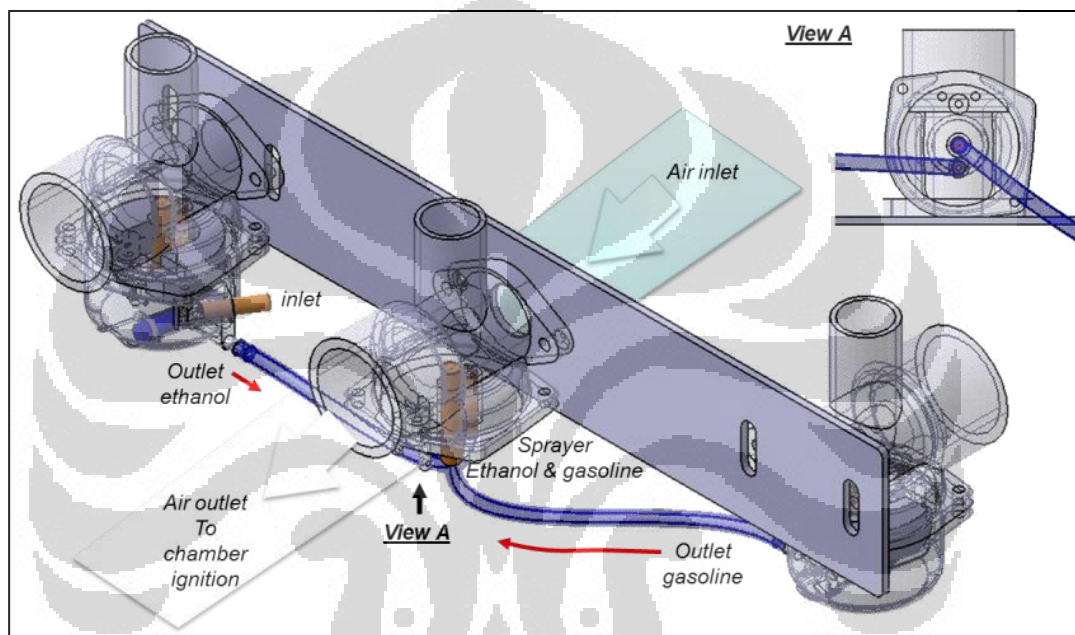
Motor dinamis yang digunakan merupakan motor Otto yang memiliki spesifikasi alat sebagai berikut :

Tabel 3.5 Spesifikasi Honda Revo 100cc

No	Item	Keterangan
1	Overall length	1907 mm
2	Overall width	702 mm
3	Overall height	1069 mm
4	Dry weight	93.5 kg
5	Curb weight	97.5 kg
6	Fuel tank capacity	3.7 liter
7	Max RR wheel power	4.5 kW
8	Max Speed	87 km/h
9	Fuel consumption at 50km/h	70.2 km/l
10	Bore x Stroke	50 x 49.5 mm
11	Displacement	97.1 cm ³
12	Compression ratio pressure	9.0 : 1 1.1 Mpa
13	Max HP (Engine) at 8000 rpm	5.36 kW
14	Max Torque (Engine) at 6000 rpm	7.25 N.m
15	Tire Pressure Front	200 kPa
16	Tire Pressure Rear	225 kPa

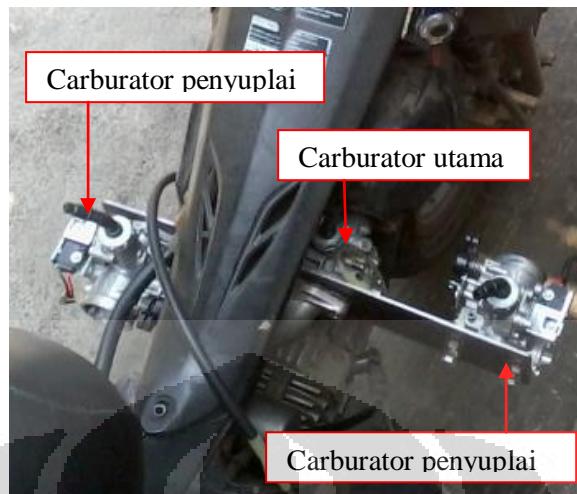
b. Fuel Mixer

Proses pencampuran bio-etanol dengan bensin premium dilakukan secara terpisah melalui jalur *main jet* dan *pilot jet* menggunakan alat yang spenulis sebut sebagai *fuel mixer*. *Fuel mixer* terdiri dari beberapa komponen penyusun, yaitu 3 buah carburator (satu karburator utama dan dua karburator penyuplai), *stay* karburator, selang-selang penyalur bahan bakar, serta botol infus sebagai reservoir bahan bakar.



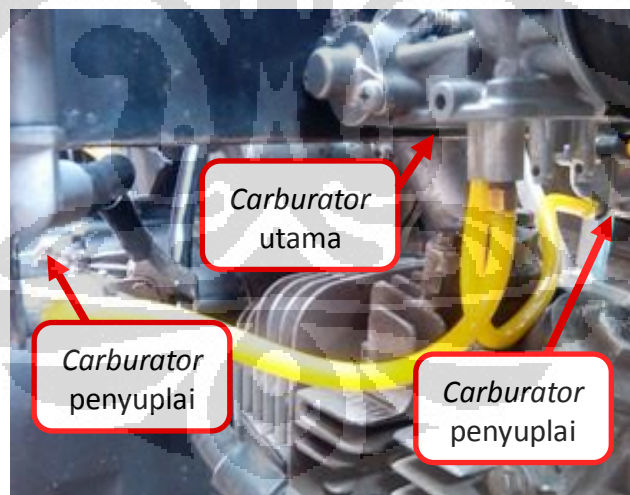
Gambar 3.2 Design 3D fuel mixer

Dua karburator penyuplai hanya dimanfaatkan sistem pelampung dan penampungnya (mangkok karburator) saja untuk mengontrol kebutuhan bahan bakar sesuai dengan kondisi putaran dan beban *engine*. Sedangkan satu carburator utama digunakan untuk proses pengkabutan dan pemasukan bahan bakar bio-etanol dan bensin premium secara terpisah melalui *main jet* dan *pilot jet*.



Gambar 3.3 Posisi karburator utama dan karburator penyuplai

Proses pengkabutan dan pemasukan tersebut dilakukan dengan cara *by pass* langsung jalur main jet dan pilot jet menggunakan selang yang masing-masing dihubungkan ke jalur *drainase* dua karburator penyuplai.



Gambar 3.4 Posisi selang *by pass* main jet dan pilot jet

Kritikal poin pada desain fuel mixer ini ada pada kesejajaran tinggi ketiga karburator ini. Apabila posisi karburator penyuplai bahan bakar terlalu rendah daripada karburator utama, maka bahan bakar tidak akan bisa terhisap masuk melalui main jet dan pilot jet karena *vaccum* yang terjadi sangat kecil mengingat

dimensi lubang main jet dan pilot jet yang sangat kecil. Sedangkan apabila posisi karburator penyuplai lebih tinggi daripada karburator utama, maka yang terjadi adalah *oversupply* bahan bakar (banjir) pada karburator utama. Apabila kedua hal diatas tidak diperhatikan, maka mesin tidak akan bisa hidup. Selain aspek ketinggian karburator, poin kritis lainnya adalah kerapatan selang *by pass* main jet dan pilot jet yang harus benar-benar tertutup rapat tanpa ada kebocoran *vaccum*.

Dua botol infus digunakan sebagai reservoir untuk menyuplai kebutuhan bahan bakar pada masing-masing karburator. Satu botol infus akan diisi bio-etanol dan botol lainnya diisi bensin premium.



Gambar 3.5 Posisi botol infus sebagai reservoir bahan bakar

c. Gas Analyzer



Gambar 3.6 Gas Analyzer Tecnotest

Analisa gas buang digunakan untuk mengetahui kualitas serta konsentrasi gas buang dengan spesifikasi alat sebagai berikut:

Tabel 3.6. Spesifikasi Gas Analyzer

Merek	Tecnotest	
Model	488	
Jenis	Multi Gas Tester Dengan Infra Merah	
Negara Pembuat	Italia	
Tahun Produksi	1997	
Jangkauan Pengukuran		
CO	0 - 9.99	% Vol res 0.01
CO ₂	0 - 19,99	% Vol res 0.1
HC	0 - 9999	ppm Vol res 1
O ₂	0 - 4	% Vol res 0.01
	4 - 25,0	% Vol res 0.1
NO _x	0 - 2000	ppm Vol res 5
Lambda	0,500 - 2,000	res 0.001
Temp. operasi	5-40 °C	
Hisapan gas yang dites	8 L/menit	
Waktu Respons	< 10 detik (panjang probe 3 m)	
Dimensi	400 x 180 x 420 mm	
Berat	13.5 kg	

Waktu pemanasan	Maksimal 15 menit
Sumber Tegangan	110/220/240 V 50/60 Hz
Tes Kebocoran dan Kalibrasi	Otomatis
Kontrol Aliran Internal & Kalibrasi	Otomatis

d. Dynamometer



Gambar 3.7 Dynamometer Dyno Dynamic

Test Pengujian dilakukan di workshop Khatulistiwa Suryanusa dengan menggunakan Chassis dynamometer merek DynoDynamics. Metode uji dilakukan tiga kali untuk setiap varian data yang di uji kemudian nilai ketiga yang diambil sebagai nilai dari hasil uji performa motor .

3.4 PROSES PENGAMBILAN DATA

3.4.1 Pengambilan Data Wheel Power dan Wheel Torque

Pada penelitian ini, akan dilihat performa dari motor dinamik yaitu motor Honda Revo 100cc. Penelitian ini akan menghasilkan daya pada roda kendaraan (*wheel power*) dan torsi roda kendaraan (*wheel torque*). Penelitian dilakukan pada putaran mesin 4000 rpm hingga 10.000 rpm dengan cara *scanning* manual.

Sebelum penelitian dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pengkalibrasian Chassis dinamometer terhadap kendaraan yang akan diteliti dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Menginstalasi kendaraan pada unit chassis dinamometer.
- b. Roda belakang kendaraan yang berfungsi sebagai penggerak dihubungkan pada roller dinamometer.
- c. Kendaraan dihidupkan.
- d. Penyesuaian putaran roda kendaraan dengan putaran roller drum untuk mendapatkan kesesuaian putaran rpm engine dengan alat dinamometer.
- e. Setelah rpm engine kendaraan sudah sesuai dengan rpm pada alat dinamometer, proses dilanjutkan dengan mencari gear rasio optimum yang digunakan untuk penelitian. Pada penelitian ini gear rasio yang digunakan ada pada posisi gigi satu.



Gambar 3.8 Pengambilan data Rear Wheel Power & Wheel Torque menggunakan Dyno Dinamic

Setelah semua proses persiapan selesai termasuk proses kalibrasi, proses yang terakhir adalah pengambilan data. Pengambilan data dilakukan dengan langkah-langkah berikut ini :

- a. Menghidupkan kendaraan yang akan diteliti.
- b. Memanaskan kendaraan hingga temperatur kerja pada putaran rendah (idle).
- c. Memilih gear rasio yang akan digunakan untuk penelitian. Gear rasio yang digunakan adalah gear rasio pada posisi gigi satu.
- d. Mempersiapkan bahan bakar yang akan digunakan, bahan bakar premium dan etanol melalui main jet dan *pilot jet* sesuai dengan table 3.6 diatas
- e. Mengatur putaran engine dari 4000 rpm hingga 10.000 rpm dengan menggunakan tuas kecepatan dan memastikan pembacaannya melalui *tachometre*.
- f. Mencatat daya yang dihasilkan melalui pembacaan grafik pada layar monitor alat dinamometer.
- g. Bersamaan dengan mencatat daya, mencatat torsi yang dihasilkan melalui pembacaan grafik pada layar monitor alat dinamometer
- h. Mengulang pengujian untuk variasi bahan bakar campuran yang digunakan.

3.4.2 Pengambilan Data Emisi

Pengambilan data emisi dilakukan di Lab. Teknologi Mekanik Dept. Teknik Mesin Universitas Indonesia menggunakan alat gas analyzer technotest. Berikut prosedur pemakaian alat uji emisi tersebut,

- a. Nyalakan saklar power
- b. Warming up \pm 15 menit

- c. Auto zero (kalibrasi otomatis) akan terulang dengan selang waktu tertentu secara otomatis
- d. Stand by kondisi alat siap pakai
- e. Masukkan probe sensor minimal 20 cm kedalam lubang muffler
- f. Tekan tombol on (tombol deretan atas paling kiri)
- g. Ambil data dengan variasi putaran mesin 1600rpm, 4500rpm, dan 7500rpm secara konstan
- h. Setelah selesai dan alat tidak akan dipakai dalam waktu lama tekan tombol off pump (tombol deretan atas kedua dari kiri)
- i. Alat gas analyzer dalam kondisi stand by



Gambar 3.9 Pengambilan data emisi menggunakan gas analyzer technotest

BAB IV

ANALISA DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengujian Peformasi Motor Otto

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan bio-etanol terhadap peforma mesin. Variasi kadar bio-etanol yang digunakan adalah 80%, 85%, 90%, dan 95%. Digabungkan dengan variasi posisi masuk melewati *main jet* dan *pilot jet* secara terpisah dengan bensin premium.

4.1.1 Daya Roda (*Wheel Power*)

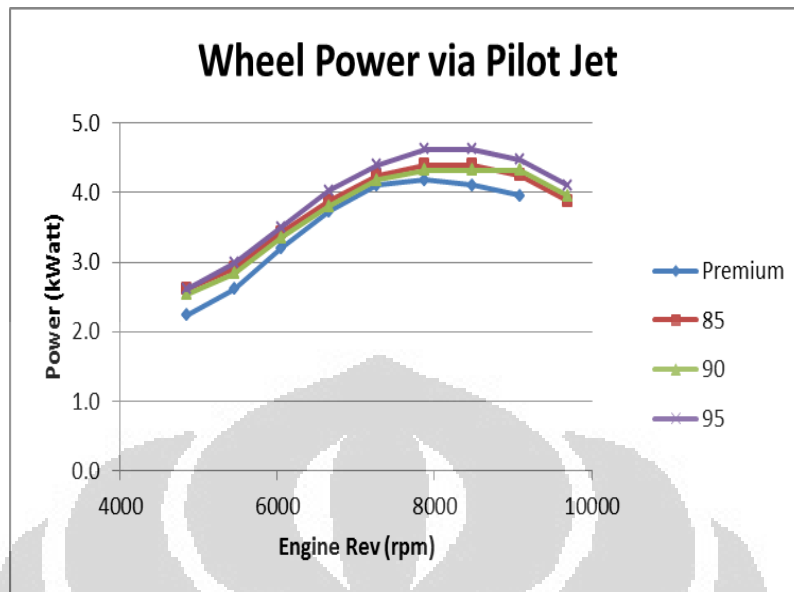
Proses pengambilan data chassis dyno dilakukan di Workshop Khatulistiwa Suryanusa dengan menggunakan alat dinamometer DynoDynamic. Sebagai data awal, performa yang diambil datanya adalah kondisi *main jet* dan *pilot jet* sama-sama menggunakan bensin premium. Hal ini digunakan untuk mengetahui performa awal kendaraan tersebut sebelum dicampurkan dengan bahan bakar tambahan bio-etanol dengan campuran bahan bakar bio-etanol sebesar 80% sampai dengan 95% . Data yang diperoleh dari hasil pembacaan pada alat dinamometer DynoDynamic antara lain

- Wheel power (kWatt)
- Wheel Torque (N.m)
- Air Fuel Ratio (AFR)

Hasil dari pengujian wheel power dapat dilihat pada table dibawah ini :

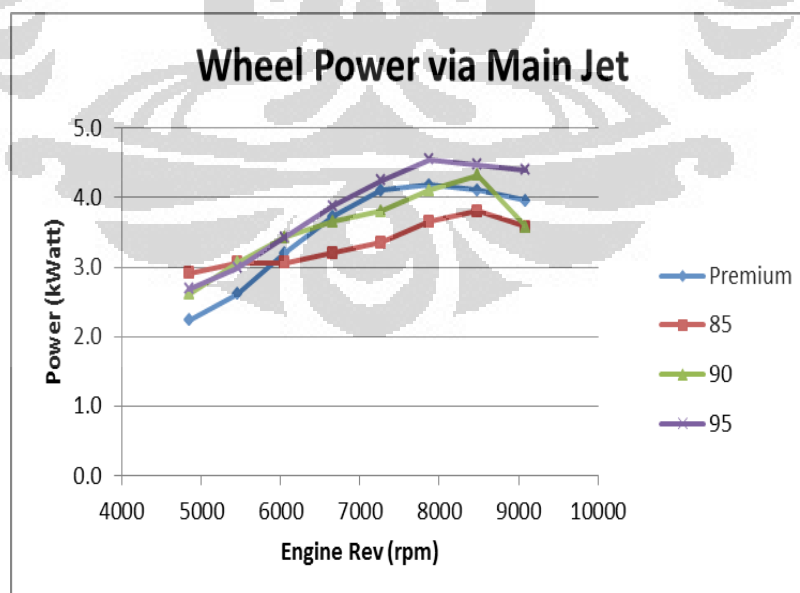
Tabel 4.1 Tabel perbandingan wheel power dari semua varian data

DATA RODA / WHEEL POWER (kWatt)											
no	Posisi		Engine Rev (rpm)								
	Main Jet	Pilot Jet	4846	5451	6057	6663	7269	7874	8480	9086	9691
1	Premium	Premium	2.2	2.6	3.2	3.7	4.1	4.2	4.1	4.0	
2	85	Premium	2.9	3.1	3.1	3.2	3.4	3.7	3.8	3.6	
3	90	Premium	2.6	3.1	3.4	3.7	3.8	4.1	4.3	3.6	
4	95	Premium	2.7	3.0	3.4	3.9	4.3	4.5	4.5	4.4	
5	Premium	85	2.6	2.9	3.4	3.9	4.3	4.4	4.4	4.3	3.9
6	Premium	90	2.5	2.8	3.4	3.8	4.2	4.3	4.3	4.3	4.0
7	Premium	95	2.6	3.0	3.5	4.0	4.4	4.6	4.6	4.5	4.1



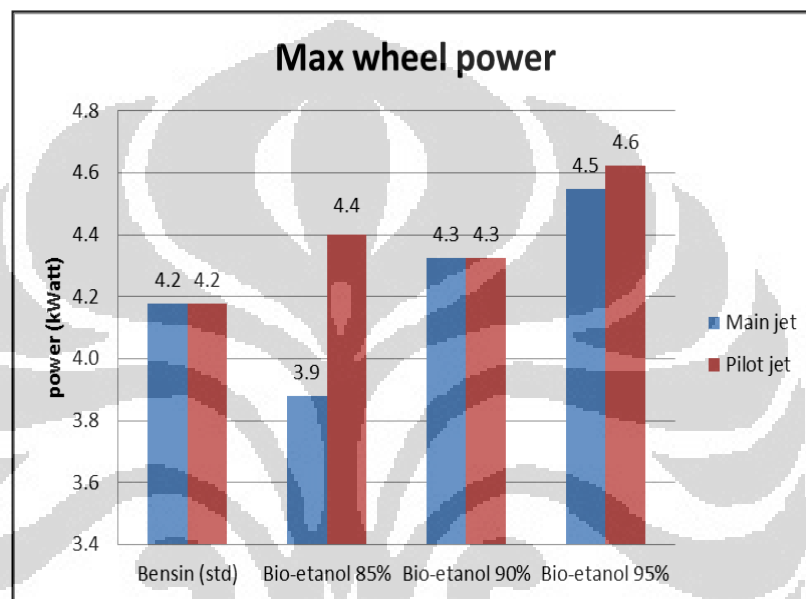
Gambar 4.1 Grafik wheel power penambahan etanol melalui pilot jet

Secara umum grafik wheel power yang menggunakan etanol melalui pilot jet mempunyai nilai maksimal yang lebih tinggi daripada wheel power menggunakan bensin premium biasa. Nilai maksimal wheel power terbesar didapat pada penambahan etanol dengan kadar sebesar 95%.



Gambar 4.2 Grafik wheel power penambahan etanol melalui main jet

Pada grafik diatas, etanol dengan kadar 85% yang dialirkan melalui main jet mempunyai nilai maksimal wheel power yang lebih kecil daripada bensin premium. Hal ini dikarenakan kadar air pada etanol 80% cukup besar sehingga cukup *significant* mempengaruhi reaksi pembakaran yang terjadi. Tetapi untuk kadar 90% dan 95% mempunyai nilai maksimal wheel power diatas bensin premium.



Gambar 4.3 Grafik perbandingan max wheel power

Berdasarkan pengujian wheel power menggunakan chassis dynamometer. Maksimum wheel power tertinggi didapat pada penambahan etanol dengan kadar 95% yang dialirkan melalui pilot jet yaitu sebesar 4,6 kWatt. Nilai ini lebih besar sekitar 9,5% daripada maksimal wheel power yang dihasilkan apabila bahan bakar hanya menggunakan premium saja. Hal ini dikarenakan *specific fuel consumption* etanol yang lebih besar daripada bensin premium. Untuk perhitungan *specific fuel consumption* akan dihitung pada bahasan selanjutnya.

4.1.2 Torsi Roda (*Wheel Torque*)

Besarnya wheel torque yang dihasilkan dari masing-masing pengujian baik menggunakan premium saja maupun menggunakan etanol melalui pilot jet dan main jet dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$P_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} T$$

dimana: P_e = Daya keluaran (Watt)
 n = Putaran mesin (rpm)
 T = Torsi (N.m)

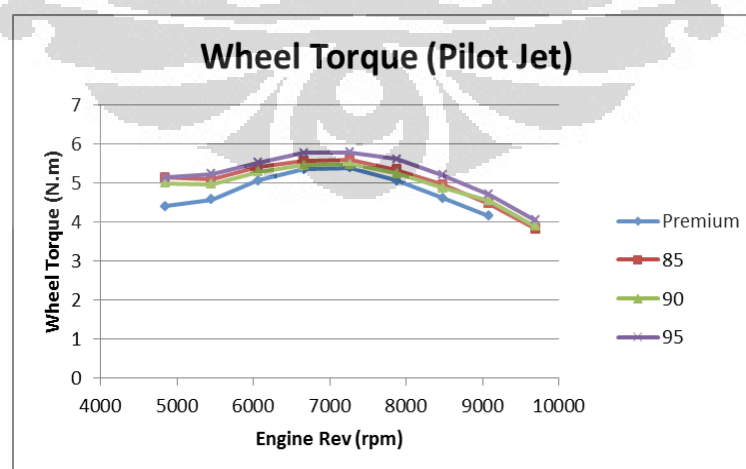
Sebagai contoh, berdasarkan tabel 4.1 diketahui besar daya roda bensin premium pada putaran mesin 4.846 rpm adalah sebesar 2,2 kWatt. Maka besar torsi dapat dihitung sebagai berikut :

$$T = (60 \times 1000 \times 2,2) / 2 \times 3,14 \times 4.846 \\ = 4,4 \text{ N.m}$$

Besar torsi yang didapat adalah sebesar 4,4 N.m. dengan metode yang sama dilakukan perhitungan torsi untuk semua varian data dan didapat hasil sebagai berikut :

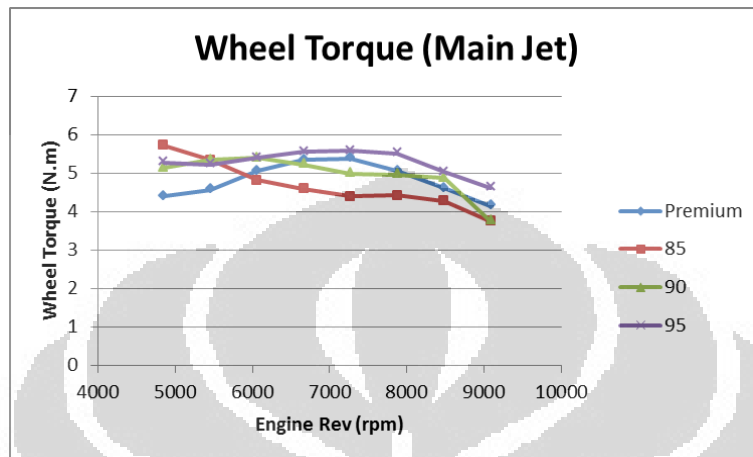
Tabel 4.2 Tabel perbandingan wheel torque dari semua varian data

TORSI RODA / WHEEL TORQUE (N.m)											
no	Posisi		Rpm								
	Main Jet	Pilot Jet	4846	5451	6057	6663	7269	7874	8480	9086	9691
1	Premium	Premium	4.4	4.6	5.1	5.3	5.4	5.1	4.6	4.2	
2	85	Premium	5.7	5.4	4.8	4.6	4.4	4.4	4.3	3.8	
3	90	Premium	5.1	5.4	5.4	5.2	5.0	5.0	4.9	3.8	
4	95	Premium	5.3	5.2	5.4	5.6	5.6	5.5	5.0	4.6	
5	Premium	85	5.1	5.1	5.4	5.6	5.6	5.3	5.0	4.5	3.8
6	Premium	90	5.0	5.0	5.3	5.5	5.5	5.2	4.9	4.5	3.9
7	Premium	95	5.1	5.2	5.5	5.8	5.8	5.6	5.2	4.7	4.0



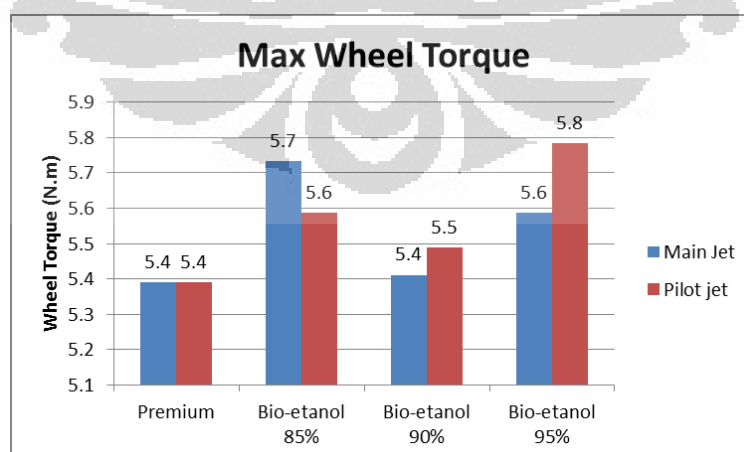
Grafik 4.4 Grafik wheel torque penambahan etanol melalui pilot jet

Secara umum grafik wheel torque yang menggunakan etanol melalui pilot jet mempunyai nilai maksimal yang lebih tinggi daripada wheel power menggunakan bensin premium biasa. Nilai maksimal wheel power terbesar didapat pada penambahan etanol dengan kadar sebesar 95%.



Grafik 4.5 Grafik wheel torque penambahan etanol melalui main jet

Nilai maksimum wheel torque tertinggi ada pada penambahan etanol dengan kadar 85% tetapi terjadi pada putaran mesin 4.846 rpm. hal ini mengindikasikan pada putaran tinggi ketika mesin membutuhkan asupan bahan bakar yang banyak dari main jet, etanol dengan kadar 85% tidak terbakar dengan sempurna sehingga torsi terus menurun. Hal ini disebabkan karena kadar air yang cukup banyak pada etanol 85% sehingga kecepatan rambat api menurun.

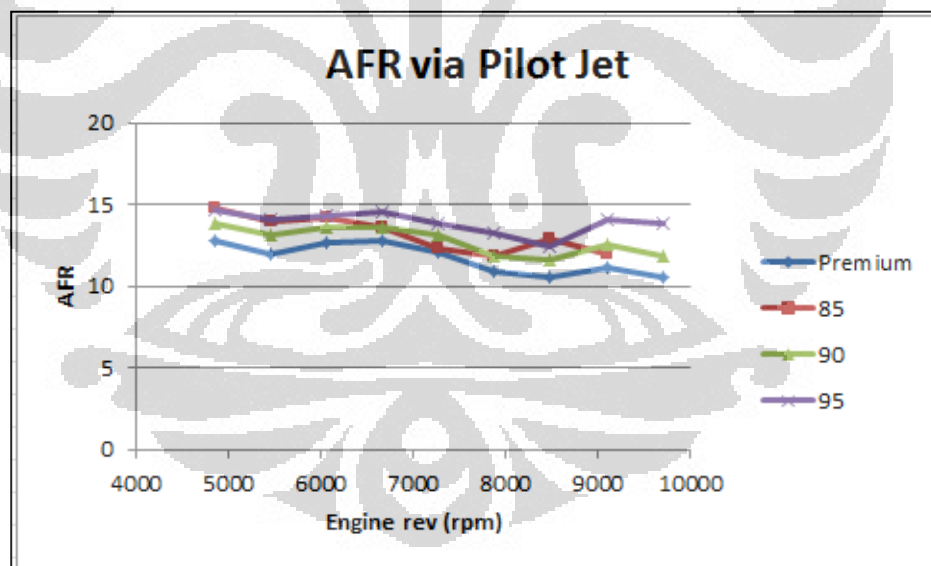


Grafik 4.6 Grafik perbandingan max wheel torque

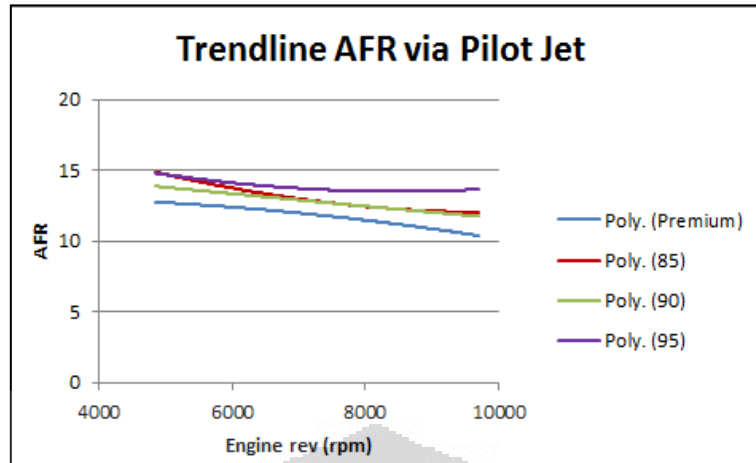
Berdasarkan perhitungan wheel torque dengan menggunakan data hasil pengujian wheel power. Maksimum wheel torque tertinggi didapat pada penambahan etanol dengan kadar 95% yang dialirkan melalui pilot jet yaitu sebesar 5,8 N.m. Nilai ini lebih besar sekitar 7,4% daripada maksimal wheel torque yang dihasilkan apabila bahan bakar hanya menggunakan premium saja. Hal ini disebabkan karena hal yang sama dengan wheel power, yaitu nilai *specific fuel consumption etanol* yang tinggi dibandingkan dengan bensin premium.

4.1.3 Air Fuel Ratio (AFR)

Data rasio perbandingan udara dengan bahan bakar pada etanol yang dialirkan melalui main jet tidak dapat diambil karena keterbatasan ketelitian alat ukur Dynodynamic. Sedangkan data hasil pembacaan AFR etanol yang dialirkan melalui pilot jet adalah sebagai berikut :



Grafik 4.7 Grafik AFR etanol melalui pilot jet



Grafik 4.8 Grafik Trendline AFR etanol melalui pilot jet

Berdasarkan grafik trendline AFR diatas, AFR akan cenderung menjadi gemuk (*rich*) seiring dengan semakin tingginya putaran mesin. Hal ini dikarenakan semakin tinggi putaran mesin, maka mesin membutuhkan suplai bahan bakar yang semakin besar pula. AFR paling stabil terjadi pada etanol dengan kadar 95% diangka kisaran 15. Angka tersebut mendekati angka stoikiometri pembakaran sempurna gasohol dengan udara. Hal ini pula yang menyebabkan wheel power dan wheel torque etanol dengan kadar 95% yang dialirkan melalui pilot jet mempunyai nilai maksimum yang paling tinggi bila dibandingkan dengan varian data lainnya.

4.1.4 Specific Fuel Consumption (SFC)

Berdasarkan data wheel power yang didapat serta laju aliran bahan bakar yang diukur maka SFC dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Sfc = \frac{m_f \times 10^3}{P_e}$$

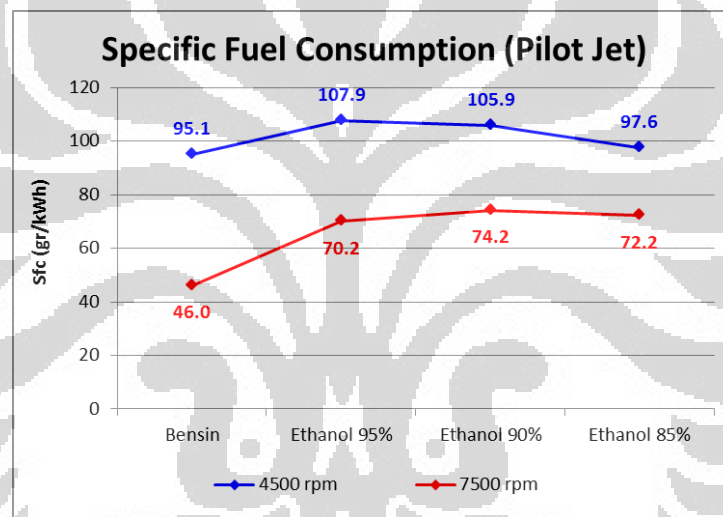
dimana: Sfc = konsumsi bahan bakar spesifik (g/kW.h).
 m_f = laju aliran bahan bakar (kg/jam).

Dengan persamaan diatas maka didapat data sebagai berikut :

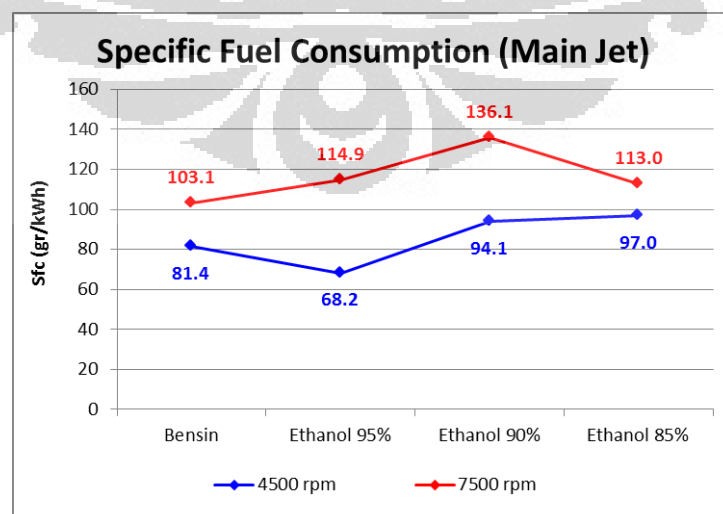
Tabel 4.3 Tabel specific fuel consumption

Konsumsi bahan bakar (sfc) = $(mf \cdot 10^3 / Pe)$

Bahan Bakar	Saluran	Sfc (gr/kWh)	
		4500 rpm	7500 rpm
Bensin	Main jet	103.1	81.4
	Pilot jet	95.1	46.0
Ethanol 95%	Main jet	68.2	114.9
	Pilot jet	107.9	70.2
Ethanol 90%	Main jet	94.1	136.1
	Pilot jet	105.9	74.2
Ethanol 85%	Main jet	97.0	113.0
	Pilot jet	97.6	72.2



Grafik 4.9 Grafik SFC Etanol Melalui Pilot jet



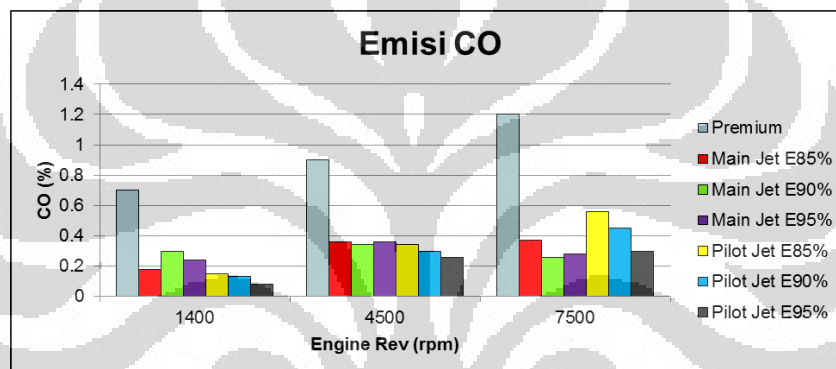
Grafik 4.10 Grafik SFC Etanol Melalui Main jet

Secara umum SFC etanol lebih tinggi dibandingkan dengan bensin premium. Hal ini dikarenakan nilai kalor yang terkandung di dalam etanol lebih kecil bila dibandingkan dengan bensin premium. Sehingga etanol membutuhkan laju aliran massa bahan bakar yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan bensin untuk mencapai satu nilai daya yang sama.

4.2 Pengujian Emisi Gas Buang Motor Otto

4.2.1 Kadar Gas Carbon Monoksida (CO) dalam gas buang

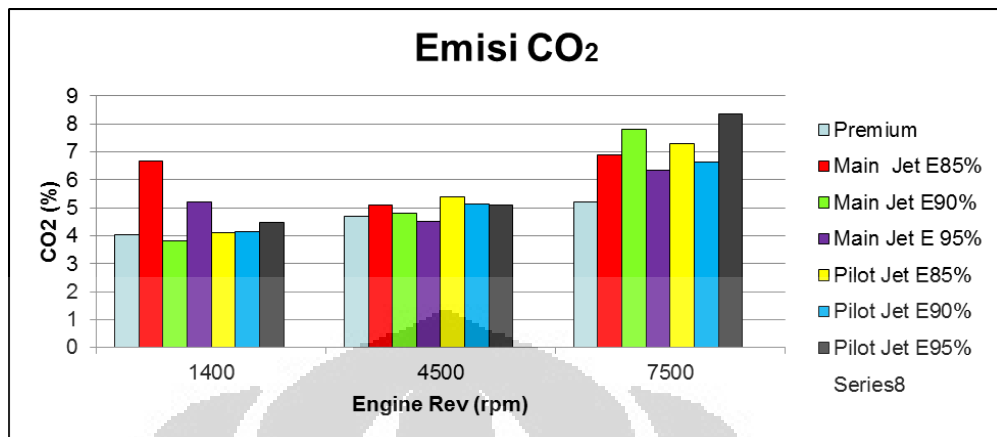
Berdasarkan pengujian menggunakan gas analyzer technotest yang dilakukan, didapatkan data sebagai berikut :



Grafik 4.11 Grafik emisi gas CO

Secara umum penambahan bahan bakar menggunakan etanol akan menurunkan emisi gas CO rata-rata sebesar 77% bila dibandingkan dengan emisi gas CO yang menggunakan bahan bakar bensin premium saja. Hal ini dikarenakan rentang bakar (*flamability*) Etanol lebih lebar daripada bensin, selain itu Etanol mempunyai molekul $-OH$ dalam gugusan molekulnya, hal ini membantu terjadinya reaksi pembakaran yang lebih sempurna. Secara rata-rata pada tiap putaran emisi gas CO terkecil didapat pada etanol dengan kadar 95% yang dialirkan melalui pilot jet.

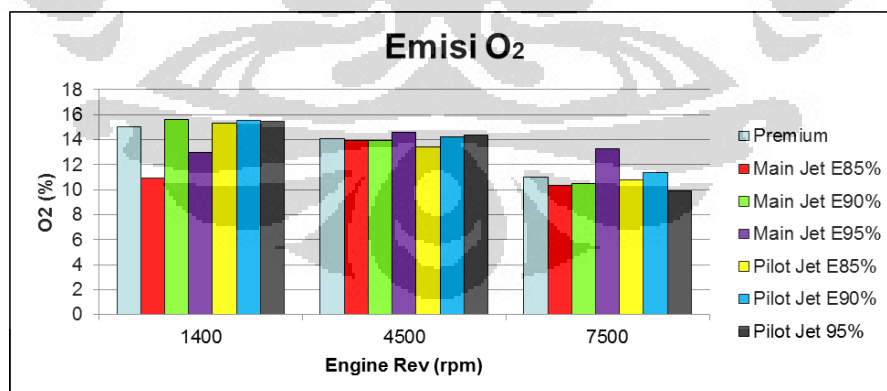
4.2.2 Kadar gas Carbon Dioksida CO₂ dalam Gas Buang



Grafik 4.12 Grafik emisi gas CO₂

Secara umum penambahan Etanol akan sedikit menaikkan kadar CO₂ yang terbentuk. Hal ini disebabkan karena pembakaran yang lebih sempurna. Molekul – OH pada etanol akan bergabung dengan gas CO yang dihasilkan sehingga membentuk gas CO₂. Penambahan etanol mampu menaikkan kadar CO₂ yang terbentuk sebesar 34% bila dibandingkan dengan gas CO₂ yang terbentuk apabila menggunakan bensin premium saja.

4.2.3 Kadar Oksigen O₂ dalam Gas Buang

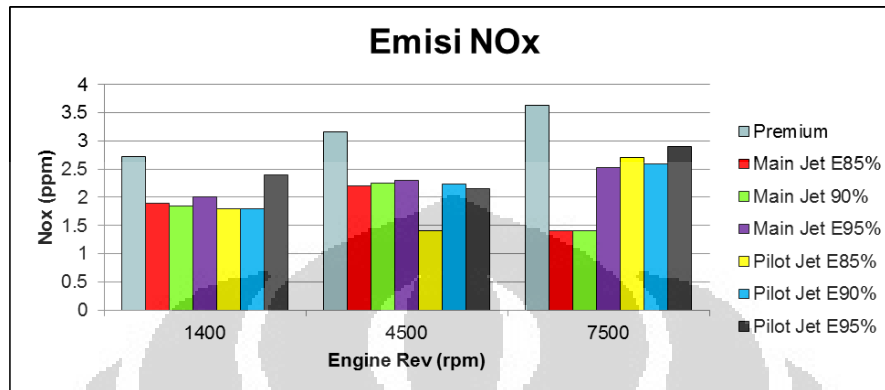


Grafik 4.13 Grafik emisi gas O₂

Secara umum penambahan Etanol tidak berpengaruh secara *significant* terhadap kadar O₂ yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan meskipun etanol mempunyai atom O tetapi atom O tersebut telah bergabung dengan gas CO untuk

membentuk CO₂ sehingga kadar O₂ yang dihasilkan tidak terlalu berbeda jauh dengan emisi O₂ bensin premium.

4.2.4 Kadar NO_x dalam Gas Buang



Grafik 4.14 Grafik emisi gas NO_x

Secara umum penambahan etanol akan menurunkan gas NO_x sebesar 42% bila dibandingkan dengan gas NO_x yang dihasilkan apabila menggunakan bensin premium saja. Hal ini dikarenakan Etanol mempunyai panas penguapan yg lebih tinggi daripada premium, hal ini mengakibatkan energi yg digunakan utk menguapkan etanol lebih tinggi daripada premium. Konsekuensi lanjutnya adalah temperatur ruang bakar akan lebih rendah sehingga gas NO_x yang terbentuk akan turun.

PENUTUP

BAB V

5.1 KESIMPULAN

- a. Etanol mempunyai Specific Fuel Consumption (SFC) yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan bensin premium
- b. Secara umum penambahan Etanol akan menambah besar *max wheel power* yang dihasilkan. Kenaikan *max Wheel power* terjadi pada konsentrasi Etanol 95% sebesar 9,5% bila dibandingkan dengan bensin
- c. Penambahan Etanol membuat *max Wheel Torque* akan naik dengan kenaikan terbesar pada konsentrasi 95% sebesar 7,4% bila dibandingkan dengan bensin
- d. Etanol 95% mempunyai trendline nilai AFR paling stabil
- e. Penambahan Etanol secara umum akan mengurangi emisi gas buang yang berbahaya bagi kesehatan.
- f. Etanol yang dicampur melalui pilot jet mempunyai pengaruh terhadap performa mesin yang sedikit lebih baik bila dibandingkan dengan pencampuran lewat main jet.

5.2 SARAN

- a. Studi pengaruh bio-etanol terhadap material komponen-komponen mesin Otto karena bio-etanol bereaksi dengan polymer dan bersifat sangat higroskopis yang dikhawatirkan akan memicu terjadinya korosi.
- b. Studi proses pembuatan bio-etanol agar harga jual bio-etanol bisa lebih murah dibandingkan dengan harga bahan bakar minyak bersubsidi saat ini.



DAFTAR PUSTAKA

Akbar, Syaehul. *Pengaruh Pengontrolan Temperatur Evaporator Terhadap Laju Destilasi Etanol Low Grade Pada Compact Destilator*. 2011. Depok : Departemen Teknik Mesin FT UI

An An Herliani & Teni Rodiani, 2011, *Mata Diklat 4 Aplikasi Entalpi dan Perubahannya*, Kementrian Pendidikan Nasional, Jakarta

Anonim. *Emission Control Two and Three Wheel Vehicle*, 1999 Washington DC: Manufaktur & Emission Control Assosiation.

Aribowo, Atlanta. *Analisis Kinerja Motor Dinamis Dengan Pemanfaatan Etanol Kadar Tinggi Dari Hasil Kompak Destilator Sebagai Bahan Bakar Tambahan*. 2011. Depok : Departemen Teknik Mesin FT UI

Cengel, Yunus A. and Boles, Michael A. 2002. *Thermodynamics*. forth edition. New

Devanta Bayu Prasetyo & Fajar Patriayudha. *Pemakaian Gasohol Sebagai Bahan Bakar Pada Kendaraan Bermotor*. 2009. Semarang: Departemen Teknik Kimia FT UNDIP

Indrianto, Fariza. *Pengaruh Injeksi Distillate Sebagai Bahan Bakar Tambahan Pada Genset Berbahan Bakar Bensin*. 2011. Depok : Departemen Teknik Mesin FT UI

Rahman, Raksa Aulia. *Pengaruh Variasi Beban Pada Evaporator 90° Terhadap Laju Destilasi Etanol Low Grade Pada Compact Destilator*. 2011. Depok : Departemen Teknik Mesin FT UI

Sihaloho, Ridho Daniel. *Uji Eksperimental Unjuk Kerja Motor Bakar Berbahan Bakar Premium Dengan Campuran Premium-Bioetanol (Gasohol BE-5 dan BE-10)*. 2009. Medan : Departemen Teknik Mesin FT USU

Sitorus, Tulus Burhanudin. *Tinjauan Bahan Bakar Gas Sebagai Bahan Bakar Alternative*. 2002. Medan : Departemen Teknik Mesin FT USU

Sugiarto, Bambang. 2003. *Motor Pembakaran Dalam*. ISBN 979-97726-7-2

Sugiarto, Rino. *Unjuk Kerja Low grade Etanol Dari Pemanfaatan Panas Gas Buang Motor Bakar Dinamis Sebagai Sumber Energi Kompak Distilator*. 2011. Depok : Departemen Teknik Mesin FT UI

Wibowo, Gilang Arief. *Rancang Bangun Compact Destilator Low Grade Etanol Memanfaatkan Panas Gas Buang Motor Bakar Dinamik*. 2011. Depok : Departemen Teknik Mesin FT UI

