

**PENGARUH VARIASI PERSENTASE CAMPURAN BIOETANOL
KETELA POHON (*MANIHOT UTILISSIMA*) DAN BENSIN TERHADAP
UNJUK KERJA MOTOR BENSIN 4 LANGKAH**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

FENDI JATI KUNCORO

NIM. 0410623032-62

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2010

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH VARIASI PERSENTASE CAMPURAN BIOETANOL
KETELA POHON (*MANIHOT UTILISSIMA*) DAN BENSIN TERHADAP
UNJUK KERJA MOTOR BENSIN 4 LANGKAH**

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

FENDI JATI KUNCORO

NIM. 0410623032-62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

LEMBAR PENGESAHAN

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing I

Ir. Saifuddin Baedowie
NIP : 19460703 197009 1 001

Ir. Endi Sutikno, MT
NIP : 19590411 198710 1 001

**PENGARUH VARIASI PERSENTASE CAMPURAN BIOETANOL
KETELA POHON (*MANIHOT UTILISSIMA*) DAN BENSIN TERHADAP
UNJUK KERJA MOTOR BENSIN 4 LANGKAH**

Disusun Oleh :

Fendi Jati Kuncoro
NIM : 0410623032-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 2 Februari 2010

DOSEN PENGUJI

SKRIPSI 1

SKRIPSI 2

Ir. Winarno Yahdi Atmodjo, MT
NIP. 19460804 198303 1 001

Ir. Bardji Hadi Pranoto
NIP. 19450714 198103 1 003

Komprehensif

Ir. Handono Sasmito, M. Eng. Sc.
NIP. 19480216 198003 1 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST, MT
NIP. 19720903 199702 1 001

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan nikmat, rahmat dan karunia yang telah diberikan, juga sholawat dan salam penulis tujukan kepada Nabi Besar Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pengaruh Variasi Persentase Campuran Bioetanol Ketela Pohon (*Manihot Utilissima*) dan Bensin Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah”**.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang secara langsung atau tidak langsung membantu menyelesaikan skripsi ini dengan baik :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, S.T, M.T, selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Anindito Purnowidodo, ST.M.Eng, Dr.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Mesin.
3. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, M.T, selaku Ketua Kelompok Pengajar Konsentrasi Konversi Energi Jurusan Mesin.
4. Bapak Ir. Saifuddin Baedowie, selaku Dosen Pembimbing Pertama dan Bapak Ir. Endi Sutikno, MT, selaku Dosen Pembimbing Kedua yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan dan pengetahuan pada penulis selama menjadi mahasiswa dan juga selama penyusunan skripsi ini .
5. Seluruh Dosen pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
6. Seluruh karyawan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
7. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin (KBMM) Universitas Brawijaya khususnya teman-teman angkatan 2004.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa ilmu yang dimiliki masih jauh dari kesempurnaan, begitu pula dengan skripsi ini. Oleh sebab itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna penyusunan karya ilmiah yang lebih baik lagi.

Malang, Desember 2009

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Etanol	4
2.2 Bioetanol	4
2.3 Bensin	6
2.4 Pemilihan Bahan Baku Bioetanol	7
2.5 Karakteristik Bahan Bakar Bioetanol	8
2.6 Motor Bakar Torak	10
2.6.1 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah	11
2.6.2 Siklus Termodinamika Motor Bensin	12
2.7 Pembakaran pada Motor Bensin	15
2.8 Karakteristik Motor Bensin	17
2.8.1 Torsi (T)	17
2.8.2 Daya Efektif (Ne)	17
2.8.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCe)	18
2.8.4 Efisiensi termal efektif (η_t)	19
2.8.5 Gas Buang (CO dan CO ₂)	19
2.9 Hipotesis	22

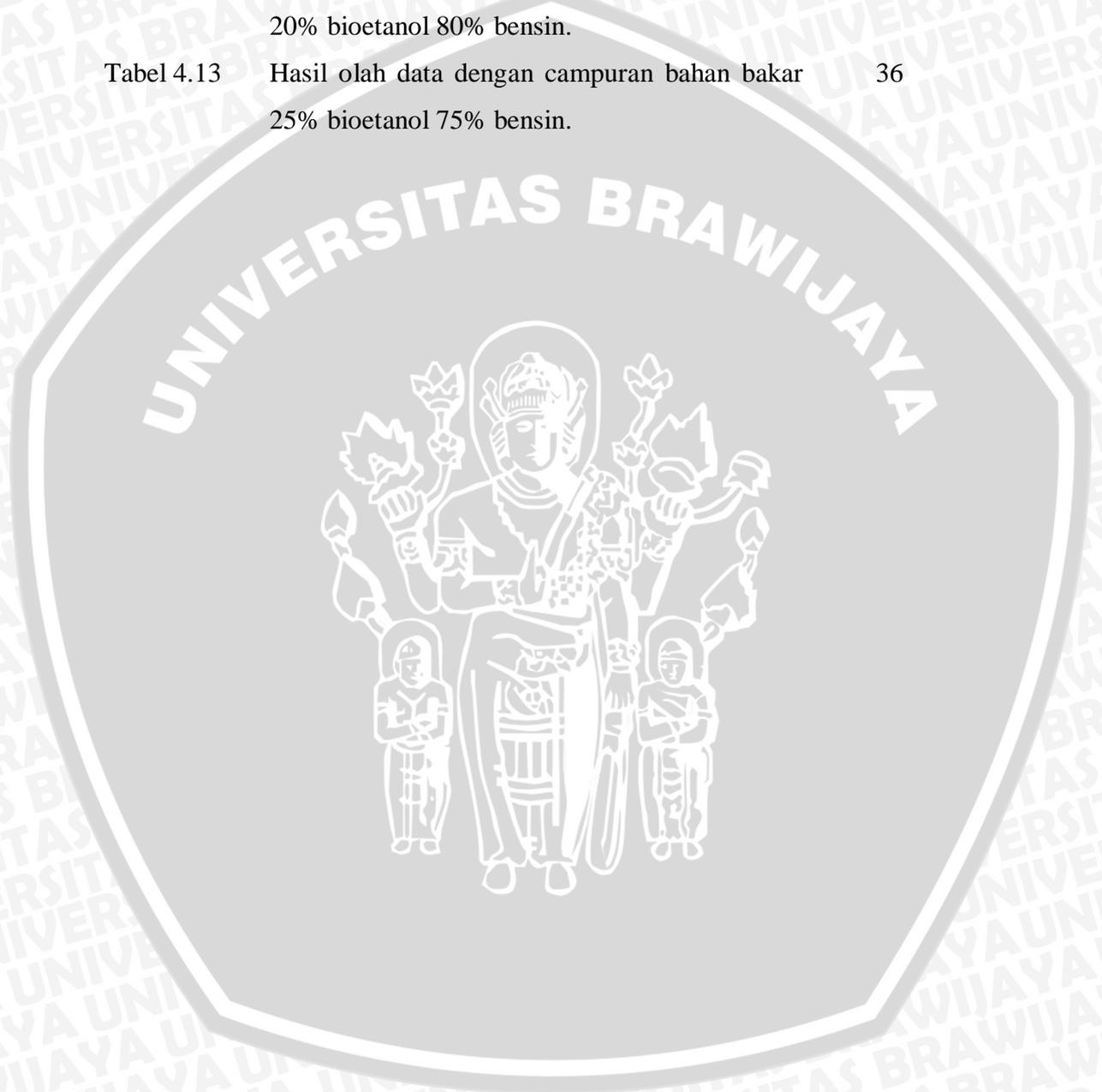


BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Metode Penelitian	23
3.2 Variabel Penelitian	23
3.3 Bahan dan Peralatan yang Digunakan	23
3.3.1 Bahan yang Digunakan	23
3.3.2 Peralatan yang Digunakan	24
3.4 Instalasi Pengujian	25
3.5 Prosedur Penelitian	25
3.5.1 Prosedur Penelitian pada Mesin Bensin	25
3.6 Rencana Pengolahan dan Analisa Data	26
3.7 Diagram Alir Penelitian	27
BAB IV OLAH DATA DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Data Hasil Penelitian	28
4.1.1 Olah Data	32
4.1.2 Hasil Olah Data	34
4.1.3 Diagram Hasil Penelitian	36
4.2 Pembahasan	39
4.2.1 Hubungan Torsi terhadap Putaran	39
4.2.2 Hubungan Daya Efektif Terhadap Putaran	40
4.2.3 Hubungan Efisiensi Termal Efektif Terhadap Putaran	42
4.2.4 Hubungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif Terhadap Putaran	43
4.2.5 Hubungan gas buang CO ₂ Terhadap Putaran	44
4.2.6 Hubungan Kandungan CO Terhadap Putaran	44
	45
BAB V PENUTUP	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran	46
DAFTAR PUSTAKA	47
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Konversi biomassa menjadi bioetanol	7
Tabel 2.2	Potensi tanaman sebagai bahan baku etanol	7
Tabel 2.3	Perbandingan Karakteristik Etanol dengan Bensin	10
Tabel 3.1	Contoh pengambilan data sifat fisik persentase campuran bahan bakar Bioetanol dan bensin	26
Tabel 3.2	Contoh data hasil pengujian motor bensin 4 langkah dengan menggunakan campuran bahan bakar bioetanol dan bensin	26
Tabel 4.1	Data sifat fisik persentase campuran bahan bakar bioetanol dan bensin	28
Tabel 4.2	Data hasil pengujian dengan campuran bahan bakar 0 % bioetanol 100% bensin	29
Tabel 4.3	Data hasil pengujian dengan campuran bahan bakar 5% bioetanol 95% bensin	30
Tabel 4.4	Data hasil pengujian dengan campuran bahan bakar 10% bioetanol 90% bensin	30
Tabel 4.5	Data hasil pengujian dengan campuran bahan bakar 15% bioetanol 85% bensin	31
Tabel 4.6	Data hasil pengujian dengan campuran bahan bakar 20% bioetanol 80% bensin	31
Tabel 4.7	Data hasil pengujian dengan campuran bahan bakar 25% bioetanol 75% bensin	32
Tabel 4.8	Hasil olah data dengan campuran bahan bakar 0% bioetanol 100% bensin.	34
Tabel 4.9	Hasil olah data dengan campuran bahan bakar 5% bioetanol 95% bensin	34

Tabel 4.10	Hasil olah data dengan campuran bahan bakar 10% bioetanol 90% bensin.	35
Tabel 4.11	Hasil olah data dengan campuran bahan bakar 15% bioetanol 85% bensin.	35
Tabel 4.12	Hasil olah data dengan campuran bahan bakar 20% bioetanol 80% bensin.	35
Tabel 4.13	Hasil olah data dengan campuran bahan bakar 25% bioetanol 75% bensin.	36

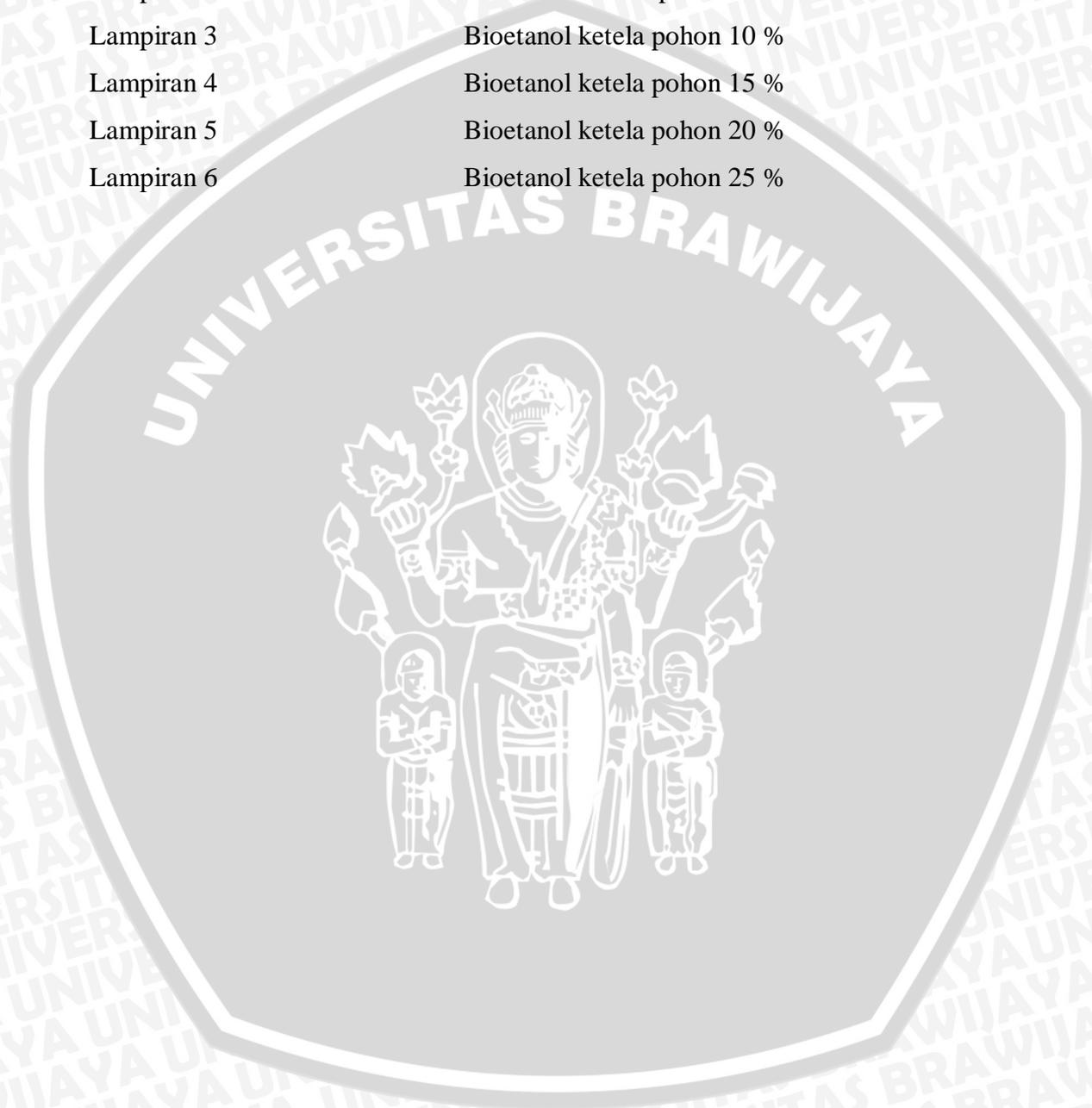


DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Diagram alir proses pembuatan bioetanol dari bahan baku gula, pati, dan lingo-selulosa	5
Gambar 2.2	Diagram proses fermentasi sukrosa oleh ragi (<i>yeast</i>) <i>S.cerevisiae</i>	5
Gambar 2.3	Diagram perbandingan proses pengolahan etanol dengan harga bahan bakunya	8
Gambar 2.4	Skema Langkah Kerja Motor Bakar 4 Langkah	11
Gambar 2.5	Siklus Otto Teoritis (a) dan Siklus Otto Aktual (b)	13
Gambar 2.6	Perbandingan Daya Indikasi Dengan Variasi Bahan Bakar	14
Gambar 3.1	Instalasi Penelitian	25
Gambar 3.2	Diagram alir penelitian	27
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Torsi-Putaran	36
Gambar 4.2	Grafik Hubungan Daya Efektif-Putaran	37
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Efisiensi Termal-Putaran	37
Gambar 4.4	Grafik Hubungan SFCE-Putaran	38
Gambar 4.5	Grafik Hubungan CO ₂ -Putaran	38
Gambar 4.6	Grafik Hubungan CO-Putaran	39

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul
Lampiran 1	Bioetanol ketela pohon 0 %
Lampiran 2	Bioetanol ketela pohon 5 %
Lampiran 3	Bioetanol ketela pohon 10 %
Lampiran 4	Bioetanol ketela pohon 15 %
Lampiran 5	Bioetanol ketela pohon 20 %
Lampiran 6	Bioetanol ketela pohon 25 %



RINGKASAN

Fendi Jati Kuncoro, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2009, **Pengaruh Variasi Persentase Campuran Bioetanol Ketela Pohon (*Manihot Utilissima*) dan Bensin Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin 4 Langkah**. Dosen pembimbing: Ir. Saifuddin Baedowie dan Ir. Endi Sutikno, MT.

Indonesia merupakan Negara beriklim tropis, dimana tanaman-tanaman yang dapat diolah menjadi bahan bakar nabati dapat tumbuh dengan baik, mulai dari ketela pohon, tebu, jagung dan bunga matahari. Banyak masyarakat yang mencari solusi alternatif dalam penekanan penggunaan minyak bumi. Dimana salah satu cara untuk penekanan penggunaan bahan bakar bensin yaitu penggantian bahan bakar bensin dengan bioetanol.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi persentase campuran bioetanol minyak ketela pohon dengan bensin terhadap unjuk kerja yang meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan gas buang CO dan CO₂ pada motor bensin 4 langkah.

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini dengan menggunakan metode penelitian eksperimental. Sebelum dilakukan pengujian pada motor bensin 4 langkah, dilakukan terlebih dahulu pengambilan data sifat fisik campuran bahan bakar bioetanol minyak ketela pohon dan bensin, selanjutnya dilakukan pengambilan data hasil pengujian pada motor bensin 4 langkah. Data hasil pengujian berupa data awal diolah untuk mendapatkan nilai dari unjuk kerja yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada campuran 20 % bioetanol didapat unjuk kerja yang optimum berupa torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, sedangkan dalam gas buang kandungan CO terendah dimiliki pada campuran 25 % bioetanol dan kandungan CO₂ tertinggi dimiliki pada campuran 20 % bioetanol.

Kata Kunci : bioetanol, bensin, unjuk kerja, indeks oktan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan Negara beriklim tropis, dimana tanaman-tanaman yang dapat diolah menjadi bahan bakar nabati dapat tumbuh dengan baik, mulai dari ketela pohon, tebu, jagung dan bunga matahari.

Dengan berat ketela pohon 1 kg setiap pohon kerapatan tanaman 4.000 pohon per hektar dapat menghasilkan 4 ton per tahun. Bila saja harga di tingkat petani Rp. 200/kg, baru memanen kotor Rp 8 juta. Pendapatan tersebut jauh berbeda dengan petani tebu yang bisa memperoleh pendapatan bersih rata-rata Rp 12 juta tiap hektar dalam kurun waktu yang sama.

Dengan adanya hal tersebut diatas, banyak masyarakat yang mencari solusi alternatif dalam penekanan penggunaan minyak bumi. Dimana salah satu cara untuk penekanan penggunaan bahan bakar bensin yaitu penggantian bahan bakar bensin dengan bioetanol. Bioetanol dapat dibuat dari bahan berpati, bahan bergula, bahan berselulosa.

Ketela pohon dipilih sebagai bahan pembuatan bioetanol yang sangat efektif karena ketela pohon merupakan tanaman penghasil etanol dengan produktifitas nomer dua setelah tebu. Tanaman tebu dipilih kurang efektif karena di Indonesia masih kekurangan produksi tebu untuk menghasilkan gula pasir. Dan harga ketela pohon lebih murah dari pada tebu, sehingga dapat meningkatkan ekonomi petani ketela pohon.

Penelitian mengenai penerapan bahan bakar alternatif sudah pernah dilakukan, diantaranya oleh **BPPT Lampung (1986)** yang telah mengembangkan bioetanol dengan molasses atau tetes. **Hendry Yoshua Nanholy (2007)** melakukan penelitian dengan bioetanol jagung dengan kadar 85% dan 100% dengan variasi putaran dari 3000 rpm - 9000 rpm dengan kelipatan 500 rpm pada sepeda montor Honda Karisma. **Teruci (2008)** melakukan penelitian bioetanol dengan kadar 5%-20% dengan kelipatan 5% dengan variasi putaran 1500 rpm-

6000 rpm dengan kelipatan 500 rpm pada Timor DOHC. **Girun Alfathoni (2000)** melakukan penelitian terhadap bioetanol dengan kadar 10%-30% kelipatan 10 % dengan memvariasikan putaran 1500 rpm sampai 3000 rpm.

Penelitian tentang bioetanol memang sudah beberapa kali dilakukan dengan berbagai variasi campuran dan putaran mesin. Dalam penelitian yang sudah dilakukan menggunakan *fuel grade ethanol* (kadarnya antara 99,5%-99,8%), sisa dari kadar tersebut merupakan unsur-unsur yang terkandung dalam bahan baku bioetanol. Dalam skripsi ini tidak membahas seberapa besar kadar dan unsur-unsur ikutan yang terkandung dalam bioetanol ketela pohon secara kimia, tetapi diteliti dalam dampaknya terhadap unjuk kerja motor bakar bensin 4 langkah.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh variasi persentase campuran bioetanol ketela pohon (*manihot utilissima*) dan bensin terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah?

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi agar penelitian ini lebih spesifik, maka dibuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Bahan bakar bensin yang dipakai adalah bensin yang dijual di SPBU.
2. Bioetanol yang digunakan hanya berasal dari ketela pohon.
3. Tidak meneliti unsur-unsur ikutan secara kimia.
4. Pengujian hanya dilakukan pada motor bensin 4 langkah.
5. Mesin yang diuji dalam kondisi tidak berpindah tempat (statis).
6. Tidak membahas konstruksi mesin.
7. Pengambilan data dilakukan pada kondisi lingkungan yang dianggap tetap.
8. Kinerja motor bensin yang akan dianalisa adalah meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan gas buang (CO dan CO₂).

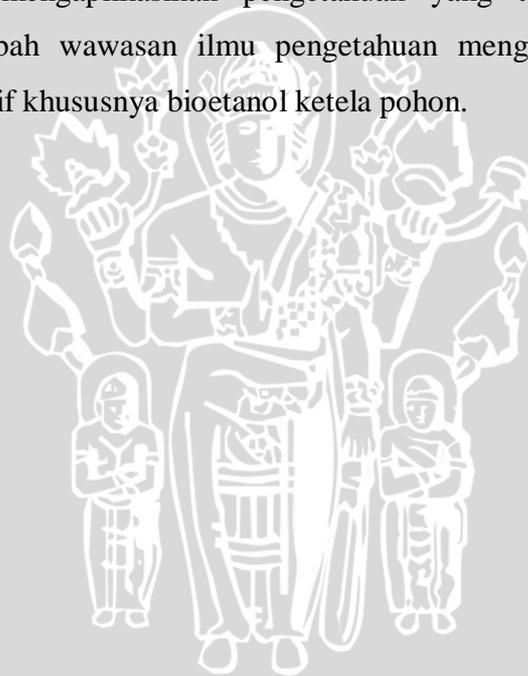
1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi persentase campuran bioetanol ketela pohon dan bensin terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu:

1. Memberikan jalan keluar mengatasi kelangkaan minyak bumi, khususnya bensin.
2. Menambah pustaka ilmu pengetahuan mengenai bahan bakar alternatif bioetanol ketela pohon dalam mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang semakin meningkat.
3. Dapat mengaplikasikan pengetahuan yang telah didapat dan menambah wawasan ilmu pengetahuan mengenai bahan bakar alternatif khususnya bioetanol ketela pohon.



BAB II DASAR TEORI

2.1 Etanol

Etanol (disebut juga etil-alkohol atau alkohol saja), adalah alkohol yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Rumus molekul etanol adalah C_2H_5OH atau rumus empiris C_2H_6O bersifat cair pada temperatur kamar.

Etanol dibagi menjadi 2 jenis, antara lain :

1. Etanol sintesis, sering disebut methanol atau alkohol kayu, terbuat dari etilen, salah satu derivat minyak bumi atau batu bara. Bahan ini diperoleh dari proses sintesa kimia yang disebut hidrasi.
2. Bioetanol, direkayasa dari biomassa (tanaman) melalui proses biologi (enzimatik dan fermentasi).

Bahan baku bioetanol sebagai berikut :

- Bahan berpati, berupa singkong atau ubi kayu, ubi jalar, tepung sagu, biji jagung, biji sorgum, gandum, kentang, ganyong, garut, umbi dahlia, dan lain-lain.
- Bahan bergula, berupa *mollasses* (tetes tebu), nira tebu, nira kelapa, nira batang sorgum manis, nira aren (enau), nira nipah, gewang, nira lontar, dan lain-lain.
- Bahan beselulosa, berupa limbah *logging*, limbah pertanian seperti jerami padi, ampas tebu, *janggal* (tongkol) jagung, onggok (limbah tapioka), batang pisang, serbuk gergaji (*grajen*), dan lain-lain.

2.2 Bioetanol

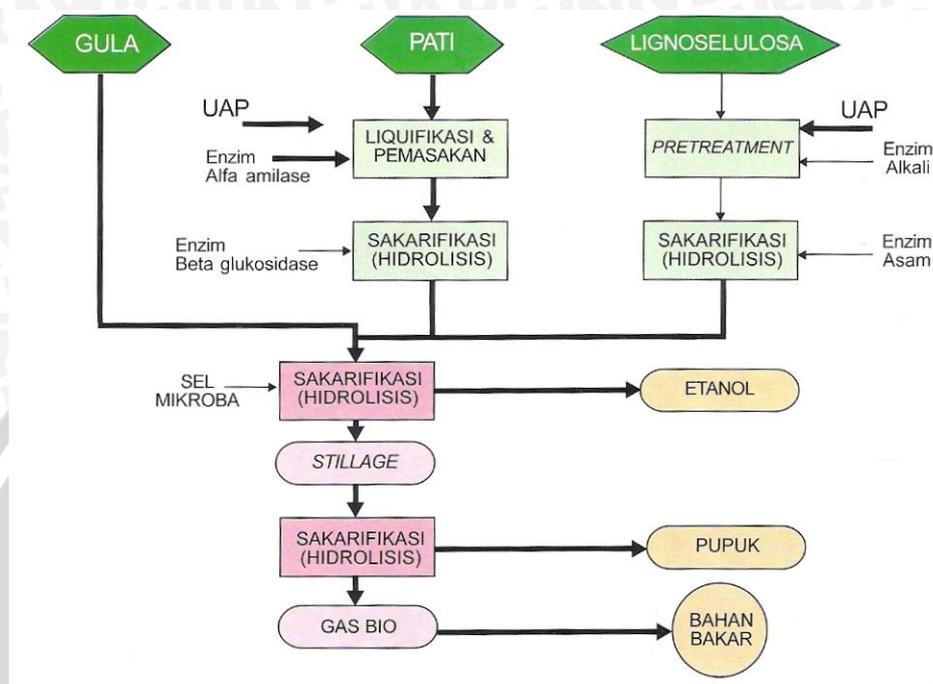
Bioetanol merupakan biofuel yang dapat menggantikan posisi bensin atau premium.

Keunggulan bioetanol jika dibandingkan bensin antara lain:

1. Adanya produksi bioetanol dapat menyalurkan produksi tumbuhan (bergula, berpati atau berselulosa) yang berlebih.
2. Intensitas racun dan jumlah komponen emisi gas buang lebih rendah dibandingkan dengan bensin, karena bioetanol berasal dari bahan-bahan nabati.
3. Bioetanol bersifat dapat diperbaharui (*renewable*) karena bahan baku dasar pembuatannya dari bahan-bahan nabati.

4. Bioetanol dapat terdegradasi secara alami. Karena sifatnya yang *biodegradable*.

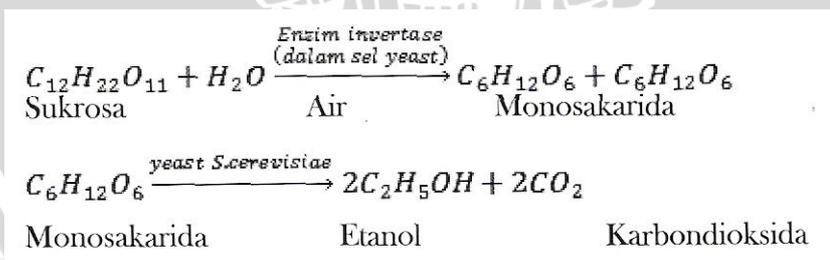
Diagram alir pembuatan bioetanol terdapat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 : Diagram alir proses pembuatan bioetanol dari bahan baku gula, pati, dan lingo-selulosa

(Sumber : Roy Hendroko, 2008, 28)

Proses kimia fermentasi oleh ragi dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 : Diagram proses fermentasi sukrosa oleh ragi (*yeast*) *S.cerevisiae*

(Sumber : Roy Hendroko, 2008, 28)

2.3 Bensin

Bensin mengandung energi kimia. Energi ini diubah menjadi energi panas melalui proses pembakaran (oksidasi) dengan udara di dalam mesin atau motor bakar. Energi panas ini meningkatkan temperatur dan tekanan gas pada ruang bakar. Gas bertekanan tinggi tersebut kemudian berekspansi melawan mekanisme mekanik mesin. Ekspansi itu diubah oleh mekanisme *link* menjadi putaran *crankshaft* sebagai *output* dari mesin tersebut. Selanjutnya, *crankshaft* dihubungkan ke sistem transmisi oleh sebuah poros untuk mentransmisikan daya atau energi putaran mekanis. Energi ini kemudian dimanfaatkan sesuai dengan keperluan, misalnya untuk menggerakkan roda motor atau mobil.

Secara sederhana, bensin tersusun dari hidrokarbon rantai lurus dengan rumus kimia C_nH_{2n+2} , mulai dari C_7 (heptana) sampai dengan C_{11} . dengan kata lain, bensin terbuat dari molekul yang hanya terdiri dari hidrogen dan karbon saling terikat satu dengan yang lainnya sehingga membentuk rantai.

Bensin dibuat dari minyak mentah, yaitu cairan berwarna hitam yang dipompa dari perut bumi dan biasa disebut *crude oil*. Cairan ini mengandung hidrokarbon. Atom-atom karbon dalam minyak mentah saling berhubungan, membentuk rantai dengan panjang yang berbeda-beda.

Molekul hidrokarbon dengan panjang berbeda memiliki sifat dan kelakuan berbeda pula. CH_4 (metana) merupakan molekul yang paling "ringan", bertambahnya atom C dalam rantai tersebut membuatnya semakin "berat". Bertambah panjangnya rantai hidrokarbon akan menaikkan titik didihnya.

Bensin (C_nH_{2n+2}) dapat dicampur dengan dengan etanol (C_2H_5OH) karena kandungan karbon (C) dan hidrogen (H) pada bensin dan etanol dapat saling terikat, sedangkan oksigen yang inheren didalam molekul etanol tersebut membantu penyempurnaan pembakaran antara campuran udara bahan bakar dalam silinder

2.4 Pemilihan Bahan Baku Bioetanol

Tabel 2.1 : Konversi biomassa menjadi bioetanol

Biomasa	Berat (Kg)	Kandungan Gula/Pati (Kg)	Jumlah Bioetanol (L)	Hasil Biomassa : Bioetanol
Ubi kayu	1.000	240—300	166,6	6,5 : 1
Ubi Jalar	1.000	150—200	125	8 : 1
Jagung	1.000	600—700	400	2,5 : 1
Sagu	1.000	120—160	90	12 : 1
Tetes	1.000	450—520	250	4 : 1
Tebu	1.000	110	67	15 : 1

(Sumber : Wahono; 2006: 29)

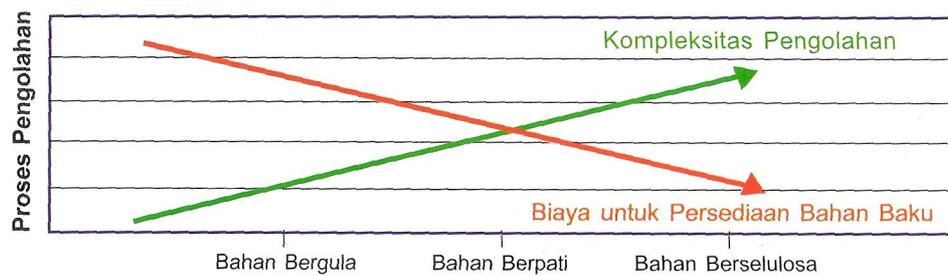
Tabel 2.1 menunjukkan bahan baku yang memiliki efisiensi tertinggi adalah jagung, disusul tetes tebu, dan ubi kayu, sedangkan tebu memiliki efisiensi paling rendah. Namun biaya pengolahan etanol dari jagung atau bahan berpati relatif sangat mahal, karena membutuhkan proses dan peralatan tambahan sebelum fermentasi.

Tabel 2.2 : Potensi tanaman sebagai bahan baku etanol

Jenis Tanaman	Hasil Panen (Ton/Ha/Tahun)	Etanol (L/Ha/Tahun)
Jagung	1—6	400—2.500
Ubi kayu	10—50	2.000—7.000
Tebu	40—120	3.000—8.500
Ubi jalar	10—40	1.200—5.000
Sorgum	3—12	1.500—5.000
<i>Sweet sorgum</i>	20—60	2.000—6.000
Kentang	10—35	1.000—4.500
<i>Beet</i>	20—100	3.000—8.000

(Sumber : Anonymous, 1981)

Tabel 2.2 menunjukkan tebu sebagai tanaman penghasil etanol dengan produktivitas tertinggi dan disusul ubi kayu, karena *beet* tidak dapat berproduksi optimal di Indonesia.



Gambar 2.3 : Diagram perbandingan proses pengolahan etanol dengan harga bahan bakunya

(Sumber : Wahono; 2006: 34)

Tampak di gambar 2.3, proses pengolahan bahan mengandung gula relatif lebih mudah dibanding bahan berpati dan berselulosa, tetapi sebenarnya harga bahan bakunya relatif mahal.

Berdasarkan tabel dan diagram diatas bahan baku ketela pohon merupakan bahan baku yang dianggap paling efektif dan ekonomis dibanding dengan bahan baku lainnya.

2.5 Karakteristik Bahan Bakar Bioetanol

Beberapa karakteristik bahan bakar bioetanol yang mempengaruhi kerja mesin bensin adalah :

- Bilangan oktan etanol memiliki angka oktan yang lebih tinggi daripada bensin yaitu *research octane* 108 dan *motor octane* 92 (Roy Hendroko dkk, 2008). Oktan menyatakan kandungan molekul iso-oktan (C_8) yang terdapat dalam bahan bakar bensin. Secara garis besar, bensin dihuni oleh iso-oktan dan normal-heptana. Iso-oktan bersifat tahan digebuk atau dikompresi hingga volume terkecil tanpa mengalami pembakaran spontan. Normal-heptana mempunyai karakteristik berlawanan dengan iso-oktan, yakni mudah terbakar spontan meskipun baru ditekan sedikit. Jika campuran udara bahan bakar terbakar sebelum waktunya akan menimbulkan fenomena *knocking* yang berpotensi menurunkan daya mesin, bahkan bisa menimbulkan kerusakan serius pada komponen mesin
- Nilai kalor suatu bahan bakar menunjukkan seberapa besar energi yang terkandung didalamnya. Nilai kalor etanol sekitar 67% nilai kalor bensin

(Yuksel dkk, 2004), hal ini karena adanya oksigen dalam struktur etanol. Berarti untuk mendapatkan energi yang sama jumlah etanol yang diperlukan akan lebih besar. Adanya oksigen dalam etanol juga mengakibatkan campuran menjadi lebih 'miskin/lean' jika dibandingkan dengan bensin, sehingga campuran harus dibuat lebih kaya untuk mendapatkan unjuk kerja yang diinginkan.

- *Volatility* suatu bahan bakar menunjukkan kemampuannya untuk menguap. Etanol memiliki panas penguapan yang tinggi yaitu $842 \text{ kJ/kg} = 201,1 \text{ Kcal/kg}$ (Al-Baghdadi, 2003). Sifat ini penting, karena jika bahan bakar tidak cepat menguap maka bahan bakar akan sulit tercampur dengan udara pada saat terjadi pembakaran. Zat yang sulit menguap tidak dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin bensin meskipun memiliki nilai kalor yang besar. Namun demikian bahan bakar yang terlalu mudah menguap juga berbahaya karena mudah terbakar.
- Etanol memiliki panas penguapan (*heat of vaporization*) yang tinggi. Ini berarti ketika menguap etanol akan memerlukan panas yang lebih besar, dimana panas ini akan diserap dari silinder sehingga dikawatirkan temperaturnya puncak akan rendah. Padahal agar pembakaran terjadi secara efisien maka temperatur mesin tidak boleh terlalu rendah. Pada kenyataannya karena pembakaran berlangsung sangat cepat panas tersebut tidak akan sempat terserap, sehingga dengan bahan bakar etanol penurunan temperatur hanya berkisar antara 20-40 F.
- Emisi gas buang etanol memiliki satu molekul OH dalam susunan molekulnya. Oksigen yang inheren didalam molekul etanol tersebut membantu penyempurnaan pembakaran antara campuran udara bahan bakar dalam silinder. Karena temperatur puncak dalam silinder lebih rendah dibanding dengan pembakaran bensin, maka emisi NO, yang dalam kondisi atmosfer akan membentuk NO₂ yang bersifat racun, juga akan turun.

Karakteristik perbandingan antara etanol dengan bensin dapat dilihat dalam tabel 2.3.

Tabel 2.3 : Tabel Perbandingan Karakteristik 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

Sumber : www.afdc.doe.gov(Sumber : www.afdc.doe.gov)

2.6 Motor Bakar Torak

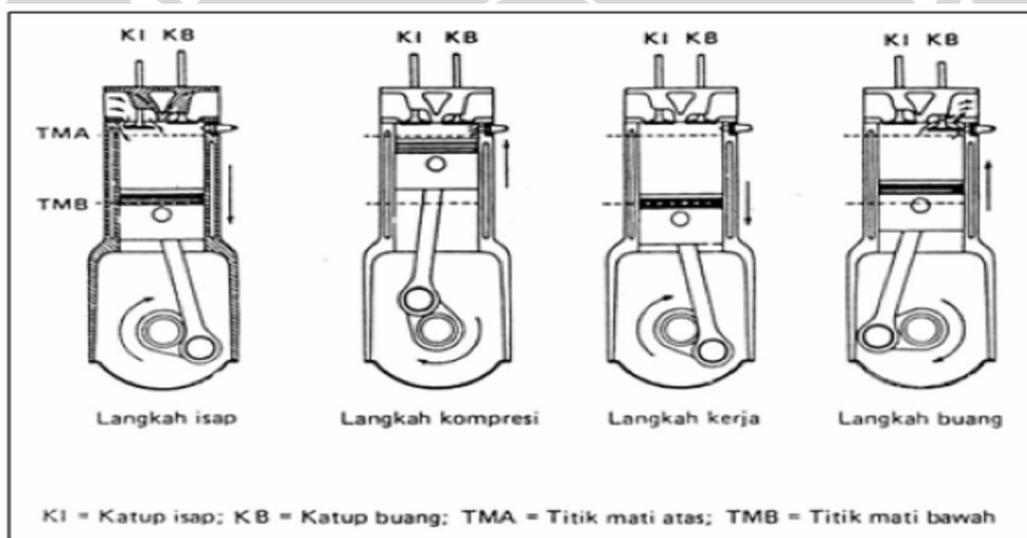
Motor bakar torak termasuk salah satu jenis penggerak mula yang mengubah energi kimia bahan bakar ke dalam bentuk energi panas atau potensial gas hasil pembakaran untuk melakukan kerja mekanik. Proses ini berlangsung dalam ruangan yang dibatasi dinding silinder, kepala silinder, dan puncak torak, sehingga motor bakar ini termasuk dalam mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Gas yang dihasilkan dari proses pembakaran tersebut berfungsi sebagai fluida kerja yang digunakan untuk menggerakkan torak yang oleh batang penghubung dihubungkan dengan poros engkol. Gerak translasi dari torak mengakibatkan terjadinya gerak rotasi atau putaran pada poros engkol dan begitu juga sebaliknya gerak rotasi dari poros engkol mengakibatkan gerak translasi pada torak.

Berdasarkan jenis penyalannya motor bakar di bagi 2 macam, yaitu motor bensin dan motor diesel. Pada motor bensin penyalan bahan bakar dengan bantuan loncatan bunga api listrik diantara dua elektroda busi, sehingga motor bensin disebut juga *Spark Ignition Engines* (SIE), sedangkan pada motor diesel proses penyalan bahan bakar terjadi dengan sendirinya karena adanya tekanan dan temperatur yang tinggi dalam silinder, sehingga biasanya disebut *Compression Ignition Engines* (CIE).

Selain berdasarkan jenis penyalannya, motor bakar torak dapat juga dibedakan berdasarkan jumlah langkahnya tiap siklus, yakni motor bakar dua langkah dan motor bakar empat langkah. Motor bakar dua langkah adalah motor bakar yang memerlukan dua kali langkah piston dalam satu kali siklus kerjanya. Sedangkan motor bakar empat langkah adalah motor bakar yang dalam satu kali siklus kerjanya memerlukan empat kali langkah piston. Satu kali langkah piston adalah gerak piston dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB) atau sebaliknya.

2.6.1 Prinsip Kerja Motor Bensin 4 Langkah

Mesin bensin empat langkah menjalani satu siklus tersusun atas empat tahapan/ langkah. Langkah-langkah tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 : Skema Langkah Kerja Motor Bakar 4 Langkah

(Sumber : Arismunandar; 2002: 8)

0 – 1 : Langkah Isap

Campuran udara bahan bakar dihisap kedalam silinder/ruang bakar. Piston bergerak menuju titik mati bawah (TMB). Katup isap terbuka dan katup buang tertutup.

1 – 2 : Langkah Kompresi

Kedua katup tertutup. Piston bergerak menuju titik mati atas (TMA). Sesaat sebelum piston mencapai TMA, bunga api dari busi

dipercikkan dan bahan bakar mulai terbakar, sehingga terjadi proses pemasukan panas pada langkah 2-3.

3 - 4 : Langkah Ekspansi

Selama pembakaran, sejumlah energi dibebaskan, sehingga suhu dan tekanan dalam silinder naik dengan cepat. Setelah mencapai TMA, piston akan didorong oleh gas bertekanan tinggi ini menuju TMB (langkah ekspansi). Tenaga mekanis ini diteruskan ke poros engkol. Saat sebelum mencapai TMB, katup buang terbuka, gas hasil pembakaran mengalir keluar dan tekanan dalam silinder turun dengan cepat.

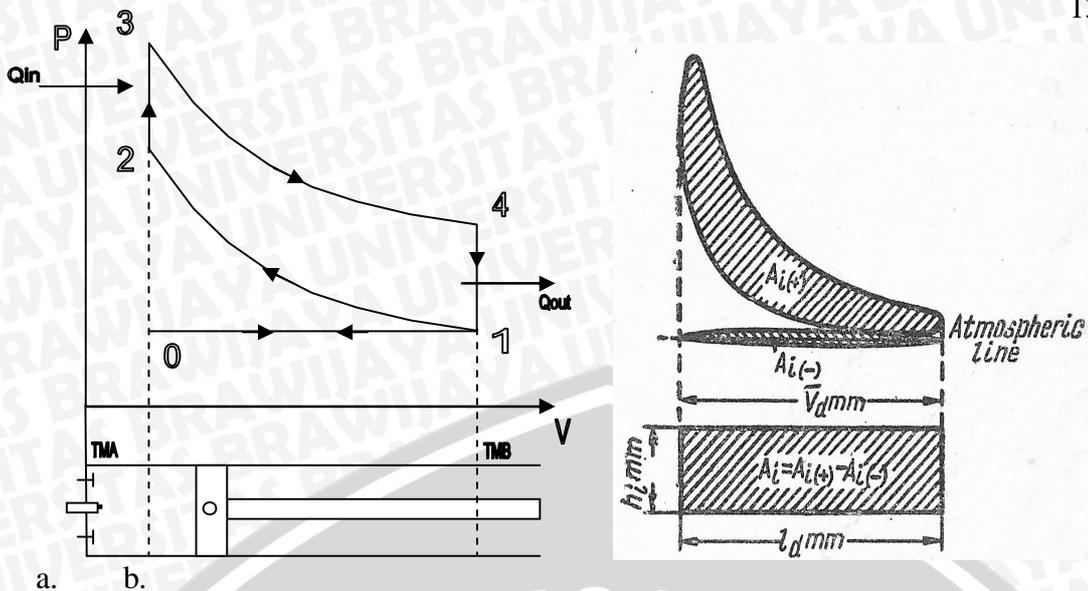
4 – 1 : Langkah Pembuangan

Piston bergerak menuju titik mati atas mendorong gas didalam silinder ke saluran buang.

Pada motor bakar torak, daya yang berguna adalah daya poros , karena poros itulah yang menggerakkan beban. Daya poros itu sendiri dibangkitkan oleh daya indikator yang merupakan daya gas pembakaran yang menggerakkan torak. Sebagian daya indikator dibutuhkan untuk mengatasi gesekan mekanik, misalnya gesekan antara torak dan dinding silinder dan gesekan antara poros dan bantalannya. Disamping itu, daya indikator harus pula menggerakkan beberapa aksesoris, seperti pompa pelumas, pompa air pendingin atau pompa udara pendingin, dll.

2.6.2 Siklus Termodinamika Motor Bensin

Dengan siklus termodinamika atau siklus udara standar dipergunakan udara sebagai fluida kerja dalam sebuah sistem tertutup, seperti pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 : Siklus Otto Teoritis (a) dan Siklus Otto Aktual (b)

1. Langkah isap (0-1)

Langkah isap terjadi pada proses isobarik. Langkah isap dimulai pada TMA, yakni bila piston mulai bergerak ke bawah menuju TMB. Pada aktualnya katup isap sudah terbuka sebelum piston mencapai TMA, hal ini untuk menghasilkan lubang isap yang luas pada langkah isap volumenya semakin besar tetapi nilai tekanannya tidak konstan seperti yang terjadi pada siklus ideal. Pada langkah isap aktual nilai tekanan lebih rendah dari tekanan atmosfer agar udara dapat masuk kedalam ruang silinder.

2. Langkah kompresi (1-2)

Ketika langkah kompresi proses yang seharusnya terjadi adalah isentropik (adiabatik dan reversible), tetapi pada aktualnya tidak terjadi adiabatik karena adanya perpindahan panas.

3. Langkah pembakaran (2-3)

Pada siklus ideal proses yang terjadi adalah isokhorik. Pada siklus ideal pembakaran dimulai dengan percikan bunga api ketika torak berada pada TMA, tetapi pada siklus aktual pembakaran dimulai sebelum mencapai titik TMA, hal ini karena jika busi dinyalakan ketika TMA maka ada kemungkinan denotasi yang dapat menyebabkan *knocking*, karena bahan bakar tidak mampu menahan kompresi yang tinggi. Didalam siklus Otto ideal berbagai kondisi operasi puncak lebih tinggi. Dalam siklus aktual puncak terpancung, karena proses pembakaran bukanlah penambahan panas pada volume tetap, yaitu pada TMA, tetapi suatu

reaksi kimia yang berlangsung dalam suatu periode waktu mencakup bagian akhir langkah kompresi dan bagian langkah kerja mesin.

4. Langkah ekspansi (3-4)

Langkah ekspansi pada aktual tidak isentropik seperti siklus ideal, hal ini karena terjadi perpindahan panas.

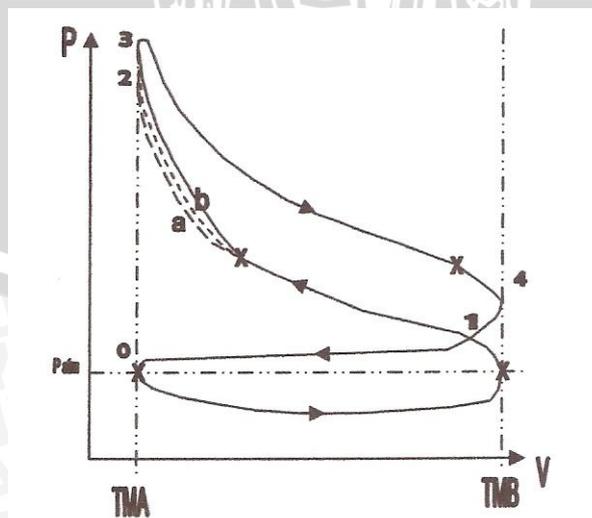
5. Langkah buang (4-1)

Langkah buang dimulai pada TMB, yaitu ketika piston menuju TMA dengan kondisi katup buang terbuka dan katup isap tertutup. Pada langkah buang aktual tidak terjadi proses volume konstan seperti siklus ideal, hal ini karena katup buang terbuka sebelum torak mencapai TMB setelah proses ekspansi.

Dalam siklus aktual :

$$W_{siklus} = W(+)-W(-) \dots\dots\dots(Pulkrabek;1997:95)$$

Untuk mendapatkan W_{siklus} yang besar dengan cara memperbesar $W(+)$ dan memperkecil $W(-)$. Salah satu caranya adalah dengan mengganti bahan bakar bensin dengan bahan bakar bioetanol. Didalam bioetanol memiliki kandungan oktan yang lebih tinggi dengan bensin, jadi denotasi dapat dihindari. Karena kemampuan bioetanol untuk mampu ditekan lebih baik dari pada bensin maka pada langkah kompresi mulai terbakarnya bahan bakar dapat semakin mendekati TMA, jadi luasan $W(+)$ semakin luas. Maka daya indikasi semakin besar pula. Daya indikasi dengan perbandingan bahan bakar dapat ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.6 : Perbandingan Daya Indikasi Dengan Variasi Bahan Bakar



Dari gambar dapat dilihat bahwa bioetanol dapat mempengaruhi luasan daya indikasi. Pada garis (a) luasannya adalah terluas karena perbandingan bioetanol dengan bensin yang lebih banyak dari pada garis (b) dan juga garis normal (bensin murni). Hal ini karena kemampuan bioetanol untuk tahan terhadap kompresi walaupun antara garis (a),(b) dan normal titik percikan bunga apinya sama. Daya indikasi dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

$$Ni = pi \cdot Vd \text{ [PS]} \dots\dots\dots(\text{Petrovsky ; 1979 : 58})$$

$$Ni = N_{bb} - (N_{\text{pendinginan}} - N_{\text{gas buang}}) \text{ [PS]}$$

$$N_{bb} = m_{\text{fuel}} \cdot LHV$$

$$N_{\text{pendinginan}} = \frac{W_{\text{pendinginan}} \cdot Cp_{\text{pendinginan}} \cdot (T_{\text{air keluar}} - T_{\text{air masuk}})}{632} \text{ [PS]}$$

$$N_{\text{gas buang}} = \frac{W_{\text{gas buang}} \cdot Cp_{\text{gas buang}} \cdot (T_{\text{gas keluar}} - T_{\text{gas masuk}})}{632} \text{ [PS]}$$

Hasil dari Ni tersebut dapat diteleti ulang dengan menggunakan rumus :

$$Ni = Ne + Nf$$

$$\text{Dimana : } Ne = \frac{T.n}{716,2} \text{ [PS]} \text{ dan } Nf = \eta f \cdot Qf \text{ [PS]}$$

2.7 Pembakaran pada Motor Bensin

Pembakaran dikatakan sempurna apabila semua kandungan karbon (C) dalam bahan bakar terbakar habis membentuk karbondioksida (CO₂), semua hidrogen (H) terbakar membentuk air (H₂O) dan semua sulfur (S) membentuk sulfuroksida (SO₂). Jika kondisi tersebut tidak terpenuhi, berarti pembakaran tersebut tidak sempurna. Ditinjau secara aerodinamik, ada dua jenis pembakaran yaitu :

1. Pembakaran *premixed* : adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara (oksigen) dicampur terlebih dahulu secara mekanik (misalnya dengan karburator), kemudian baru dibakar. Contohnya adalah pembakaran pada motor bensin.
2. Pembakaran difusi : adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara pengoksidasi tidak dicampur secara mekanik melainkan bercampur

secara alami melalui proses difusi, kemudian baru dibakar. Contohnya adalah pembakaran pada motor diesel, pembakaran lilin.

Untuk menghasilkan kinerja mesin yang optimal, proses pembakaran memegang peranan yang sangat penting, dan proses pembakaran yang terjadi diusahakan mendekati sempurna, sehingga bahan bakar akan habis terbakar maka energi panas yang dihasilkan akan tinggi dan emisi gas CO akan menurun. Dengan konsumsi bahan bakar yang sama, tenaga yang dihasilkan oleh mesin akan lebih besar dan polusi udara yang terjadi akan lebih rendah dibandingkan jika pembakaran tidak sempurna. Pada proses pembakaran, ada empat syarat yang harus dipenuhi agar terjadi pembakaran yang sempurna, yaitu :

1. Bahan bakar menguap secara cepat dan sempurna.
2. Penggunaan udara pembakaran yang cukup.
3. Campuran udara dan bahan bakar yang homogen.
4. Temperatur pembakaran harus cukup tinggi.

Jika syarat-syarat diatas tidak terpenuhi, maka akan terjadi pembakaran yang tidak sempurna. Pembakaran yang tidak sempurna akan menghasilkan oksida yang menimbulkan polusi udara dan menurunkan efisiensi serta akan merugikan secara ekonomis.

Pembakaran dalam ruang bakar terjadi dengan sangat cepat, tetapi ada jeda waktu sesaat awal penyalaan api oleh busi sampai campuran bahan bakar dan udara terbakar habis. Setelah busi menyala, nyala api akan merambat ke segala arah dengan kecepatan yang sangat tinggi (20 - 50 m/s). (Arismunandar, 2002:82).

Jika penyalaan terlalu awal, maka gas sisa yang belum terbakar maupun campuran baru antara bahan bakar dan udara akan terbakar, sehingga meningkatkan temperatur dan tekanan di ruang bakar, sementara proses kompresi masih berlangsung dimana piston masih bergerak ke TMA. Akibatnya gerakan piston akan terhambat oleh gas tersebut sehingga mengurangi tenaga mesin. Jika penyalaan terlambat, tekanan akan turun karena saat terbakar, piston sudah bergerak menuju TMB. Peningkatan tekanan dan temperatur gas hasil pembakaran akan menurun. Gas hasil pembakaran yang masih mempunyai tekanan tinggi akan keluar melalui katup buang, sehingga pemanfaatan energinya akan berkurang.

2.8 Karakteristik Motor Bensin

Pengujian dari suatu motor bakar adalah untuk mengetahui kinerja dari motor bakar itu sendiri. Parameter-parameter yang akan dibahas untuk mengetahui karakteristik dalam penelitian motor bensin 4 langkah ini meliputi :

1. Torsi (T).
2. Daya efektif (Ne).
3. Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe).
4. Efisiensi termal efektif (η_{te}).
5. Gas buang (CO dan CO₂).

2.8.1 Torsi (T)

Hasil proses pembakaran di dalam silinder menimbulkan tekanan yang dapat menekan torak melalui langkah ekspansi atau kerja. Tekanan tersebut diubah menjadi gaya oleh torak yang selanjutnya diteruskan oleh batang torak, kemudian akan menyebabkan berputarnya poros engkol. Berputarnya poros engkol ini akan menimbulkan momen putar yang disebut torsi. Besarnya torsi suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan dynamometer. Dynamometer akan menunjukkan besarnya gaya atau beban pengereman pada poros.

Sehingga harga torsi didapat dari perkalian besarnya beban pengereman dengan panjang lengan yang menghubungkan timbangan dengan poros. Persamaan dirumuskan sebagai berikut :

$$T = F.L[kg.m] \dots\dots\dots (\text{Arismunandar; 2002: 32})$$

dimana :

T = Torsi (kg.m)

F = Besar gaya putar yang terbaca pada timbangan dynamometer (kg)

L = Panjang lengan dynamometer = 0,358 (m)

2.8.2 Daya Efektif (Ne)

Daya efektif merupakan daya yang dihasilkan oleh poros engkol untuk menggerakkan beban. Daya efektif ini dibangkitkan oleh daya indikasi, yaitu suatu daya yang dihasilkan oleh torak, dimana sebagian dari daya ini digunakan untuk mengatasi gesekan mekanis, misalnya gesekan antara torak

dan dinding silinder, gesekan antara poros dan bantalan, untuk menggerakkan peralatan bantu (pendingin, kipas radiator,dan lain-lain).

Daya efektif didapatkan dengan mengalikan torsi (T) dengan kecepatan anguler poros (ω). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Ne = T.\omega = \frac{T.2.\pi.n}{60.75} = \frac{T.n}{716,2} [HP] \dots\dots\dots(Petrovsky; 1960:59)$$

dengan:

Ne = daya efektif (HP)

ω = kecepatan anguler poros (rad . detik⁻¹)

n = putaran poros (rpm)

2.8.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCe)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif adalah jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif sebesar 1HP selama 1 jam. Konsumsi bahan bakar diukur dengan menggunakan tabung ukur yang telah diketahui volumenya. Bahan bakar akan dialirkan melalui tabung ukur ini kemudian diamati waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar sebesar volume tersebut pada saat motor bekerja. Konsumsi bahan bakar tersebut dikonversikan ke dalam satuan kg/jam, maka akan diperoleh rumusan :

$$FC = \frac{b}{t} . \gamma_f . \frac{3600}{1000} [kg.jam^{-1}] \dots\dots\dots(Petrovsky; 1960 : 63)$$

dengan:

FC = konsumsi bahan bakar (kg . jam⁻¹)

b = volume bahan bakar selama t detik (ml)

t = waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak b ml (dtk)

γ_f = berat spesifik bahan bakar (kg . lt⁻¹)

Dari nilai konsumsi bahan bakar (FC) didapat *Specific Fuel Consumption efective* (SFCe) dengan persamaan sebagai berikut:

$$SFCe = \frac{FC}{Ne} [kg.HP^{-1}.jam^{-1}] \dots\dots\dots (Petrovsky; 1960 : 63)$$

dengan:



SFCe = konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg . HP⁻¹ . jam⁻¹)

FC = konsumsi bahan bakar (kg . jam⁻¹)

Ne = daya efektif (HP)

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif dapat dijadikan ukuran ekonomis dan tidaknya pemakaian bahan bakar.

2.8.4 Efisiensi termal efektif (η_{te})

Efisiensi termal efektif berkaitan dengan konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe). Nilai dari efisiensi termal efektif adalah berbanding terbalik dengan nilai SFCe. SFCe yang rendah menunjukkan efisiensi termal efektif yang tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta_{te} = \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \times N_e}{FC \times Q_L} \times 100\% \dots\dots\dots(\text{Petrovsky; 1960:62})$$

$$= \frac{632}{\text{SFCe} \times Q_L} \times 100\%$$

dimana:

η_{te} = Efisiensi termal efektif (%)

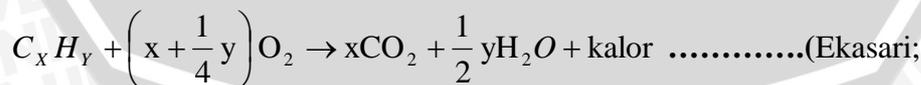
Qe = Jumlah kalor yang digunakan untuk daya efektif (kkal/kg)

Qb = Jumlah kalor yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dan udara (kkal/kg)

QL = Nilai kalor rendah bahan bakar (kkal/kg)

2.8.5 Gas Buang (CO dan CO₂)

Pembakaran merupakan reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen untuk dapat menghasilkan kalor pada temperatur yang tinggi, dimana rumus reaksi kimia pembakaran yaitu:



1983:40)

Dalam sebuah pembakaran yang cepat, dimungkinkan masih terdapat partikel-partikel bahan bakar yang belum cukup beraksi dengan oksigen. Untuk itu dibutuhkannya udara berlebih agar semua partikel bahan bakar dapat bereaksi dengan oksigen, sehingga pembakaran menjadi lebih



sempurna. Perbandingan antara udara aktual dengan udara teoritis disebut dengan *excess air coefficient* (koefisien udara berlebih).

$$\alpha = \frac{V_a}{V_o} \dots\dots\dots(\text{Shvetz; 1960: 184})$$

Dimana: α = koefisien udara berlebih (*excess air coefficient*).

V_a = kebutuhan udara aktual. aV

V_o = kebutuhan udara teoritis. oV

Besarnya V_o dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$V_o = \frac{\frac{8}{3}C + 8H + S - O}{1,429 \times 0,21 \times 100} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] \dots\dots\dots(\text{Shvetz; 1960: 184})$$

Dimana: 1,429 = berat spesifik oksigen (kg/m^3).

0,21 = fraksi volume oksigen dari udara.

C, H, S, O = fraksi berat karbon, hidrogen, sulfur, oksigen dalam bahan bakar.

Sisa hasil pembakaran pada motor bakar adalah berupa gas CO_2 , O_2 , H_2O , dan polutan-polutan lain. Namun sebagian besar kandungan gas buang tersebut adalah CO_2 , H_2O , O_2 dan N_2 . Gas buang yang dianalisis pada penelitian ini adalah gas CO dan CO_2 , karena gas CO dan CO_2 merupakan indikator sempurna atau tidaknya pembakaran yang terjadi. Kadar gas CO dan CO_2 dapat diukur dengan menggunakan *orsat apparatus*.

1. Gas CO

Gas CO dihasilkan dari proses pembakaran suatu bahan bakar yang dapat terjadi akibat terbatasnya suplai oksigen atau udara dari jumlah yang diperlukan sehingga menyebabkan pembakaran menjadi tidak sempurna, sehingga atom C dalam bahan bakar terbakar dalam suatu proses sebagai berikut :



Adanya CO juga menunjukkan kerugian energi kimia yang tidak secara penuh digunakan atau dibakar dengan mesin. CO adalah bahan bakar yang dapat dibakar lagi untuk menghasilkan energi panas hal ini sesuai dengan reaksi :



Salah satu pemicu terjadinya gas CO adalah semakin tingginya temperatur gas buang, sebab dengan peningkatan temperatur gas buang dapat menyebabkan terjadinya penguraian CO₂ menjadi CO yang mengikuti reaksi :



Gas CO ini bersifat racun terhadap tubuh karena bila masuk ke dalam darah, CO dapat bereaksi dengan Hemoglobin (Hb) untuk membentuk karboksihemoglobin (COHb). Bila reaksi tersebut terjadi, maka kemampuan darah mengangkut O₂ untuk kepentingan pembakaran dalam tubuh akan menjadi berkurang. Hal ini disebabkan karena kemampuan Hb untuk mengikat CO jauh lebih besar (sekitar 200 kali lebih) dibandingkan kemampuan Hb untuk mengikat O₂.

2. Gas CO₂

Gas CO₂ merupakan gas hasil pembakaran sempurna, dimana semua kandungan karbon (C) terbakar habis oleh gas oksigen menghasilkan gas CO₂.

Gas CO₂ tidak termasuk dalam polusi udara, tetapi akan berdampak pada *global warming*. Hal ini akan menyebabkan naiknya permukaan air laut karena mencairnya es di kutub.

CO₂ merupakan komponen utama dalam gas buang pada pembakaran bahan bakar hidrokarbon. Suatu pembakaran yang menyebabkan terbentuknya CO₂ terjadi jika C dalam bahan bakar tersebut terbakar habis dengan sempurna, seperti reaksi :



2.9 Hipotesis

Variasi campuran bioetanol dengan bensin akan meningkatkan angka oktan, menyebabkan kemungkinan detonasi dapat diperkecil, maka pembakaran spontan dapat dihindari, sehingga unjuk kerja motor bakar bensin 4 langkah akan berubah.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian :

- ❖ Eksperimental yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk mencari data sebab-akibat melalui eksperimen sehingga didapatkan data empiris.
- ❖ Metode literatur yaitu data akan didapat dari berbagai sumber literatur sesuai dengan pembahasan dari penelitian.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah putaran mesin bensin sebesar 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari nilai variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah Torsi (T), Daya Efektif (PS), Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (Kg/PS.Jam), efisiensi termal efektif (η_{te}), gas buang CO dan CO₂ (%).

3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dikonstantakan pada waktu penelitian. Variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah bukaan *throttle* yaitu 20%, persentase campuran bahan bakar bioetanol ketela pohon dengan bensin sebesar 0% bioetanol 100% bensin, 5% bioetanol 95% bensin, 10% bioetanol 90% bensin, 15% bioetanol 85% bensin, 20% bioetanol 80% bensin, 25% bioetanol 75% bensin.

3.3 Bahan dan Peralatan yang Digunakan

3.3.1 Bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bioetanol yang berasal dari ketela pohon melalui proses transesterifikasi : ± 6 liter.
2. Bensin : ± 30 liter.

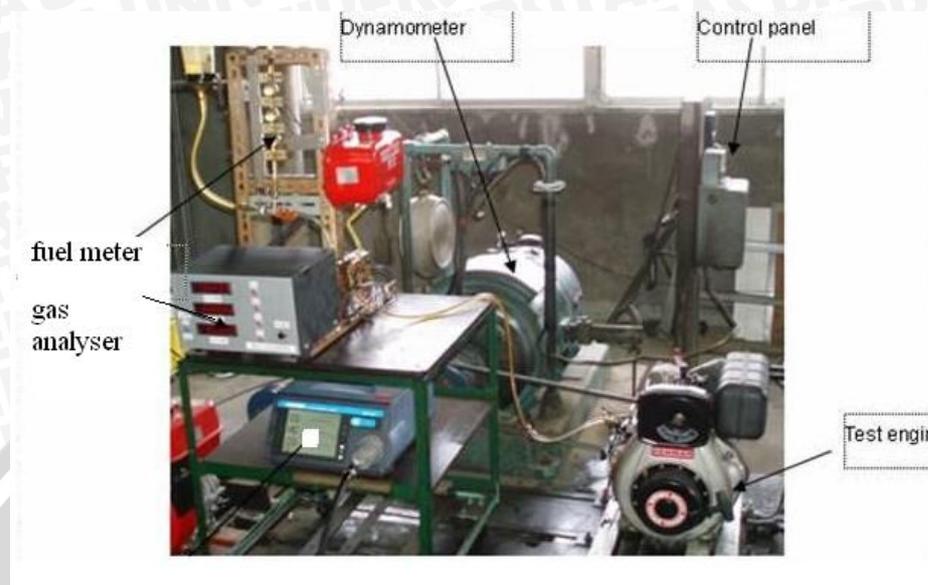
3.3.2 Peralatan yang digunakan

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Motor bakar bensin empat langkah dengan spesifikasi sebagai berikut :
 - Siklus : 4 langkah
 - Jumlah silinder : 4
 - Volume langkah torak : 1567 cm^2
 - Diameter silinder : 78 mm
 - Panjang langkah torak : 82 mm
 - Perbandingan kompresi : 9 : 1
 - Pendinginan : air
 - Daya poros : 80 HP/5000 rpm
 - Merk : Datsun
 - Model : GWE – 80-100-HS-AV
 - Negara pembuat : Jepang
2. *Gas analyzer* berfungsi untuk mengukur kadar gas buang.
3. *Tachometer* berfungsi untuk mengukur kecepatan putaran poros mesin. Satuan yang digunakan adalah rpm (*rotation per minute*).
4. *Dynamometer* berfungsi untuk mengukur gaya pengereman pada poros *output*.
5. *Thermometer* berfungsi untuk mengukur suhu ruangan.
6. *Stop watch* berfungsi untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan motor bensin untuk menghabiskan bahan bakar dengan volume tertentu.

3.4 Instalasi Pengujian

Gambar instalasi pengujian ditunjukkan pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 : Instalasi Penelitian

3.5 Prosedur Penelitian

Dalam Penelitian ini, prosedur yang digunakan pada masing-masing alat pengujian adalah sebagai berikut :

3.5.1 Prosedur penelitian pada mesin bensin

1. Persiapan peralatan pengujian.
2. Proses pengambilan data dilakukan dengan menggunakan setiap jenis campuran bahan bakar yaitu 0% bioetanol 100% bensin, 5% bioetanol 95% bensin, 10% bioetanol 90% bensin, 15% bioetanol 85% bensin, 20% bioetanol 80% bensin, 25% bioetanol 75%.
3. Mesin dinyalakan beberapa menit sampai dalam kondisi kerjanya.
4. *Throttle valve* dibuka pada posisi 20 %.
5. Putaran mesin diatur pada putaran 1500 rpm, kemudian diambil data : besar gaya pengereman (kg), waktu yang diperlukan untuk mengkonsumsi bahan bakar (dtk), volume gas CO dan CO₂. Putaran dinaikkan setiap 500 rpm kemudian diambil data seperti pada no.5 sampai pada putaran 3500 rpm.

3.6 Rencana Pengolahan dan Analisa Data

Pada penelitian ini akan dilakukan terlebih dahulu pengambilan data sifat fisik bahan bakar, selanjutnya dilakukan pengujian pada motor bakar bensin 4 langkah dalam bentuk tabel seperti di bawah ini.

Tabel 3.1. Contoh pengambilan data sifat fisik persentase campuran bahan bakar Bioetanol dan bensin.

Presentase Campuran Bahan Bakar	Densitas (kg/m^3)	Viskositas (mm^2/s)	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	Nilai Kalor (kkal/kg)	Index Oktana

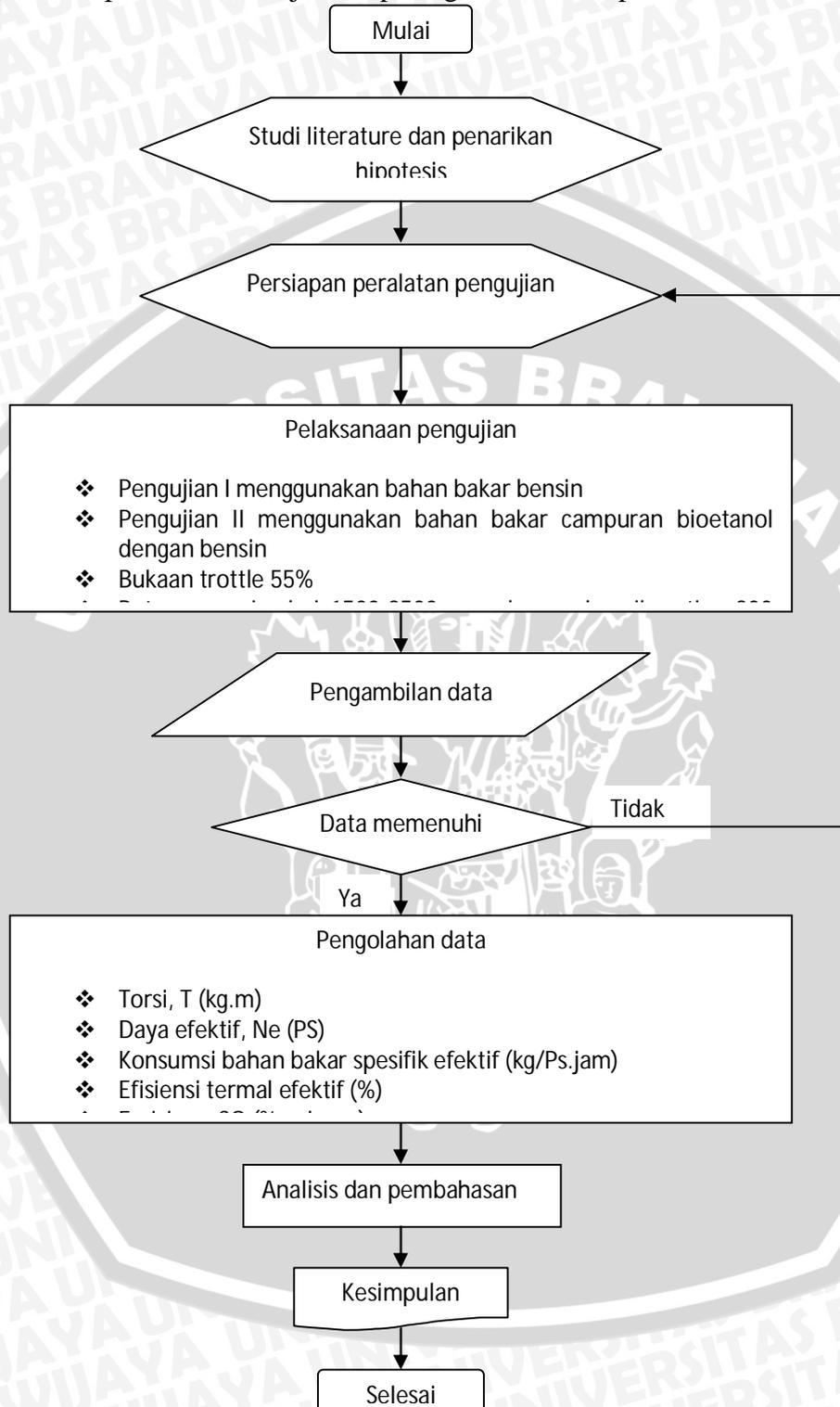
Tabel 3.2. Contoh data hasil pengujian motor bensin 4 langkah dengan menggunakan campuran bahan bakar bioetanol dan bensin

Putaran (rpm)	F (kg)	t (detik)	CO ₂ (%)	CO (%)

Data tersebut akan diolah dan kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga mempermudah dalam mengamati peranan variasi persentase campuran bioetanol dengan bensin sebagai variabel terkontrol terhadap unjuk kerja mesin bensin 4 langkah sebagai variabel terikat dengan putaran mesin sebagai variabel bebas. Adapun rencana grafik yang akan dibuat yaitu grafik hubungan antara variasi persentase campuran bioetanol dan bensin terhadap putaran dengan unjuk kerja yang meliputi : daya indikasi, torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, gas buang CO dan CO₂.

3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada gambar 3.2, seperti dibawah ini.



Gambar 3.2 : Diagram alir penelitian

BAB IV

OLAH DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Untuk bisa menghitung unjuk kerja perlu data yang mendukung hal tersebut. Jenis data yang langsung bisa diambil dari penelitian ini adalah data awal, karena tidak dapat digunakan secara langsung untuk menemukan angka dari unjuk kerja berupa torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif. Data tersebut diperoleh dengan mengatur besarnya putaran motor (rpm) dari motor bensin 4 langkah dan bukaan *throttle* sebesar 20%. Data awal yang didapat, rangkumannya terlihat pada tabel 4.1, tabel 4.2, tabel 4.3, tabel 4.4, tabel 4.5, tabel 4.6, tabel 4.7.

Tabel 4.1. Data sifat fisik persentase campuran bahan bakar bioetanol dan bensin

Presentase Campuran Bahan Bakar (%)	Densitas (kg/ltr)	Nilai kalor (kkal/kg)	Viskositas (m^2/s)	Indeks Oktan
0	0,7195	11312,871	1,26E-06	88,0
5	0,7205	11310,453	1,21E-06	90,6
10	0,7264	11291,920	1,06E-06	93,3
15	0,7293	11282,136	6,84E-07	94,8
20	0,7332	11270,153	5,16E-07	96,5
25	0,7362	11261,202	4,27E-07	98,2

Dari hasil pengujian motor bensin 4 langkah pada kondisi sebagai berikut:

1. Pengujian : Variasi putaran (1500 rpm-3500 rpm)
2. Buka *Throttle* : 20 %
3. Volume bahan bakar (b) : 30 ml

Didapat hasil data sebagai berikut:

Tabel 4.2. Data hasil pengujian dengan campuran bahan bakar 0 % bioetanol
100% bensin

n (rpm)	F (kg)	t (secon)	CO (% vol)	CO ₂ (% vol)
1500	18,5	20,85	2,451	7,84
	18,5	20,81	2,272	7,84
	18,5	20,77		
2000	19	17,1	2,257	9,04
	19	17,06	2,292	9,02
	19	17,03		
2500	19	15,11	1,914	9,8
	19	15,23	2	9,79
	19	15,18		
3000	10	14,18	1,694	9,99
	10	14,33	1,748	9,89
	10	14,16		
3500	2,5	13,74	1,385	10,43
	3	13,66	1,425	10,05
	3	13,58		

Tabel 4.3. Data hasil pengujian dengan campuran bahan bakar 5% bioetanol 95% bensin

n (rpm)	F (kg)	t (secon)	CO (% vol)	CO ₂ (% vol)
1500	18	21,69	1,18	7,8
	18	21,16	1,238	7,85
	18	21,39		
2000	19,5	17,67	1,209	8,65
	19,5	17,72	1,072	8,67
	19	17,84		
2500	19	16	1,152	9,81
	19,5	16,04	1,082	9,72
	19,5	15,93		
3000	10,5	15,67	1,005	9,84
	10,5	15,62	0,976	9,8
	10,5	15,8		
3500	3	15,08	0,529	10,03
	3	14,83	0,658	10,02
	3	14,92		

Tabel 4.4. Data hasil pengujian dengan campuran bahan bakar 10% bioetanol 90% bensin

n (rpm)	F (kg)	t (secon)	CO (% vol)	CO ₂ (% vol)
1500	18,5	21,85	0,706	7,72
	18,5	21,71	0,674	7,99
	18,5	21,57		
2000	19	18,33	0,687	9,04
	19	18,39	0,692	9,32
	19	18,31		
2500	19,5	18,35	0,642	9,44
	20	18,04	0,645	9,51
	20	18,17		
3000	13	16,19	0,489	10,51
	13	16,17	0,665	10,38
	13,5	16,19		
3500	2,5	15,84	0,328	10,57
	3	15,82	0,361	10,51
	3	16,01		

Tabel 4.5. Data hasil pengujian dengan campuran bahan bakar 15% bioetanol 85% bensin

n (rpm)	F (kg)	t (secon)	CO (% vol)	CO ₂ (% vol)
1500	18,5	21,66	0,57	8,48
	18,5	21,48	0,576	8,14
	18	21,29		
2000	19,5	18,4	0,557	9,29
	19,5	18,46	0,573	9,09
	20	18,69		
2500	19,5	17,47	0,419	9,42
	19,5	18,23	0,401	9,56
	19,5	17,73		
3000	14	16,02	0,333	9,95
	14	16,8	0,355	9,94
	14	16,64		
3500	2,5	15,68	0,166	10,6
	2,5	15,21	0,226	10,47
	2,5	16,06		

Tabel 4.6. Data hasil pengujian dengan campuran bahan bakar 20% bioetanol 80% bensin

n (rpm)	F (kg)	t (secon)	CO (% vol)	CO ₂ (% vol)
1500	18,5	22,81	0,319	8,91
	19	22,69	0,297	9,01
	19	22,89		
2000	19,5	18,65	0,266	9,38
	19,5	19,73	0,26	9,23
	19,5	18,76		
2500	20	18,85	0,256	10,39
	20	17,37	0,262	10,42
	20	17,62		
3000	15	17,49	0,221	10,41
	15	16,95	0,234	10,43
	15	16,34		
3500	2	16,67	0,088	11,42
	2,5	15,73	0,11	10,29
	2,5	15,74		

Tabel. 4.7. Data hasil pengujian dengan campuran bahan bakar 25% bioetanol 75% bensin

n (rpm)	F (kg)	t (secon)	CO (% vol)	CO ₂ (% vol)
1500	18,5	22,61	0,287	8,03
	18,5	22,59	0,27	8,32
	18,5	23,08		
2000	19	19,43	0,215	9,45
	19	18,49	0,206	10,23
	19	19,05		
2500	19,5	18,28	0,163	9,63
	20	18,09	0,164	9,67
	19,5	18,12		
3000	14	17,69	0,166	10,16
	15,5	16,92	0,151	10,17
	15,5	17,66		
3500	2,5	16,05	0,098	10,67
	2,5	16,75	0,106	10,65
	2,5	16,56		

4,1,1 Olah Data

Karena data yang diperoleh hanya berupa data awal, agar nilai unjuk kerja berupa torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif dapat dihitung maka harus diolah menggunakan rumus-rumus yang sudah diuraikan di dalam Bab II. Sebagai contoh perhitungan diambil data pengujian untuk kondisi mesin standar pada campuran 0 % bioetanol dan 100 % bensin pada putaran 1500 rpm. Data-data tersebut adalah sebagai berikut :

- Putaran mesin = 1500 rpm
- Beban pengereman (F) = 18,5 kg
- Panjang lengan *dynamometer* (L) = 0,358 m
- Waktu konsumsi bahan bakar (30 ml) = 20,81 detik

Perhitungan :

1. Torsi (T)

$$T = F.L$$

$$= 18,5 \times 0,358$$

$$= 6,623 \text{ kg.m}$$

2. Daya Efektif (Ne)

$$Ne = \frac{T.n}{716,2}$$

$$= \frac{6,623 \times 1500}{716,2}$$

$$= 13,871 \text{ PS}$$

3. Daya mekanis (Nf)

$$Nf = \frac{\eta_f \cdot Q_f}{100\%}$$

$$= \frac{29,074 \times 66,840}{100\%}$$

$$= 19,434 \text{ PS}$$

4. Daya Indikasi (Ni)

$$Ni = Ne + Nf$$

$$= 13,871 + 19,434$$

$$= 33,305 \text{ PS}$$

5. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFCe)

$$FC = \frac{b}{t} \times \rho \times \frac{3600}{1000}$$

$$= \frac{30}{20,81} \times 0,7195 \times \frac{3600}{1000}$$

$$= 3,734 \text{ kg/jam}$$

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

$$= \frac{3,734}{13,871}$$

$$= 0,269 \text{ kg/PS.jam}$$



6. Efisiensi Termal Efektif

$$\begin{aligned}\eta_{te} &= \frac{632}{SFCe \cdot QL} \cdot 100\% \\ &= \frac{632}{0,269 \times 11312,87} \times 100\% \\ &= 20,753\%\end{aligned}$$

4.1.2 Hasil Olah Data

Untuk semua data awal, seperti pada tabel 4.1. tabel 4.2 harus diolah dengan mengikuti tahapan seperti pada contoh diatas. Hasil yang diperoleh, semuanya dirangkum dalam bentuk tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil olah data dengan campuran bahan bakar 0% bioetanol 100% bensin.

PUTARAN (rpm)	TORSI (kg/m)	DAYA EFEKTIF (PS)	SFCe (Kg/PS,jam)	η_{te} (%)
1500	6,623	13,871	0,269	6,623
2000	6,802	18,995	0,240	6,802
2500	6,802	23,743	0,216	6,802
3000	3,580	14,996	0,364	3,580
3500	1,014	4,957	1,148	1,014

Tabel 4.9 Hasil olah data dengan campuran bahan bakar 5% bioetanol 95% bensin.

PUTARAN (rpm)	TORSI (kg/m)	DAYA EFEKTIF (PS)	SFCe (Kg/PS,jam)	η_{te} (%)
1500	6,444	13,496	0,269	20,753
2000	6,921	19,328	0,227	24,626
2500	6,921	24,160	0,201	27,741
3000	3,759	15,746	0,315	17,748
3500	1,074	5,249	0,992	5,632

Tabel 4.10 Hasil olah data dengan campuran bahan bakar 10% bioetanol 90% bensin.

PUTARAN (rpm)	TORSI (kg/m)	DAYA EFEKTIF (PS)	SFCe (Kg/PS,jam)	η_{te} (%)
1500	6,623	13,871	0,261	21,484
2000	6,802	18,995	0,225	24,858
2500	7,100	24,785	0,174	32,158
3000	4,714	19,744	0,246	22,796
3500	1,014	4,957	0,996	5,619

Tabel 4.11 Hasil olah data dengan campuran bahan bakar 15% bioetanol 85% bensin.

PUTARAN (rpm)	TORSI (kg/m)	DAYA EFEKTIF (PS)	SFCe (Kg/PS,jam)	η_{te} (%)
1500	6,563	13,746	0,267	20,996
2000	7,041	19,661	0,216	25,892
2500	6,981	24,368	0,181	30,866
3000	5,012	20,994	0,228	24,617
3500	0,895	4,374	1,151	4,868

Tabel 4.12 Hasil olah data dengan campuran bahan bakar 20% bioetanol 80% bensin.

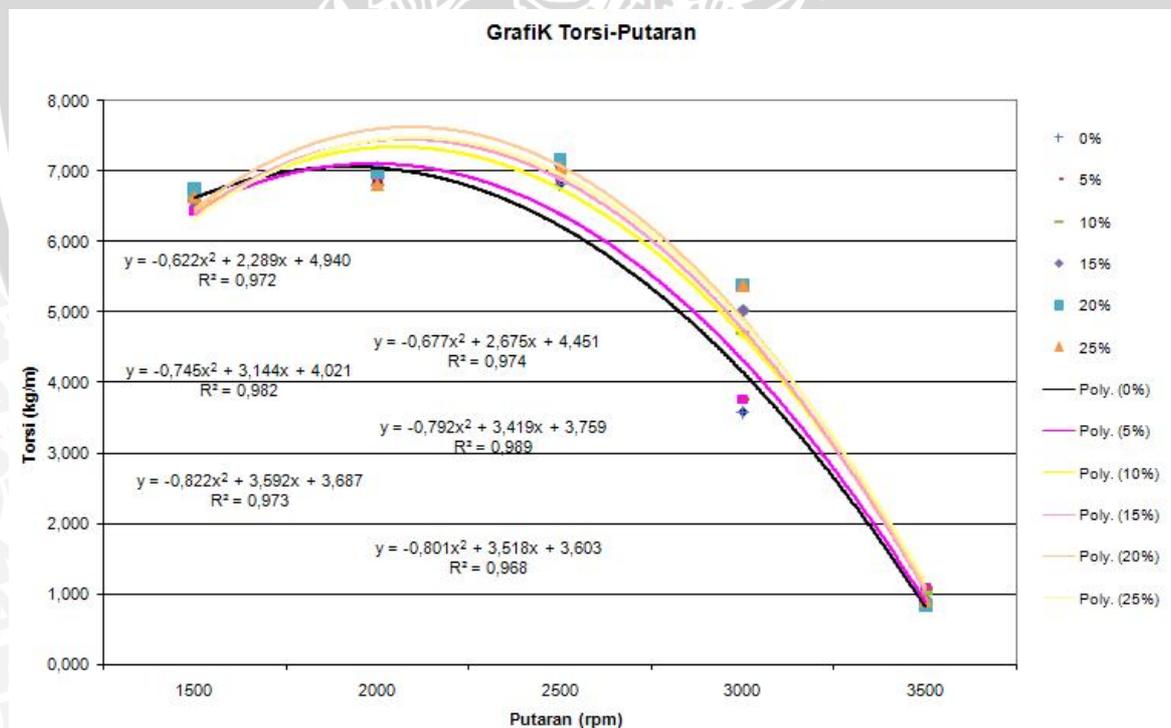
PUTARAN (rpm)	TORSI (kg/m)	DAYA EFEKTIF (PS)	SFCe (Kg/PS,jam)	η_{te} (%)
1500	6,742	14,121	0,246	22,797
2000	6,981	19,495	0,213	26,295
2500	7,160	24,993	0,177	31,765
3000	5,370	22,494	0,208	26,963
3500	0,835	4,082	1,209	4,639

Tabel 4.13 Hasil olah data dengan campuran bahan bakar 25% bioetanol 75% bensin.

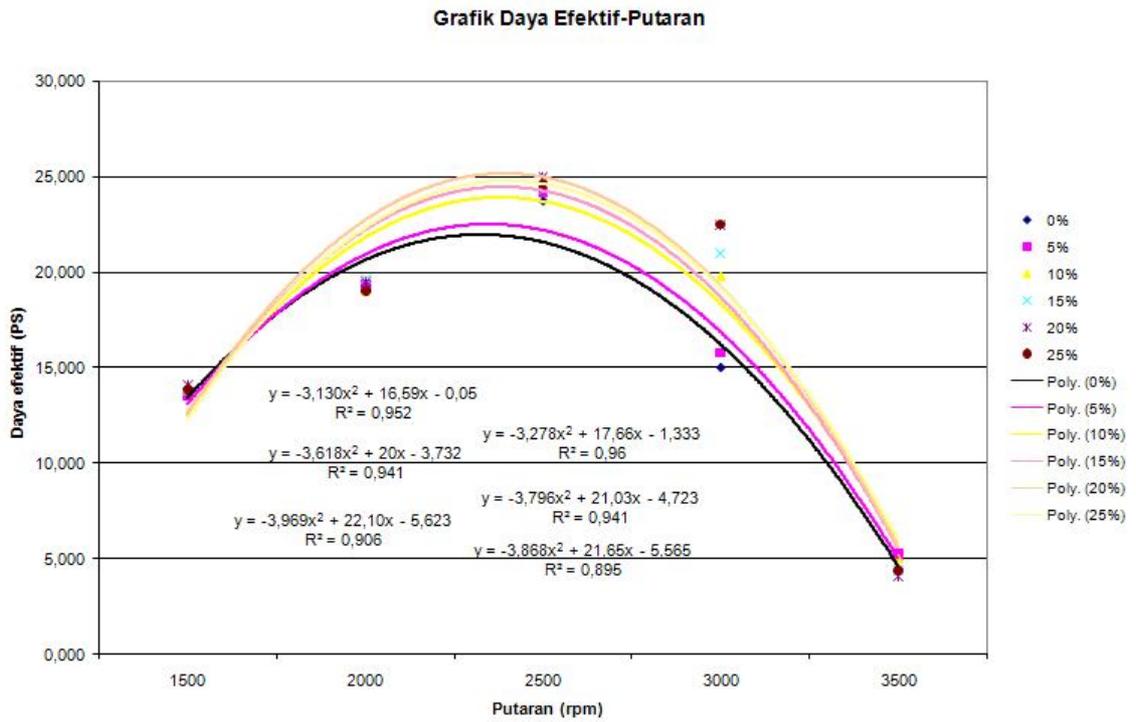
PUTARAN (rpm)	TORSI (kg/m)	DAYA EFEKTIF (PS)	SFCe (Kg/PS,jam)	η_{te} (%)
1500	6,623	13,871	0,252	22,284
2000	6,802	18,995	0,220	25,461
2500	7,041	24,576	0,178	31,509
3000	5,370	22,494	0,203	27,663
3500	0,895	4,374	1,105	5,080

4.1,3 Diagram Hasil Penelitian

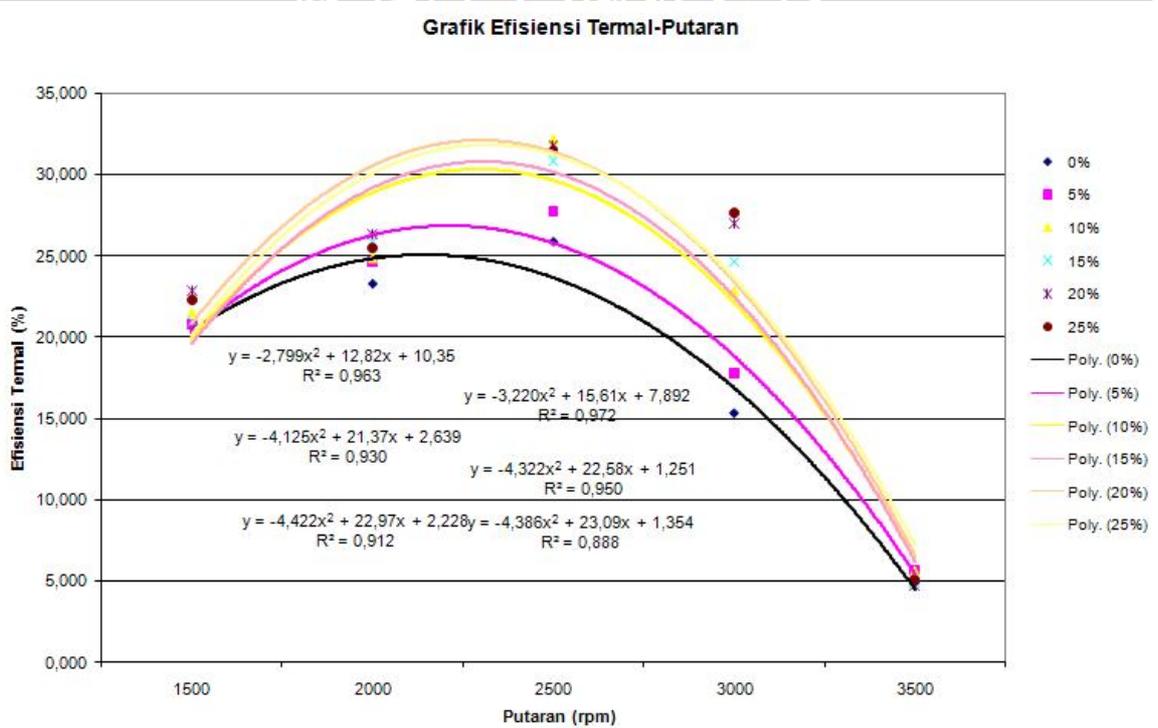
Hasil pengolahan data seperti pada tabel 4.8, tabel 4.9, tabel 4.10, tabel 4.11, tabel 4.12 dan tabel 4.13 serta tabel gas buang pada semua data hasil pengujian diatas akan lebih mudah dibahas apabila diwujudkan dalam bentuk grafik pada gambar 4.1, gambar 4.2, gambar 4.3, gambar 4.4, gambar 4.6.



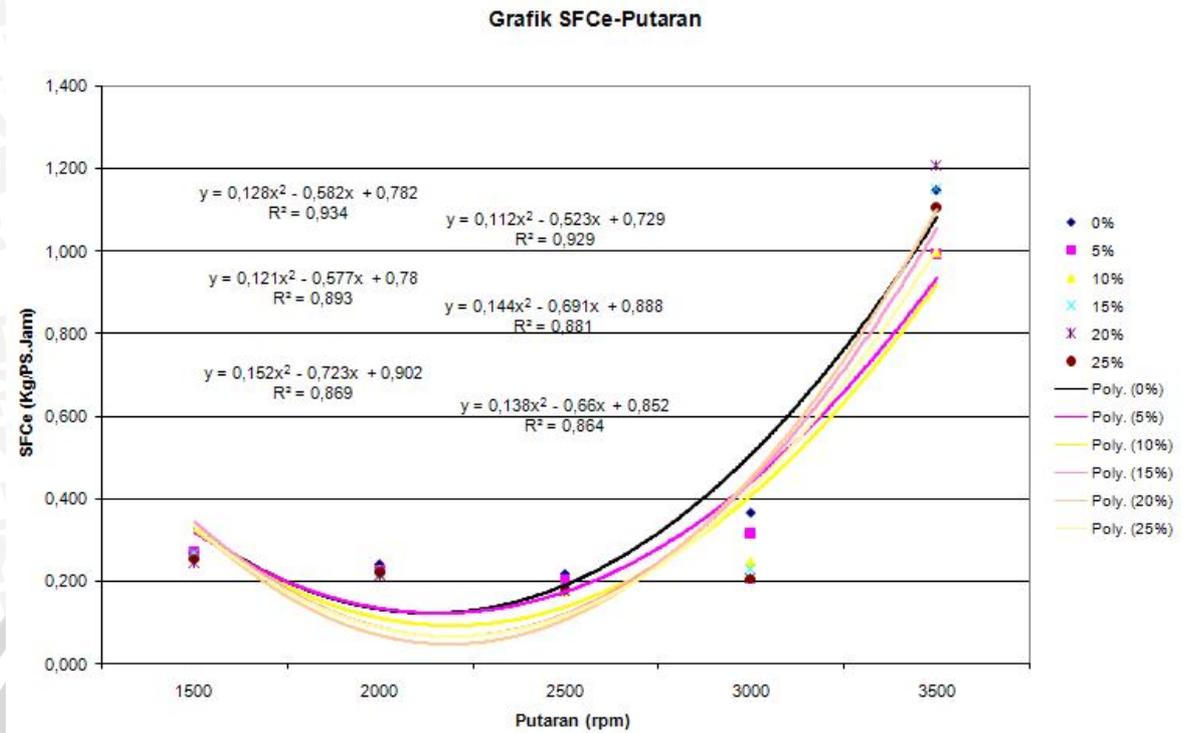
Gambar 4.1 : Grafik Hubungan Torsi-Putaran



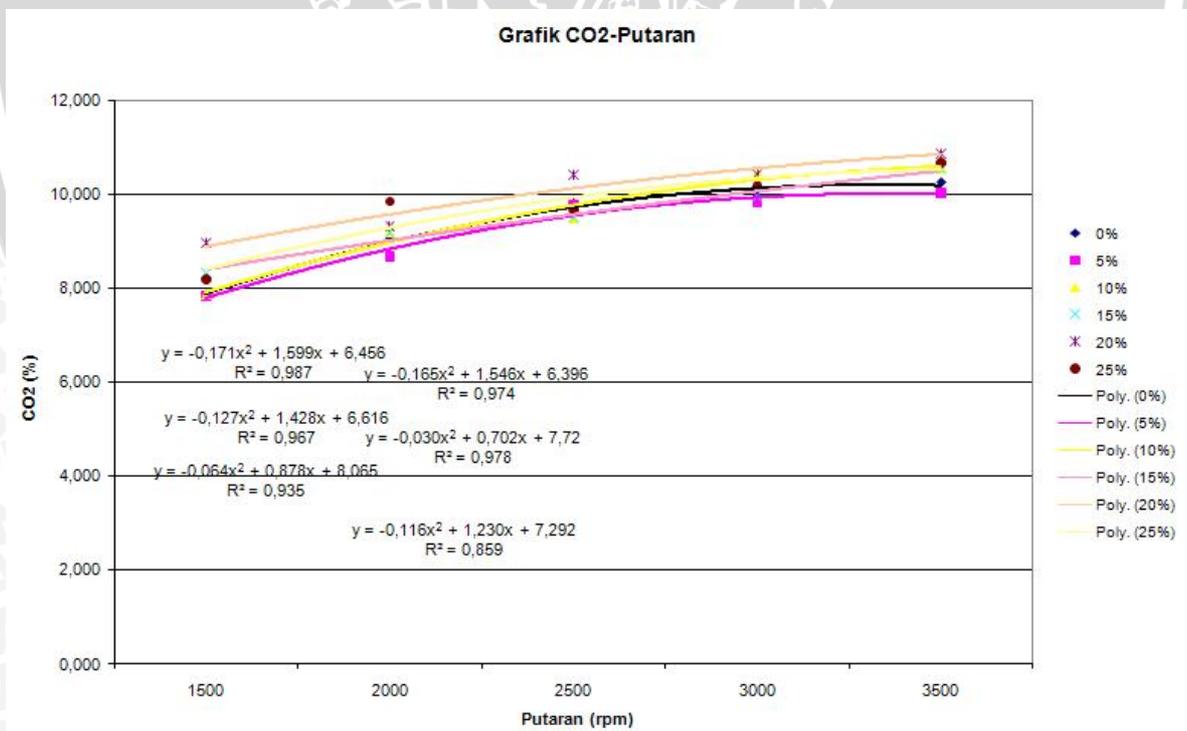
Gambar 4.2 : Grafik Hubungan Daya Efektif-Putaran



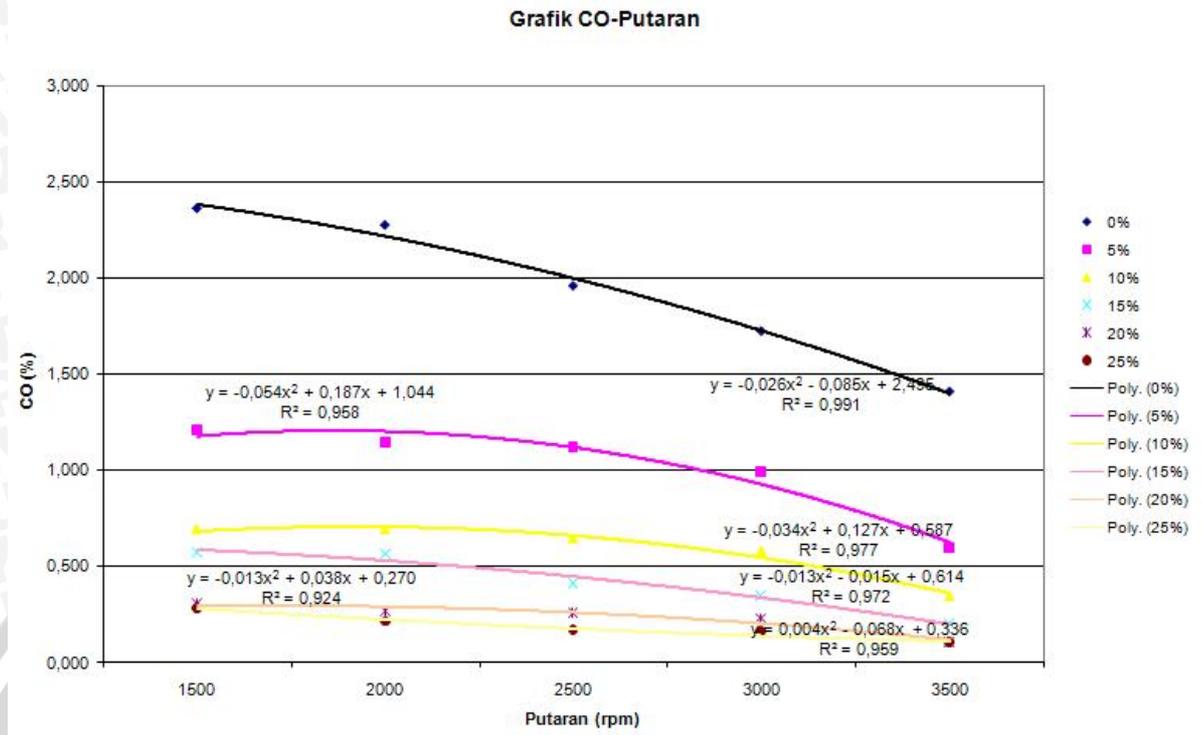
Gambar 4.3 : Grafik Hubungan Efisiensi Termal-Putaran



Gambar 4.4 : Grafik Hubungan SFCE-Putaran



Gambar 4.5 : Grafik Hubungan CO₂-Putaran



Gambar 4.6 : Grafik Hubungan CO-Putaran

4.2 Pembahasan

Pada semua diagram hasil dari tabel olahan data terlihat bahwa unjuk kerja dipengaruhi oleh besarnya putaran, selain itu juga yang mempengaruhi unjuk kerja adalah variasi campuran bioetanol minyak ketela pohon dengan bensin.

4.2.1 Hubungan Torsi terhadap Putaran

Bentuk grafik hubungan torsi dengan putaran mesin adalah parabola dengan puncak. Dari grafik didapat nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan relatif besar yaitu antara 0,972-0,989. Koefisien determinasi adalah suatu alat ukur yang digunakan untuk mengetahui sejauh mana tingkat hubungan antara x dan y, maka semakin besar koefisien determinasi yang terjadi maka akan semakin kuat pula presisi garis regresi.

Secara umum dari gambar grafik 4.1 terlihat bahwa torsi cenderung naik seiring dengan naiknya putaran motor untuk masing-masing komposisi bahan bakar, lalu mengalami penurunan. Terlihat pada putaran 2000 rpm bahwa torsi yang dihasilkan oleh motor dengan menggunakan bahan bakar bensin yang telah

dicampur bioetanol lebih besar daripada torsi yang dihasilkan oleh motor yang sama dengan menggunakan bahan bakar bensin tanpa campuran bioetanol. Hal ini dikarenakan dengan penambahan bioetanol dalam bensin dapat meningkatkan indeks oktan. Dengan meningkatnya indeks oktan, maka pembakaran yang terjadi akan semakin baik. Sehingga dapat mempertahankan gaya pembebanan lebih besar pada putaran tertentu yang akan mempengaruhi besarnya torsi (mengalami peningkatan pula). Sesuai dengan rumus :

$$T=F.L \text{ (kg.m)}$$

Dari gambar grafik 4.1 dapat dilihat bahwa antara putaran 1500 rpm – 2000 rpm. menunjukkan bahwa grafik bahan bakar tanpa campuran, awalnya memiliki torsi yang paling tinggi dibanding dengan bahan bakar lainnya, hal ini karena densitas bahan bakar tanpa campuran nilainya paling kecil dibanding dengan bahan bakar lainnya, semakin besar densitas maka semakin sulit dalam penyalannya, karena semakin besar densitas titik nyala semakin tinggi.

Pada putaran 2000 rpm merupakan torsi maksimum yang dapat dicapai oleh masing-masing bahan bakar, setelah melewati titik ini masing-masing grafik akan cenderung mengalami penurunan. Torsi maksimum terjadi pada saat kompresi udara dan bahan bakar mencapai pada saat titik maksimum, pada saat busi juga mengeluarkan bunga api dan terjadi ledakan yang mendorong torak untuk bergerak ke torsi minimum sambil mengisap udara dan bahan bakar. Grafik torsi maksimum yang tertinggi nilainya adalah grafik bahan bakar dengan campuran 20%.

4.2.2 Hubungan Daya Efektif Terhadap Putaran

Bentuk grafik hubungan daya efektif dengan putaran mesin adalah parabola dengan puncak. Dari grafik didapat nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan relatif besar yaitu antara 0,895-0,952. Koefisien determinasi adalah suatu alat ukur yang digunakan untuk mengetahui sejauh mana tingkat hubungan antara x dan y, maka semakin besar koefisien determinasi yang terjadi maka akan semakin kuat pula presisi garis regresi.

Secara umum pada gambar grafik 4.2 terlihat bahwa daya efektif cenderung naik seiring dengan naiknya putaran motor untuk masing-masing komposisi bahan bakar, lalu mengalami penurunan. Terlihat pada putaran 2000 rpm bahwa daya efektif yang dihasilkan oleh motor dengan menggunakan bahan bakar bensin yang telah dicampur bioetanol lebih besar daripada daya efektif yang dihasilkan oleh motor yang sama dengan menggunakan bahan bakar bensin tanpa campuran bioetanol. Hal ini dikarenakan dengan penambahan bioetanol dalam bensin dapat meningkatkan indeks oktan. Dengan meningkatnya indeks oktan, maka pembakaran yang terjadi akan semakin baik sehingga didapat torsi yang semakin besar, sehingga daya efektif meningkat. Peningkatan tersebut dengan rumus :

$$Ne = \frac{T.n}{716,2} [PS]$$

Dari gambar grafik 4.1 dapat dilihat bahwa antara putaran 1500 rpm – 2000 rpm, menunjukkan bahwa grafik bahan bakar tanpa campuran, awalnya memiliki daya yang paling tinggi dibanding dengan bahan bakar lainnya, hal ini karena densitas bahan bakar tanpa campuran nilainya paling kecil dibanding dengan bahan bakar lainnya, semakin besar densitas maka semakin sulit dalam penyalannya, karena semakin besar densitas titik nyala semakin tinggi. Tetapi semakin naik mendekati 2000 rpm daya yang dihasilkan bahan bakar dengan campuran bioetanol, grafik-grafiknya berada diatas grafik bahan bakar tanpa campuran bioetanol, hal ini karena temperatur penyalan bahan bakar dengan campuran bioetanol telah tercapai, dan seterusnya grafik-grafik bahan bakar dengan campuran selalu diatas grafik bahan bakar tanpa campuran.

Pada putaran 2500 rpm merupakan daya efektif maksimum yang dapat dicapai oleh masing-masing bahan bakar. Grafik maksimum yang dihasilkan daya efektif nilai putarannya lebih besar dibandingkan dengan grafik maksimum yang dihasilkan torsi, hal ini karena secara rumus daya merupakan fungsi dari rpm dan torsi, namun secara grafik kenyataannya torsi lebih dahulu turun dibanding daya. Penurunan torsi pada saat daya maksimum diimbangi peningkatan putaran mesin. Akibatnya perkalian antara torsi dan putaran tetap menghasilkan daya yang tinggi. Setelah melewati titik ini masing-masing grafik akan cenderung mengalami

penurunan. Grafik daya efektif maksimum yang tertinggi nilainya adalah grafik bahan bakar dengan campuran 20%.

4,2.3 Hubungan Efisiensi Termal Efektif Terhadap Putaran

Bentuk grafik hubungan efisiensi termal efektif dengan putaran mesin adalah parabola dengan puncak. Dari grafik didapat nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan relatif besar yaitu antara 0,888-0,972. Koefisien determinasi adalah suatu alat ukur yang digunakan untuk mengetahui sejauh mana tingkat hubungan antara x dan y, maka semakin besar koefisien determinasi yang terjadi maka akan semakin kuat pula presisi garis regresi.

Secara umum pada grafik 4.3 menunjukkan bahwa efisiensi termal efektif cenderung naik seiring dengan naiknya putaran motor untuk masing-masing komposisi bahan bakar, lalu mengalami penurunan. Terlihat pada putaran 2000 rpm bahwa efisiensi termal efektif yang dihasilkan oleh motor dengan menggunakan bahan bakar bensin yang telah dicampur bioetanol lebih besar daripada efisiensi termal efektif dihasilkan oleh motor yang sama dengan menggunakan bahan bakar bensin tanpa campuran bioetanol. Dan dengan bertambahnya putaran maka efisiensi termal efektif juga akan mengalami penurunan. Hal ini disebabkan nilai efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFCe) dan nilai kalor rendah bahan bakar (LHV), seperti pada persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned}\eta_{te} &= \frac{Q_e}{Q_b} = \frac{632 \times N_e}{FC \times LHV} \times 100\% \\ &= \frac{632}{SFCe \times LHV} \times 100\%\end{aligned}$$

Dari gambar grafik 4.3 dapat dilihat bahwa antara putaran 1500 rpm – 2000 rpm, grafik masing-masing bahan bakar cenderung naik, grafik bahan bakar dengan campuran lebih tinggi dari pada grafik tanpa bahan bakar bioetanol. Walaupun nilai LHV dan FC bahan bakar dengan campuran lebih rendah dibandingkan bahan bakar tanpa campuran, akan tapi nilai dari torsi bahan bakar dengan campuran lebih tinggi dari pada bahan bakar tanpa campuran karena daya mekanis bahan bakar dengan campuran lebih rendah dari pada daya mekanis bahan bakar tanpa campuran dan daya indikasi dari bahan bakar dengan campuran lebih tinggi dari pada daya indikasi bahan bakar tanpa campuran,

karena pembakaran bahan bakar dengan campuran yang lebih baik karena pengaruh tingginya nilai indeks oktan bahan bakar dengan campuran.

Pada putaran 2500 rpm merupakan efisiensi termal efektif maksimum yang dapat dicapai oleh masing-masing bahan bakar. Setelah melewati ini masing-masing grafik akan cenderung mengalami penurunan. Grafik efisiensi termal efektif maksimum yang tertinggi nilainya adalah grafik bahan bakar dengan campuran 20%.

4.2.4 Hubungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif Terhadap Putaran

Bentuk grafik hubungan SFC_e dengan putaran mesin adalah parabola dengan lembah. Dari grafik didapat nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan relatif besar yaitu antara 0,864-0,934. Koefisien determinasi adalah suatu alat ukur yang digunakan untuk mengetahui sejauh mana tingkat hubungan antara x dan y, maka semakin besar koefisien determinasi yang terjadi maka akan semakin kuat pula presisi garis regresi.

Secara umum dari gambar grafik 4.4 dapat dijelaskan bahwa konsumsi bahan bakar spesifik efektif cenderung naik seiring dengan naiknya putaran motor untuk masing-masing komposisi bahan bakar. Terlihat pada putaran 2000 rpm bahwa konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang dihasilkan oleh motor dengan menggunakan bahan bakar bensin yang telah dicampur bioetanol lebih rendah daripada konsumsi bahan bakar spesifik efektif yang dihasilkan oleh motor yang sama dengan menggunakan bahan bakar bensin tanpa campuran bioetanol. Hal ini dikarenakan waktu pembakaran bahan bakar bioetanol lebih lama dibandingkan dengan bensin tanpa campuran, sehingga bahan bakar bioetanol nilai konsumsi bahan bakar spesifik efektifnya lebih rendah. Sesuai dengan persamaan:

$$FC = \frac{b}{t} \cdot \rho \cdot \frac{3600}{1000} [kg \cdot jam^{-1}]$$

$$SFC_e = \frac{FC}{Ne} [kg \cdot PS^{-1} \cdot jam^{-1}]$$

Dari gambar grafik 4.4 dapat dilihat bahwa antara putaran 1500 rpm – 2000 rpm, grafik masing-masing bahan bakar cenderung turun dengan nilai bahan bakar tanpa campuran paling tinggi. Hal ini karena SFC_e berbanding terbalik dengan nilai daya efektif, dalam bahan bakar dengan campuran nilai FC lebih

kecil dibandingkan nilai FC bahan bakar tanpa campuran, sedangkan nilai daya efektif bahan bakar dengan campuran lebih besar dibandingkan bahan bakar tanpa campuran.

Antara putaran putaran 2500 rpm merupakan daerah SFCE minimum yang dapat dicapai oleh masing-masing bahan bakar. Nilai SFCE adalah indikasi seberapa banyak konsumsi bahan bakar jika dibandingkan dengan daya yang dihasilkan, dengan konsumsi bahan bakar yang sama tapi bahan bakar dengan campuran lebih tinggi menghasilkan daya. Setelah melewati daerah ini masing-masing grafik akan cenderung mengalami kenaikan. Grafik SFCE minimum yang terendah nilainya adalah grafik bahan bakar dengan campuran 20%.

Bentuk grafik dari SFCE berbeda dengan semua grafik unjuk kerja, hal ini karena semakin tinggi putaran maka konsumsi bahan bakar akan semakin boros, hal ini karena fungsi dari buka tutup katup buang dan katup isap kerjanya terlalu cepat. Ketika pembakaran belum selesai katup buang sudah terbuka sehingga bahan bakar yang belum terbakar terbuang.

4.2.5 Hubungan gas buang CO₂ Terhadap Putaran

Bentuk grafik hubungan CO₂ dengan putaran mesin adalah garis parabola dengan nilai puncak. Dari grafik didapat nilai koefisien determinasi (R^2) yang dihasilkan relatif besar yaitu antara 0,859-0,987. Koefisien determinasi adalah suatu alat ukur yang digunakan untuk mengetahui sejauh mana tingkat hubungan antara x dan y, maka semakin besar koefisien determinasi yang terjadi maka akan semakin kuat pula presisi garis regresi.

Secara umum dari grafik 4.5 terlihat bahwa pada putaran 1500 rpm - 3500 rpm kandungan CO₂ dalam gas buang yang dihasilkan cenderung meningkat seiring bertambahnya putaran, hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran campuran bahan bakar dengan udara akan mendekati dari campuran homogen yaitu campuran yang dapat menghasilkan pembakaran sempurna sehingga kandungan CO dalam gas buang yang dihasilkan semakin kecil.

Dari grafik dapat dilihat bahwa nilai dari kadar CO₂ bahan bakar dengan campuran sebgaiian besar lebih tinggi dari pada nilai kadar CO₂ tanpa campuran, hal ini karena semakin meningkatnya pembakaran bahan bakar dengan campuran

yang terjadi semakin baik sehingga akan menghasilkan C yang akan terbakar habis oleh oksigen yang kemudian menjadi CO₂.

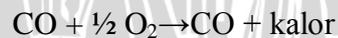
Kandungan kadar CO₂ yang tertinggi adalah pada grafik bahan bakar dengan campuran 20%, hal ini sesuai dengan kondisi performa mesin, dimana bahan bakar dengan campuran 20% menghasilkan unjuk kerja paling optimal.

4.2.6 Hubungan Kandungan CO Terhadap Putaran

Bentuk grafik hubungan CO dengan putaran mesin adalah garis parabola dengan nilai puncak. Dari grafik didapat nilai koefisien determinasi (R²) yang dihasilkan relatif besar yaitu antara 0,924-0,991. Koefisien determinasi adalah suatu alat ukur yang digunakan untuk mengetahui sejauh mana tingkat hubungan antara x dan y, maka semakin besar koefisien determinasi yang terjadi maka akan semakin kuat pula presisi garis regresi.

Antara putaran 2500 rpm - 3500 rpm grafik kandungan CO bahan bakar dengan campuran cenderung turun, hal ini disebabkan karena semakin tinggi putaran campuran bahan bakar dengan udara akan mendekati dari campuran homogen yaitu campuran yang dapat menghasilkan pembakaran sempurna sehingga emisi gas CO yang dihasilkan semakin kecil.

Dari grafik dapat dilihat bahwa grafik bahan bakar dengan campuran nilainya kadar CO nya dibawah bahan bakar tanpa campuran. Adanya CO menunjukkan kerugian energi kimia yang tidak secara penuh digunakan atau dibakar dengan mesin. CO adalah bahan bakar yang dapat dibakar lagi untuk menghasilkan energi panas, sesuai dengan reaksi :



Sehingga semakin tinggi kadar bioetanol dalam campuran bahan bakar akan membuat proses pembakaran pembakaran menjadi sempurna sehingga mengakibatkan emisi karbon monoksida bahan bakar campuran menjadi rendah.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan, bahwa pencampuran bioetanol dengan bensin memiliki peranan terhadap unjuk kerja motor bakar bensin 4 langkah berupa naiknya torsi, daya efektif, efisiensi termal efektif, dan mampu menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik efektif, serta kandungan CO dalam gas buang.

Pada bahan bakar campuran 20% bioetanol didapat unjuk kerja yang optimum berupa torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, efisiensi termal efektif, dan gas buang kandungan CO₂, sedangkan untuk kadar CO terendah adalah bahan bakar dengan campuran bioetanol 25%.

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis harapkan dari penelitian tentang peranan variasi persentase campuran bioetanol minyak ketela pohon dan bensin terhadap unjuk kerja motor bensin 4 langkah adalah dari penelitian ini bisa dilanjutkan dengan variasi bukaan *throttle*.

DAFTAR PUSTAKA

Arends, BPM., dan Barendschot, H. ,2000, *Motor Bensin*, Penerbit Erlangga Jakarta.

Arismunandar, Wiranto; 2002: *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*; Edisi ke 4; ITB Bandung, Jakarta.

Ekasari, Indriati; 1983: *Teori dan Soal-Soal Kimia*; Pradnya Paramita, Jakarta.

Ferguson, Colin R; 1986: *Internal Combustion Engines*; John Wiley & Sons Inc, Canada.

Petrovsky, N; 1960: *Marine Internal Combustion Engine*; Mir Publishers, Moscow.

Pulkrabek, Willard W; 1997: *Engineering Fundamental of The Internal Combustion Engine*; Prentice Hall International Inc, New Jersey.

Shvetz, I; 1960: *Thermal Engineering*; Peace Publishers, Moscow.

Sushkov, V.V; 1960: *Technical Thermodynamics*; Peace Publishers, Moscow.

<http://www.wikipedia.org>

<http://www.afdc.doe.gov>

[http:// www.energi.lipi.go.id](http://www.energi.lipi.go.id)

