



UNIVERSITAS INDONESIA

**KINERJA MESIN OTTO BERBAHAN BAKAR GASOHOL TERHADAP
TINGKAT HIBRIDITAS YANG OPTIMUM PADA PENGGERAK
HIBRID 2.8 HP**

TESIS

**SENA MAHENDRA
0806424043**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JANUARI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**KINERJA MESIN OTTO BERBAHAN BAKAR GASOHOL TERHADAP
TINGKAT HIBRIDITAS YANG OPTIMUM PADA PENGGERAK
HIBRID 2.8 HP**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister

**SENA MAHENDRA
08064240343**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN KONVERSI ENERGI
DEPOK
JANUARI 2011**

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Sena Mahendra
NPM : 0806424043
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tesis : Kinerja Mesin Otto Berbahan Bakar Gasohol Terhadap Tingkat Hibriditas Yang Optimum Pada Penggerak Hibrid 2.8 HP

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

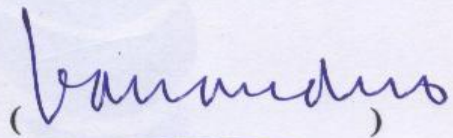
DEWAN PENGUJI

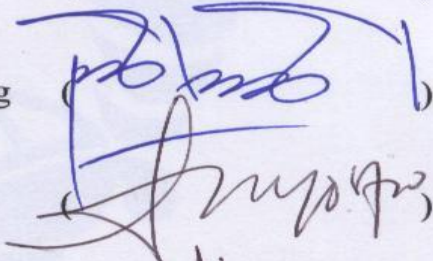
Pembimbing : Dr.Ir.R.Danardono A.S., DEA., PE

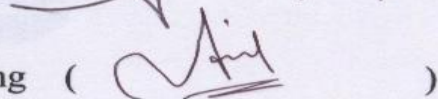
Penguji : Prof.Dr.Ir.Bambang Sugiarto, MEng

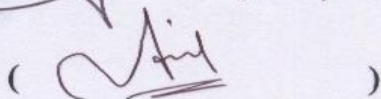
Penguji : Dr.Ir.Adi Suryosatyo, MEng

Penguji : Dr.ArioSunarBaskoro,ST.,MT.,MEng

()

()

()

()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas kasih sayang dan rahmat-Nya yang berlimpah, penulis dapat menyelesaikan tesis dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Penulis menyadari akan sangat sulit untuk menyelesaikan tesis ini tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. R. Danardono Agus S, DEA,PE selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis ini.
2. Dosen dan karyawan jurusan di lingkungan Fakultas Teknik Mesin Universitas Indonesia.
3. Dosen dan karyawan PNJ; Pak Budi Santoso; Pak Budiuwono; Pak Parlan; Pak Mul; atas peminjaman dan pengoperasian peralatan untuk kelancaran pengerjaan tesis ini.
4. Bapak, Ibu dan keluargaku tercinta atas bantuannya baik material dan spiritual sehingga terselesaikannya tesis ini.
5. Rekan-rekan di Universitas Indonesia mahasiswa KE dan Manufaktur; Bayu Aji Girawan, Fahni Mauludi, Romiyadi, Bu Wina, Bu Yeni, Pak Wibawa, Arif Abdullah, Dodi Darsono, Bu Yuyu.
6. Semua pihak terkait yang telah membantu penyusunan tesis ini baik secara moral maupun spiritual.

Semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu, dan semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, Januari 2011

Sena Mahendra

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

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

Nama : Sena Mahendra
NPM : 0806424043
Program Studi : Konversi Energi
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

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 :

Kinerja Mesin Otto Berbahan Bakar Gasohol Terhadap Tingkat Hibriditas Yang Optimum Pada Penggerak Hibrid 2.8 HP

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 : 4 Januari 2011
Yang menyatakan

(Sena Mahendra)

ABSTRAK

Nama : Sena Mahendra
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Kinerja Mesin Otto Berbahan Bakar Gasohol Terhadap Tingkat Hibriditas Yang Optimum Pada Penggerak Hibrid 2.8 HP

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan tingkat hibriditas yang optimum dari sistem penggerak hibrid serial-paralel. Bahan bakar yang digunakan merupakan campuran premium etanol (*gasohol*) 5 % dan 10 % pada berbagai tingkat torsi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada campuran 10 % *gasohol* (*E-10*) terjadi peningkatan tingkat hibriditas. Tingkat hibriditas optimum pada torsi 3,5 Nm menunjukkan peningkatan sebesar 42 %. dan pada torsi yang sama terjadi penurunan konsumsi daya listrik sebesar 10,2 % .Hasil pengujian menggunakan *gasohol* 10% (*E-10*) menunjukkan peningkatan konsumsi bahan bakar sebesar 9%

Kata kunci :
Hibrid, hibriditas, konsumsi bahan bakar, optimum, campuran etanol

ABSTRACT

Nam : Sena Mahendra
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Engine Performance Using Gasoline Ethanol Mixture to Ward Optimum Hybridness on Hybrid Power System 2.8 HP

This research was conducted to determine the optimum of level of hybridity of hybridness power system. The fuel used is a premium mixture with ethanol (*gasohol*) 5% and 10% at various levels of torque. The results show that the mixture of 5% *gasohol* (*E-10*) increase the level of hybridity. The optimum of hybridity level at 3.5 Nm of torque shows an increase of 42%. and at the same torque decrease power consumption 10.2%. The test results using 10% *gasohol* (*E-10*) showed the increased fuel consumption 9%

Key words :
Hybrid, hybridness , fuel consumption, optimum, ethanol mixture

DAFTAR ISI

JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Sistematika penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Etanol	4
2.2. Manfaat Etanol	5
2.3. Harga Premium di Indonesia	8
2.4. Sistem Penggerak Hibrid.....	9
2.3.1. Seri.....	9
2.3.2. Paralel	10
2.3.3. Seri-paralel	10
2.5. Hibriditas (<i>hybridness</i>)	11
2.6. Sistem Penggerak Hibrid Seri-Paralel	12
2.6.1. Motor bensin	12
2.6.1.1. Prinsip Kerja Motor Bensin Empat Langkah	12
a. Langkah Isap (<i>Intake</i>)	12
b. Langkah Kompresi (<i>Compression</i>)	13
c. Langkah Kerja (<i>Work</i>)	13
d. Langkah Buang (<i>Exhaust</i>)	14
2.6.2. Performance Motor Bensin Empat Langkah.....	14
2.6.2.1. Daya dan Torsi	15
2.6.2.2. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC).....	16
2.6.2.3. Nilai Kalor Bahan Bakar	16
2.6.3. Motor Listrik	18
2.7. Elemen-eleme Penerus Daya.....	20
2.7.1. Poros dan Pasak	20
2.7.2. Kopling	20
2.7.3. Rantai dan Sproket.....	21
2.7.4. Puli dan Sabuk.....	22
2.8. Perangkat Pengukuran	22
2.8.1. <i>Dynamometer</i>	23

2.8.2. <i>Electrtonic Tachometer</i>	24
2.8.3. <i>Torque Measuring Unit</i>	24
2.8.4. Voltmeter.....	25
2.8.5. Amperemeter.....	26
2.8.6. <i>Voltage Regulator</i>	27
2.8.7. Penyearah Arus AC.....	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.....	28
3.2. Studi Literatur.....	28
3.3. Perancangan dan Pembuatan Aparatus	28
3.4. Bahan dan Alat.....	28
3.4.1. Bahan	28
3.4.2. Alat	29
3.5. Metode Pengumpulan Data	29
3.6. Pengamatan dan Tahap Pengujian	29
3.7. Prosedur Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar	30
3.8. Kalibrasi <i>Dynamometer</i>	31
3.9. Prosedur Pengujian Karakteristik Motor Pembakaran Dalam	34
3.10. Prosedur Pengujian Karakteristik Motor Listrik.....	36
3.11. Diagram Alir Penelitian	38
BAB IV ANALISA DAN HASIL PENGUJIAN	39
4.1. Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar.....	39
4.2. Pengujian Performance Motor Pembakaran Dalam	41
4.2.1. Torsi	42
4.2.2. Daya	45
4.2.3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC).....	47
4.3. Pengujian Karakteristik Motor Listrik	50
4.3.1. Efisiensi Motor Listrik	50
4.4. Pengujian Hibriditas Optimal	52
4.4.1. Torsi 1,5 Nm.....	54
4.4.2. Torsi 2,5 Nm	60
4.4.3. Torsi 3,5 Nm	65
4.5. Analisa Ekonomi.....	71
4.5.1. Analisa Perhitungan Harga <i>Gasohol E-5</i> dan <i>Gasohol E-10</i>	71
4.5.2. Analisa Perhitungan Biaya Konsumsi Daya Terhadap Hibriditas	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	75
5.1. Kesimpulan	75
5.2. Saran	76

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Sistem Hibrid Seri	9
Gambar 2.2.	Sistem Hibrid Paralel	10
Gambar 2.3.	Sistem Hibrid Seri-Paralel	12
Gambar 2.4.	Langkah Isap (<i>intake</i>).....	12
Gambar 2.5.	Langkah Kompresi	13
Gambar 2.6.	Langkah Kerja (<i>work</i>)	13
Gambar 2.7.	Langkah Buang.....	14
Gambar 2.8.	Motor DC Sederhana	19
Gambar 2.9.	Kopling Cakar	20
Gambar 2.10.	Kopling Friwil	21
Gambar 2.11.	Rantai dan Sproket	21
Gambar 2.12.	Puli dan Sabuk	22
Gambar 2.13.	<i>Dynamometer</i>	23
Gambar 2.14.	<i>Electric Generator/Motor Dynamometer</i> Tampak Samping Kanan.....	23
Gambar 2.15.	<i>Electric Generator/Motor Dynamometer</i> Tampak Atas	23
Gambar 2.16.	<i>Electronic Tachometer</i>	24
Gambar 2.17.	<i>Electric Generator/Motor Dynamometer</i>	24
Gambar 2.18.	Voltmeter	25
Gambar 2.19.	Amperemeter	26
Gambar 2.20.	<i>Voltage Regulator</i>	27
Gambar 2.21.	Panel Penyearah Arus.....	27
Gambar 3.1.	Bom Kalorimeter	30

Gambar 3.2.	<i>Name Plate Dynamometer</i>	32
Gambar 3.3.	<i>Torque Measuring Unit</i>	33
Gambar 3.4.	Kalibrasi <i>Dynamometer</i>	33
Gambar 3.5.	Skema Pengujian Motor Bakar	35
Gambar 3.6.	<i>Name Plat</i> Motor Listrik	36
Gambar 3.7.	Skema Pengujian Motor Listrik.....	36
Gambar 3.8.	Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 4.1.	Grafik Hasil Pengujian Bom Kalorimeter	41
Gambar 4.2.	Grafik Torsi vs Putaran	44
Gambar 4.3.	Grafik Daya vs Putaran	46
Gambar 4.4.	Grafik SFC vs Putaran.....	49
Gambar 4.5.	Grafik Daya Poros vs Konsumsi Listrik.....	51
Gambar 4.6.	Grafik Torsi dan Daya Poros Terhadap Putaran.....	52
Gambar 4.7.	Grafik Hubungan Hibriditas vs Konsumsi Daya Dengan Pemakaian Premium Pada Motor Bakar Pada Torsi 1,5 Nm	57
Gambar 4.8.	Grafik Hubungan Hibriditas vs Konsumsi Daya Dengan Pemakaian <i>Gasohol E-5</i> Pada Motor Bakar Pada Torsi 1,5 Nm.....	58
Gambar 4.9.	Grafik Hubungan Hibriditas vs Konsumsi Daya Dengan Pemakaian <i>Gasohol E-10</i> Pada Motor Bakar Pada Torsi 1,5 Nm.....	58
Gambar 4.10.	Grafik Hubungan Hibriditas vs Konsumsi Daya Dengan Pemakaian Premium Pada Motor Bakar Pada Torsi 2,5 Nm .	63
Gambar 4.11.	Grafik Hubungan Hibriditas vs Konsumsi Daya Dengan Pemakaian <i>Gasohol E-5</i> Pada Motor Bakar Pada Torsi 2,5 Nm.....	63
Gambar 4.12.	Grafik Hubungan Hibriditas vs Konsumsi Daya Dengan Pemakaian <i>Gasohol E-10</i> Pada Motor Bakar Pada Torsi 2,5 Nm.....	64

Gambar 4.13. Grafik Hubungan Hibriditas vs Konsumsi Daya Dengan Pemakaian Premium Pada Motor Bakar Pada Torsi 3,5 Nm .	68
Gambar 4.14. Grafik Hubungan Hibriditas vs Konsumsi Daya Dengan Pemakaian <i>Gasohol E-5</i> Pada Motor Bakar Pada Torsi 3,5 Nm.....	69
Gambar 4.15 Grafik Hubungan Hibriditas vs Konsumsi Daya Dengan Pemakaian <i>Gasohol E-10</i> Pada Motor Bakar Pada Torsi 3,5 Nm.....	69



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Sifat-sifat Bahan Bakar Dari Bioetanol (Etanol), <i>Gasoline</i> dan Butil Eter	6
Tabel 2.2.	Perbandingan Harga Premium di Amerika Serikat Dengan Indonesia	9
Tabel 3.1.	Tabel Spesifikasi Motor Bakar	34
Tabel 4.1.	Data Hasil Pengujian dan Perhitungan Bom Kalorimeter	40
Tabel 4.2.	Data Hasil Pembacaan Unit Instrumentasi Untuk Bahan Bakar Premium Pada Putaran Yang Bervariasi	42
Tabel 4.3.	Data Hasil Pembacaan Unit Instrumentasi Untuk Bahan Bakar <i>Gasohol E-5</i> Pada Putaran Yang Bervariasi	43
Tabel 4.4.	Data Hasil Pembacaan Unit Instrumentasi Untuk Bahan Bakar <i>Gasohol E-10</i> Pada Putaran Yang Bervariasi	43
Tabel 4.5.	Data Hasil Pengujian Torsi Pada Setiap Variasi Bahan Bakar .	44
Tabel 4.6.	Hasil Perhitungan Daya	46
Tabel 4.7.	Hasil Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik	49
Tabel 4.8.	Efisiensi Rata-rata Motor Listrik	51
Tabel 4.9.	Hasil Rata-rata Pengujian Sistem Hibrid Pada Torsi 1,5 Nm ..	55
Tabel 4.10.	Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Motor Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar Premium	56
Tabel 4.11.	Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Motor Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar <i>Gasohol E-5</i>	56
Tabel 4.12.	Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Motor Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar <i>Gasohol E-10</i>	56
Tabel 4.13.	Konsumsi Daya Diberbagai Variasi Bahan Bakar Terhadap Hiriditas Optimal Pada Torsi 1,5 Nm.....	59

Tabel 4.14.	Hasil Rata-rata Pengujian Sistem Hibrid Pada Torsi 2,5 Nm...	61
Tabel 4.15.	Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar Premium	62
Tabel 4.16.	Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar <i>Gasohol E-5</i>	62
Tabel 4.17.	Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar <i>Gasohol E-10</i>	62
Tabel 4.18	Konsumsi Daya Diberbagai Variasi Bahan Bakar Terhadap Hiriditas Optimal Pada Torsi 2,5 Nm.....	64
Tabel 4.19.	Hasil Rata-rata Pengujian Sistem Hibrid Pada Torsi 3,5 Nm...	66
Tabel 4.20.	Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar Premium.....	67
Tabel 4.21.	Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar <i>Gasohol E-5</i>	67
Tabel 4.22.	Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar <i>Gasohol E-10</i>	68
Tabel 4.23.	Konsumsi Daya Bahan Bakar dan Konsumsi Daya Listrik Optimum	70
Tabel 4.24.	Analisa Perhitungan Biaya Konsumsi Daya Pada Tingkat Hibriditas Optimal Dengan Bahan Bakar Premium	73
Tabel 4.25.	Analisa Perhitungan Biaya Konsumsi Daya Pada Tingkat Hibriditas Optimal Dengan Bahan Bakar <i>Gasohol E-5</i>	73
Tabel 4.26.	Analisa Perhitungan Biaya Konsumsi Daya Pada Tingkat Hibriditas Optimal Dengan Bahan Bakar <i>Gasohol E-10</i>	73

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Tabel Hasil Pengujian Bom Kalorimeter
- Lampiran 2 : Tabel Hasil Pengujian Motor Bakar
- Lampiran 3 : Tabel Hasil Pengujian Penggerak Hibrid Pada Torsi 1,5
- Lampiran 4 : Tabel Hasil Pengujian Penggerak Hibrid Pada Torsi 2,5
- Lampiran 5 : Tabel Hasil Pengujian Penggerak Hibrid Pada Torsi 3,5
- Lampiran 6 : Foto dokumentasi
- Lampiran 7 : Script Pemrograman



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Harga minyak mentah di pasaran dunia semakin mahal, hal ini dikarenakan banyak hal antara lain berkurangnya cadangan minyak dunia. Mayoritas sarana transportasi menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber utama penghasil energi, sehingga biaya untuk membeli bahan bakar semakin tinggi. Berbagai usaha yang dapat mempengaruhi penghematan pemakaian sumber energi fosil dikembangkan. Salah satunya adalah dengan cara menggunakan sumber energi yang terbarukan. Dalam usaha konservasi energi, salah satu sumber energi terbarukan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang dewasa ini banyak digunakan adalah bahan bakar nabati yaitu bioetanol.

Bioetanol adalah alkohol yang diproduksi dari tumbuh-tumbuhan dengan menggunakan mikroorganisme melalui proses fermentasi. Pengenalan energi alternatif ini juga merupakan upaya untuk mengurangi penggunaan bahan bakar di Indonesia. Bioetanol merupakan bentuk sumber energi alternatif yang menarik untuk dikembangkan karena kelimpahannya di Indonesia dan sifatnya dapat diperbarui. Ada 3 kelompok bahan penghasil bioetanol yaitu nira bergula, pati dan bahan serat alias lignoselulosa. Semua bahan baku bioetanol itu mudah didapatkan dan dikembangkan di Indonesia yang memiliki lahan luas dan subur.

Di Indonesia saat ini, penggunaan etanol sudah digunakan secara luas. Selain sebagai campuran premium, etanol juga digunakan dalam dunia industri sebagai campuran makanan dan minuman, campuran bahan obat-obatan dan sebagainya. Data perkembangan konsumsi etanol dunia dari tahun 1975, menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi terbesar diakibatkan penggunaan etanol sebagai bahan bakar. Negara-negara berkembang yang mengkonsumsi etanol sebagai bahan bakar terutama Brazil, Amerika Serikat, Kanada, Uni Eropa dan Australia berkisar 63-67% dari total penggunaan bahan bakar di dunia.

Penggunaan premium telah menimbulkan emisi berbagai gas yang menjadi polutan berbahaya bagi tubuh manusia. Disamping itu, bahan aditif

timbal yang selama ini digunakan sebagai peningkat oktan (*octan enhancer*) pada premium ikut berkontribusi terhadap pencemaran udara. Penggunaan MTBE (*Methyl Tertiary Buthyl Ether*) sebagai pengganti TEL (*Tetra Ethyl Lead*) merupakan upaya untuk mengurangi pencemaran lingkungan, namun bahan tersebut harus di impor dan penggunaannya sudah mulai dilarang di berbagai negara. Bioetanol dapat menggantikan fungsi dari TEL (*Tetra Ethyl Lead*) dan MTBE (*Methyl Tertiary Buthyl Ether*) sebagai campuran pada premium. Bioetanol memiliki angka oktan 117 atau lebih tinggi dibanding premium yang hanya 88, sehingga campuran premium-etanol secara langsung akan meningkatkan angka oktan.

1.2. Identifikasi Masalah

Konsumsi bahan bakar spesifik pada motor pembakaran dalam dan daya pada motor listrik sangat dipengaruhi oleh beban. Sedangkan beban tidak mungkin dapat dijaga supaya konstan karena kondisi jalan yang bervariasi serta kebutuhan akselerasi. Selain dari pada itu, jenis bahan bakar motor pembakaran dalam juga mempengaruhi kinerja motor pembakaran dalam pada sistem penggerak hibrid tersebut. Riset penggunaan etanol sebagai pencampur bahan bakar fosil telah lama dilakukan diberbagai negara. Etanol sebagai pencampur bahan bakar fosil dapat diperbaharui dengan biaya produksi yang murah dan ramah lingkungan, sehingga tidak dibutuhkan suatu perangkat khusus pada motor pembakaran dalam yang berbahan bakar premium-etanol. Maka dari itu, melalui eksperimen ini juga akan dicari tingkat hibriditas yang optimal pada tiap kondisi beban dengan penambahan etanol sebagai campuran bahan bakar premium pada motor pembakaran dalam.

1.3. Batasan Masalah

Pembahasan dan pengujian yang dilakukan dalam kegiatan eksperimental ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

- Pengujian dilakukan pada temperatur ambien.
- Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar premium produk Pertamina.
- Campuran bahan bakar yang digunakan adalah etanol 99.5 %.

- Kadar etanol pada campuran premium–etanol yang diuji adalah 5 % dan 10 %
- Motor listrik yang digunakan motor listrik DC magnet permanen.
- Pengujian pada motor listrik hanya ditujukan untuk mencari daya poros dan daya yang dikonsumsi oleh motor listrik.
- Penggunaan daya motor pembakaran dalam.
- Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) motor pembakaran dalam.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah membandingkan tingkat hibriditas yang optimum pada tiap beban dari sistem penggerak hibrid dengan bahan bakar premium dan campuran premium-etanol serta prosentase perubahannya.

1.5. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembaca dalam memahami tulisan ini, maka dilakukan pembagian bab berdasarkan isinya yang disusun dalam enam bab. Bab I membahas tentang latar belakang penulisan tesis, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan. Bab II membahas tentang teori yang berhubungan dengan topik penelitian yang dilakukan, yang membahas tentang etanol, motor pembakaran dalam dan motor listrik DC. Bab III membahas tentang metodologi penelitian. Bab IV membahas tentang analisa dan hasil pengujian. Bab V membahas tentang kesimpulan dan saran setelah proses penelitian selesai dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Etanol

Etanol merupakan kependekan dari etil alkohol (C_2H_5OH), sering pula disebut *grain alcohol*, alkohol murni, alkohol absolut, atau alkohol. Wujud dari etanol berupa cairan yang tidak berwarna, mudah menguap dan mempunyai bau khas. Berat jenisnya adalah sebesar 0,7939 g/mL, dan titik didihnya $78,32^{\circ}C$ pada tekanan 766 mmHg. Sifat lainnya adalah larut dalam air dan eter, serta mempunyai panas pembakaran 7093,72 kkal. Etanol digunakan dalam berbagai industri seperti bahan campuran untuk minuman keras (sake atau gin), bahan baku kosmetik, campuran bahan bakar bensin alkohol (*gasohol*) pada motor pembakaran dalam, dan peningkat oktan (Rahman A., 1992).

Pemakaian etanol sebagai sumber energi dalam industri dan kendaraan akan sangat mengurangi emisi gas buang yang mengakibatkan polusi udara dan pemanasan global. Seiring berjalannya waktu, sumber minyak fosil akan habis karena depositnya terbatas. Minyak bumi merupakan sumber energi yang tak terbarukan. Keterbatasan itulah yang mendorong negara-negara berkembang melirik etanol sebagai sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan.

Beberapa keunggulan dari pemakaian etanol sebagai bahan bakar adalah :

1. Diproduksi dari tanaman yang bersifat *renewable*.
2. Mengandung kadar oksigen sekitar 35% sehingga mudah terbakar dengan sempurna.
3. Penggunaan gasohol dapat menurunkan emisi gas rumah kaca.
4. Pembakaran tidak menghasilkan partikel dan benzena yang bersifat *karsinogenik* (penyebab kanker).
5. Mengurangi emisi gas buang yang berbahaya bagi kesehatan manusia.
6. Mudah larut dalam air dan tidak mencemari air permukaan dan air tanah.

(Wayman C. E., 2001)

Proses destilasi dapat menghasilkan etanol dengan kadar 95%, untuk digunakan sebagai bahan bakar perlu lebih dimurnikan lagi hingga mencapai

99,5% yang biasa disebut *Fuel Grade Ethanol* (FGE). Mengingat beraneka ragam penggunaan etanol, maka kadar etanol yang diperlukan harus berbeda sesuai dengan fungsi penggunaannya. Etanol dengan kadar 90-96,5% dapat digunakan pada industri, sedangkan etanol dengan kadar 96-99,5% dapat digunakan sebagai bahan dasar industri farmasi dan campuran miras. Etanol yang digunakan sebagai campuran bahan bakar motor pembakaran dalam harus mempunyai kadar sebesar 99,5-100%, yang artinya etanol benar-benar kering dan *anhydrous* agar tidak korosif. Perbedaan besarnya kadar akan berpengaruh terhadap proses pengolahan karbohidrat menjadi glukosa larut air.

2.2. Manfaat Etanol

Pada dasarnya etanol dapat diperoleh melalui dua cara, yaitu : pertama, etanol yang diperoleh melalui proses fermentasi dengan bantuan mikroorganisme. Kedua, etanol yang diperoleh dari hasil sintesa etilen. Etanol dapat digunakan untuk berbagai keperluan, mulai dari industri minuman, kosmetik dan industri farmasi seperti deterjen, desinfektan dan lain-lain. Selain etanol dikenal pula gasohol, yang merupakan campuran etanol dengan premium yang digunakan sebagai bahan bakar. Negara Brazil, Amerika Serikat, Argentina, Jepang dan lain-lain telah menggunakan bahan bakar alternatif ini untuk digunakan pada kendaraan bermotor (Indartono Y., 2005).

Campuran etanol dan premium dapat divariasikan kadarnya. Misalnya *Gasohol E-5*, yang mengandung 5% etanol dan 95% premium. Kualitas etanol yang digunakan tergolong *fuel grade* etanol yang kadar etanolnya 99%. Etanol mengandung 35% oksigen yang meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Rendahnya biaya produksi etanol karena sumber bahan bakunya merupakan limbah pertanian budidaya yang dapat didapatkan dengan mudah. Dilihat dari proses produksinya juga relatif sederhana dan murah (Indartono Y., 2005).

Keuntungan lain dari etanol adalah nilai oktannya lebih tinggi dari premium sehingga dapat menggantikan fungsi bahan aditif, seperti *Metil Tertiary Butyl Ether* (MTBE) dan *Tetra Ethyl Lead* (TEL). kedua zat aditif tersebut telah dipilih menggantikan timbal pada premium. Etanol absolut memiliki angka oktan

(ON) 117, sedangkan Premium hanya 88. *Gasohol E-10* secara proporsional memiliki ON 92 yang setara dengan Pertamax. Pada komposisi ini etanol dikenal sebagai *octan enhancer* (aditif) yang paling ramah lingkungan di negara-negara maju telah menggunakan *Metil Tertiary Buthyl Ether* (MTBE) dan *Tetra Ethyl Lead* (TEL).

Tabel 2.1 Sifat-sifat bahan bakar dari bioetanol (etanol), *gasoline* dan butil eter.

	Bio-ethanol	ETBE	MTBE	Gasoline
Heating value [MJ/kg]	26.8	36.4	35.0	42
Heating value [MJ/l]	21.3	26.9	25.9	32
Octane number (RON)	108	115-118	113-120	92-96
Density at 15°C [kg/l]	0.79	0.74	0.74	0.76
Viscosity at 20°C [mm ² /s]	1.5	1.5	0.7	0.6
Oxygen content [%]	35	16	18	0-2
Fuel equivalent to gasoline	0.66	0.83	0.80	1.0

Sumber : McCormick. 2001. *Technical Barriers to the Use of Ethanol in Diesel Fuel*.

Konsep ini pada awalnya berasal dari keinginan beberapa ahli untuk mengganti *octan booster* (zat yang dapat menaikkan nilai oktan) dimana pada awalnya *octan booster* yang digunakan adalah senyawa timbal, yang kita kenal dengan TEL (*Tetra Ethyl Lead*), kemudian mengingat timbal yang digunakan tidak begitu aman bahkan membahayakan bagi kesehatan manusia, maka muncullah apa yang kita kenal dengan sebutan MTBE (*Metil Tertiary Buthyl Ether*), dan ada beberapa senyawa *octan booster* lainnya yang berasal dari turunan senyawa aromatik, diperoleh korelasi antara bensin murni dengan bensin yang ditambah (*octan booster*) yaitu diketahui dengan penambahan 0.1 gram timbal per liter *gasoline* mampu menaikkan angka oktan sebesar 1.5-2 satuan angka oktan dan diketahui juga bahwa timbal adalah komponen dengan harga relatif murah untuk kebutuhan peningkatan 1 satuan angka oktan dibandingkan dengan senyawa lainnya. Berdasarkan sifat-sifat fisik dari metanol dan etanol, diperoleh bahwa

etanol lebih disukai dibanding metanol, karena metanol lebih korosif, sukar pada start awal pada kondisi cuaca dingin atau *vapor lock* ketika panas. Oktan metanol dan etanol lebih tinggi dari bensin, sehingga dengan pencampuran bensin dengan metanol dan etanol diharapkan akan menaikkan nilai oktan dari bensin dan diharapkan efisiensi mesin menjadi lebih baik (McCormick, 2001).

Perhitungan berikut menunjukkan bahwa kenaikan angka oktan saja belum tentu menjamin bahwa efisiensi mesin akan lebih baik, berikut analisisnya. Nilai kalor adalah energi yang dilepaskan pada proses pembakaran per-satuan volume atau per-satuan massanya.

$$\text{Efisiensi Thermal Engine} = 1 - (Q_{\text{out}}/Q_{\text{in}}) \quad (2.1)$$

diamana :

Q_{out} = Kalor yang dibuang pada proses *blowdown* diruang bakar mesin.

Q_{in} = Kalor yang masuk ke ruang bakar (terjadi pada proses pembakaran bahan bakar).

Semakin besar nilai Q_{in} maka nilai efisiensi thermal semakin tinggi. Nilai kalor semakin besar maka nilai Q_{in} semakin besar sehingga semakin tinggi tekanan untuk mendorong piston di dalam ruang bakar. (nilai kalor untuk etanol = 29.7 MJ/kg, dan nilai kalor untuk bensin = 47.3 MJ/kg). Hasil perhitungan tersebut diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pada bahan bakar dengan nilai oktan rendah, proses penyalaan terjadi ketika posisi piston berada jauh sebelum TMA (Titik Mati Atas) sehingga arah gerak piston sempat beberapa saat berlawanan dengan arah tekanan gas pembakaran. Setelah melewati TMA, maka arah gerak keduanya menjadi searah dan melakukan kerja positif. Jadi sempat terjadi losses. Proses penyalaan ini terjadi dengan sendirinya karena tekanan yang tinggi di ruang bakar, dikenal dengan istilah *knocking*.
2. Pada bahan bakar dengan nilai oktan tinggi, proses penyalaan bahan bakar terjadi ketika posisi piston mendekati TMA. Oleh karena itu tekanan dari gas pembakaran benar-benar digunakan untuk mendorong piston melakukan kerja positif.

Dengan demikian, etanol yang mempunyai nilai oktan tinggi, tekanan hasil pembakarannya benar-benar digunakan untuk mendorong piston melakukan kerja positif. Etanol dapat langsung dicampur dengan bensin pada berbagai komposisi untuk meningkatkan efisiensi dan emisi gas buang yang lebih ramah lingkungan.

2.3. Harga Premium di Indonesia

Harga premium di Indonesia saat ini Rp 4500/liter. Harga premium tersebut merupakan harga yang telah disubsidi oleh pemerintah. Pada saat ini, harga BBM (Bahan Bakar Minyak) tanpa subsidi terus menurun hingga mendekati harga BBM bersubsidi. Harga jual premium tanpa subsidi di sebagian lokasi pemasaran PT Pertamina dijual seharga Rp 6150/liter pada awal Agustus 2010 (www.wikipedia.org).

Pada Tabel 2.2 berikut ditunjukkan perbandingan harga premium yang dijual di Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) yang ada di Amerika Serikat dengan Indonesia sepanjang tahun 2008. Adapun asumsi yang digunakan adalah:

1. Harga rata-rata premium di AS diambil dari harga tiap bulan pada tahun 2008.
2. Harga premium di konversikan ke rupiah dengan asumsi rata-rata kurs rupiah terhadap dollar adalah sebagai berikut:
 - a. Kurs rupiah dari Januari – September = Rp 9250/dollar.
 - b. Kurs rupiah dari Oktober – Desember = Rp 10800/dollar.
3. Pada bulan Mei, masih menggunakan acuan harga premium dari awal bulan Januari – pertengahan Mei. Kenaikan BBM pada 24 Mei dimasukkan dalam kalkulasi bulan Juni 2008.

Jika harga rata-rata premium di Amerika Serikat pada bulan Mei 2008 sebesar Rp 9342.5/liter, maka selisih harga premium di AS dengan harga premium di Indonesia adalah Rp 4842.5/liter, dimana harga premium di Indonesia sebesar Rp 4500/liter. Selisih antara harga premium di luar negeri dengan di Indonesia inilah yang disebut subsidi pemerintah.

Tabel 2.2 Perbandingan harga premium di Amerika Serikat dengan Indonesia.

Perbandingan 2008	Harga AS		Indonesia
	\$/liter	Rp/liter	Rp/liter
Januari	0.82	7585	4500
Februari	0.81	7492.5	4500
Maret	0.87	8047.5	4500
April	0.93	8602.5	4500
Mei	1.01	9342.5	4500
Juni	1.08	9990	6000
Juli	1.09	10082.5	6000
Agustus	1.01	9342.5	6000
September	1	9250	6000
Oktober	0.85	9180	6000
November	0.58	6264	6000
Desember	0.46	4968	5500

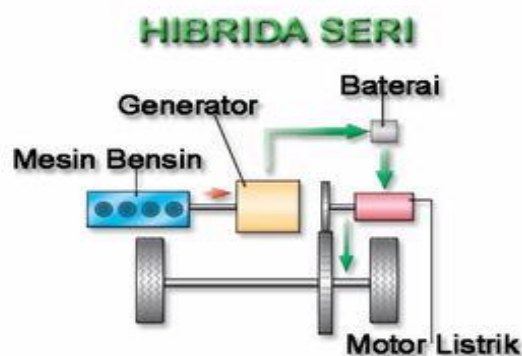
Sumber : www.nusantara-news.com

2.4. Sistem Penggerak Hibrid

Sistem penggerak hibrid berdasarkan metode penerus dayanya secara umum dibagi menjadi 3 jenis yaitu :

2.4.1. Seri

Sistem ini menggunakan mesin hanya sebagai penggerak generator yang akan menghasilkan energi listrik untuk mengisi baterai. Energi listrik dari baterai ini yang akan menyuplai kebutuhan energi motor listrik. Jadi sistem ini murni menggunakan motor listrik sebagai penggerak roda pada kendaraan.

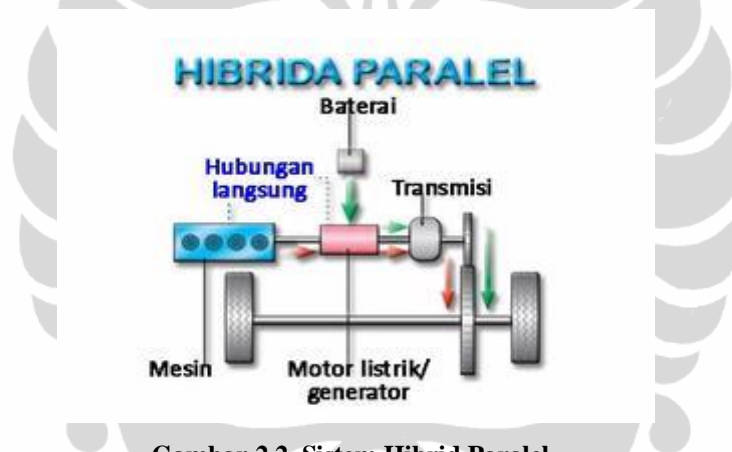


Gambar 2.1. Sistem Hibrid Seri.

Sistem ini menggunakan mesin dengan kapasitas kecil karena mesin hanya digunakan untuk memenuhi tenaga rata-rata motor. Namun karena baterai yang digunakan harus mempunyai kapasitas *discharge* yang besar maka dimensi baterai lebih besar. Begitu juga dengan motor listrik, karena merupakan penggerak roda satu-satunya maka daya yang dibutuhkan juga harus besar yang akibatnya dimensi motor juga menjadi besar.

2.4.2. Paralel

Sistem hibrid paralel menggunakan mesin dan motor listrik secara bersamaan untuk menggerakkan roda. Sistem ini dapat menggunakan baterai dengan dimensi yang lebih kecil karena sebagian tenaga dibantu oleh mesin.



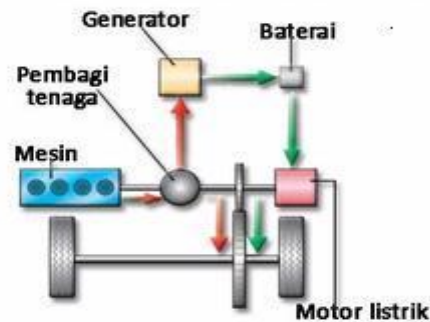
Gambar 2.2. Sistem Hibrid Paralel.

Tujuan dari sistem ini adalah untuk memanfaatkan energi regeneratif. Ketika kebutuhan tenaga tidak terlalu besar maka tenaga mesin akan dimanfaatkan untuk memutar generator untuk mengisi baterai. Pada sistem ini, beberapa kendaraan menggunakan motor listrik yang juga dapat berfungsi sebagai generator (Listijorini, E., & moore, 2010).

2.4.3. Seri-paralel

Sistem ini merupakan gabungan dari sistem hibrid seri dan sistem paralel. Sistem seri-paralel memungkinkan pembagian sumber tenaga menjadi fleksibel dan optimal, sehingga mampu mencapai tingkat efisiensi maupun performa yang lebih baik (Listijorini, E., & moore, 2010).

HIBRIDA SERI-PARALEL



Gambar 2.3. Sistem Hibrid Seri-Paralel

2.5. Hibriditas (*hybridness*)

Gabungan dari dua energi penggerak juga akan mempunyai *mileage* yang lebih baik. Hal ini dikarenakan daya yang dihasilkan merupakan gabungan dari daya ICE dan daya motor listrik. Perbandingan penggunaan daya antara motor listrik dengan ICE disebut hibriditas. Indeks hibriditas ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$H = \frac{\text{Daya motor listrik}}{\text{Daya motor listrik} + \text{Daya motor bakar}} \quad (2.2)$$

Untuk $H = 25$, sistem menggunakan 25 % daya motor listrik dan 75 % daya motor bakar sebagai penggerak. Pada tingkat ini penggunaan daya motor bakar lebih besar dibandingkan daya motor listrik. Pada indeks hibriditas ini sering disebut juga dengan *mild hybrid*. Indeks $H = 50$, sistem menggunakan 50 % daya motor listrik dan 50 % daya motor bakar. Sistem dengan $H = 50$ disebut juga sebagai *full hybrid*. Indeks $H = 75$ berarti sistem menggunakan 75 % daya motor listrik dan 25 % daya motor bakar (Alan Fuhs E., 2009). Penggunaan daya motor listrik lebih besar dibandingkan dengan motor listrik. Pada $H = 100$ maka penggerak sistem murni menggunakan daya motor bakar.

2.6. Sistem Penggerak Hibrid Seri-Paralel.

2.6.1. Motor Bensin

Motor bensin merupakan salah satu jenis motor pembakaran dalam yang digunakan untuk menggerakkan atau sebagai sumber tenaga dari kendaraan darat, baik motor bensin empat langkah maupun motor bensin dua langkah.

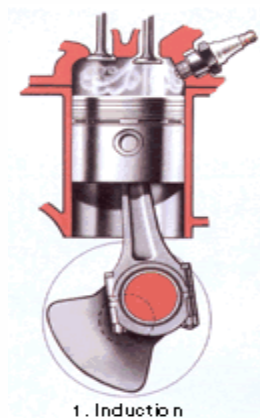
Motor bensin menghasilkan tenaga dari pembakaran bahan bakar di dalam silinder, tenaga pembakaran tersebut akan menghasilkan panas sekaligus mempengaruhi gas yang ada di dalam silinder untuk mengembang. Gas tersebut dibatasi oleh dinding silinder, maka walaupun ingin mengembang tetapi tidak ada ruangan, akibatnya tekanan dalam silinder akan naik.

Tekanan tertinggi pada ruang silinder membutuhkan bunga api yang dipercikkan oleh busi sehingga terjadi pembakaran. Pembakaran tersebut akan menghasilkan tekanan ke torak. Tekanan tersebut kemudian dimanfaatkan untuk menghasilkan tenaga yang menggerakkan motor.

2.6.1.1. Prinsip Kerja Motor Bensin Empat langkah

Prinsip kerja motor empat langkah dalam proses ini terdiri dari empat gerakan piston, yaitu langkah isap, langkah kompresi, langkah usaha dan langkah buang. Masing-masing merupakan satu langkah translasi penuh dari piston, karena itu siklus penuh empat langkah membutuhkan dua putaran poros engkol (*crankshaft*).

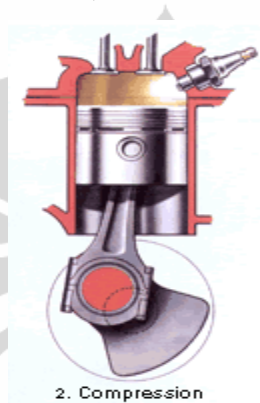
a. Langkah Isap (*intake*)



Gambar 2.4. Langkah Isap (*intake*)

Torak bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) ke TMB (Titik Mati Bawah), katup isap terbuka, campuran udara dan bahan bakar masuk ke dalam silinder karena adanya tekanan negatif. Pada kerja sesungguhnya, katup isap terbuka sebelum TMA, sehingga persiapan langkah isap selain oleh tekanan negatif, campuran udara dan bahan bakar masuk ke dalam silinder juga dipengaruhi oleh gaya inersia sehingga katup isap tertutup setelah piston melewati TMB.

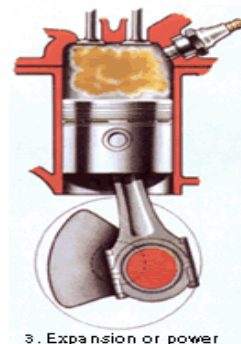
b. Langkah Kompresi (*compression*)



Gambar 2.5. Langkah Kompresi (*compression*)

Katup isap dan buang dalam keadaan tertutup. Piston bergerak dari TMB ke TMA. Campuran udara dan bahan bakar di dalam silinder dimampatkan oleh piston sehingga tekanan dan suhunya naik. Semakin tinggi tekanan kompresi maka semakin tinggi pula tenaga yang dihasilkan oleh motor tersebut (Wardan Suyanto, 1989).

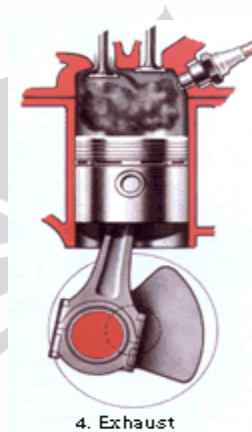
c. Langkah Kerja (*work*)



Gambar 2.6. Langkah Kerja (*work*)

Pada akhir langkah kompresi (piston belum mencapai TMA katup isap dan katup buang masih tertutup), beberapa derajat sebelum TMA busi memercikkan bunga api untuk membakar campuran udara dan bahan bakar yang telah dikompresikan. Akibat pembakaran campuran udara dan bahan bakar, suhu dan tekanan naik. Tekanan yang dihasilkan akan mendorong piston dari TMA ke TMB sehingga terjadi langkah usaha (ekspansi).

d. Langkah Buang (*exhaust*)



Gambar 2.7. Langkah Buang (*exhaust*)

Katup isap masih tertutup sedangkan katup buang terbuka, piston bergerak dari TMB ke TMA mendorong sisa pembakaran campuran udara dan bahan bakar di dalam silinder. Pada kerja sesungguhnya, katup buang terbuka sebelum piston mencapai TMB agar sisa pembakaran yang masih bertekanan dapat keluar dengan sendiri dan katup buang tertutup setelah katup isap terbuka.

2.6.2. Performance Motor Bensin Empat Langkah

Unjuk kerja motor 4 langkah pada umumnya dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain besarnya perbandingan kompresi, tekanan udara yang masuk ruang bakar, tingkat homogenitas campuran bahan bakar dengan udara dan angka oktan bahan bakar yang digunakan. Semakin besar perbandingan udara dengan bahan bakar maka semakin efisien, akan tetapi semakin besar perbandingan kompresi akan menimbulkan *knocking* pada mesin yang berpotensi menurunkan daya motor. Untuk mengatasi masalah tersebut dipergunakan bahan bakar yang memiliki nilai angka oktan tinggi. Nilai angka oktan pada bahan bakar motor

pembakaran dalam menunjukkan kemampuannya menghindari terbakarnya campuran udara dan bahan bakar sebelum waktunya (*self ignition*) yang menimbulkan *knocking*.

2.6.2.1. Daya dan Torsi

Daya adalah besarnya kerja yang dilakukan persatuan waktu yang dinyatakan dalam kilowatt. Benda yang mengalami proses usaha akan membentuk lintasan dengan jarak tertentu per satuan waktu (t). Kecepatan benda dalam melakukan usaha yang dibebankan padanya untuk menempuh jarak tertentu per satuan waktu dinamakan daya atau tenaga (Nakoela Soenarta, 1995). Daya dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$P = \frac{2\pi nT}{60} \quad (2.3)$$

dimana :

P = daya (watt)

n = putaran *engine* (rpm)

T = torsi (N.m)

Gerakan piston naik turun akibat pembakaran diubah menjadi gerak berputar oleh poros-poros engkol. Gerakan berputar poros engkol membentuk lintasan yang berbentuk lingkaran. Gaya yang ditimbulkan oleh gerakan berputar disebut dengan momen putar atau torsi. Satuan internasional untuk torsi adalah *feet/lbs*, *feet-pounds* atau *Newtonmeter* (Nm). Torsi didapatkan dari hasil pengukuran menggunakan dinamometer, dengan cara melakukan pengereman terhadap poros. Besarnya torsi akan tergantung pada besarnya daya yang dapat dicapai pada putaran mesin tertentu. Jadi untuk menentukan torsi adalah mengikuti persamaan berikut :

$$T = Fl \quad (2.4)$$

Sedangkan :

$$F = mg \quad (2.5)$$

dengan :

F = gaya berat (N)

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

l = panjang lengan pada dinamometer (m)

2.6.2.2. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi bahan bakar dikatakan ekonomis jika jumlah bahan bakar yang dibutuhkan cukup ekonomis dengan kemampuan kerja motor yang optimal. Dengan mengetahui hal ini, maka dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu. SFC dapat dicari menggunakan rumus :

$$SFC = \frac{mf}{P} \quad (2.6)$$

Sedangkan :

$$mf = \frac{b}{t} \frac{3600}{100} f_{ibb} \quad (2.7)$$

dimana :

SFC = konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kW.h)

mf = konsumsi bahan bakar (kg/h)

P = daya (kW)

b = volume buret yang dipakai dalam pengujian (cc)

t = waktu yang diperlukan untuk pengosongan buret (s)

f_{ibb} = massa jenis bahan bakar (kg/l)

2.6.2.3. Nilai Kalor Bahan Bakar

Reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dari udara menghasilkan panas. Besarnya panas yang ditimbulkan jika satu satuan bahan bakar dibakar sempurna disebut nilai kalor bahan bakar. Berdasarkan asumsi ikut tidaknya panas laten pengembunan uap air dihitung sebagai bagian dari nilai kalor suatu bahan bakar, maka nilai kalor bahan bakar dapat dibedakan menjadi nilai kalor atas dan nilai kalor bawah.

Nilai kalor atas (*High Heating Value*, HHV), merupakan nilai kalor yang diperoleh secara eksperimen dengan menggunakan *bom kalorimeter* dimana hasil pembakaran bahan bakar didinginkan sampai suhu kamar sehingga sebagian besar uap air yang terbentuk dari pembakaran hidrogen mengembun dan melepaskan

panas latennya. Data yang diperoleh dari hasil pengujian *bom kalorimeter* adalah temperatur air pendingin sebelum dan sesudah penyalaan. Selanjutnya untuk menghitung nilai kalor atas, dapat dihitung dengan persamaan (Rahman A. 1992) sebagai berikut :

$$\text{HHV} = (T_2 - T_1 - T_{kp}) \times C_v \quad (2.8)$$

dimana :

HHV = Nilai kalor atas (kJ/kg)

T_1 = Temperatur air pendingin sebelum penyalaan ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = Temperatur air pendingin sesudah penyalaan ($^{\circ}\text{C}$)

C_v = Panas jenis *bom kalorimeter* (73529.6 kJ/kg $^{\circ}\text{C}$)

T_{kp} = Kenaikan temperatur akibat kawat penyala (0.05°C)

Sedangkan nilai kalor bawah dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 3240 \quad (2.9)$$

Secara teoritis, besarnya nilai kalor atas dapat dihitung bila diketahui komposisi bahan bakarnya dengan menggunakan persamaan *Dulong* (Crouse William, 1976):

$$\text{HHV} = 33950 C + 144200 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 9400 S \quad (2.10)$$

dimana :

HHV = Nilai kalor atas (kJ/kg)

C = Persentase karbon dalam bahan bakar

H_2 = Persentase hidrogen dalam bahan bakar

O_2 = Persentase oksigen dalam bahan bakar

S = Persentase sulfur dalam bahan bakar

(Rangkuti Chalilullah, 1996).

Nilai kalor bawah (*low heating Value*, LHV), merupakan nilai kalor bahan bakar tanpa panas laten yang berasal dari pengembunan uap air. Umumnya kandungan hidrogen dalam bahan bakar cair berkisar 15% yang berarti setiap satu satuan bahan bakar, 0.05 bagian merupakan hidrogen. Pada proses pembakaran sempurna, air yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar adalah setengah dari mol hidrogennya.

Selain berasal dari pembakaran hidrogen, uap air yang terbentuk pada proses pembakaran dapat pula berasal dari kandungan air yang memang sudah ada didalam bahan bakar (*moisture*). Panas laten pengkondensasian uap air pada tekanan parsial 20 kN/m^2 (tekanan yang umum timbul pada gas buang adalah sebesar 2400 kJ/kg , sehingga besarnya nilai kalor bawah (LHV) dapat dihitung berdasarkan persamaan [10] berikut :

$$\text{LHV} = \text{HHV} - 2400 (M + 9 \text{H}_2) \quad (2.11)$$

dimana :

LHV = Nilai kalor bawah (kJ/kg)

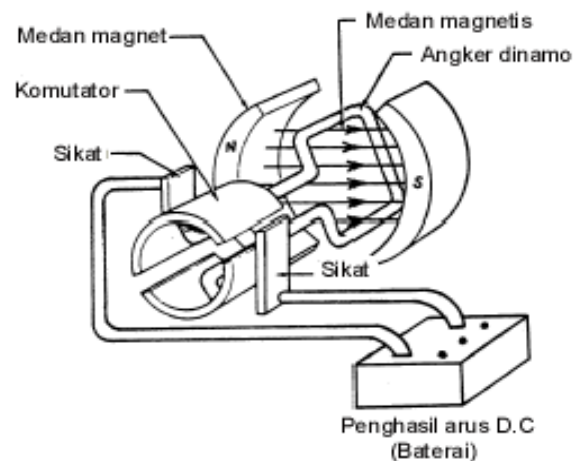
M = Persentase kandungan air dalam bahan bakar (*moisture*)

Dalam pernitungan efisiensi panas dari motor pembakaran dalam, dapat menggunakan nilai kalor bawah (LHV) dengan asumsi pada suhu tinggi saat gas buang meninggalkan mesin tidak terjadi pengembunan uap air. Namun dapat juga menggunakan nilai kalor atas (HHV) karena nilai tersebut lebih cepat tersedia. Peraturan pengujian berdasarkan ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) menentukan penggunaan kalor atas (HHV), sedangkan peraturan SAE (*Society o Automotive Engineers*) menentukan penggunaan nilai kalor bawah.

2.6.3. Motor Listrik

Motor listrik adalah salah satu sumber daya yang dipakai dalam sistem penggerak hibrid. Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor listrik yang digunakan dalam eksperimen ini adalah motor DC.

Motor DC memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Kumparan medan pada motor dc disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Jika terjadi putaran pada kumparan jangkar dalam pada medan magnet, maka akan timbul tegangan (GGL) yang berubah-ubah arah pada setiap setengah putaran, sehingga merupakan tegangan bolak-balik.



Gambar 2.8. Motor DC sederhana.

(Sumber : www.staff.ui.ac.id/internal/040603019/material/makalahMotorDC.doc)

Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik fasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet. Bentuk motor paling sederhana memiliki kumparan satu lilitan yang bisa berputar bebas di antara kutub-kutub magnet permanen.

Catu tegangan dc dari baterai menuju ke lilitan melalui sikat yang menyentuh komutator, dua segmen yang terhubung dengan dua ujung lilitan. Kumparan satu lilitan pada gambar di atas disebut angker dinamo. Angker dinamo adalah sebutan untuk komponen yang berputar di antara medan magnet

Dalam memahami sebuah motor, penting untuk mengerti apa yang dimaksud dengan beban motor. Beban dalam hal ini mengacu kepada keluaran tenaga putar / *torque* sesuai dengan kecepatan yang diperlukan. Beban umumnya dapat dikategorikan ke dalam tiga kelompok :

- **Beban torque konstan** adalah beban dimana permintaan keluaran energinya bervariasi dengan kecepatan operasinya namun *torquencya* tidak bervariasi. Contoh beban dengan *torque* konstan adalah *corveyors*, *rotary kilns*, dan pompa *displacement* konstan.
- **Beban dengan variabel torque** adalah beban dengan *torque* yang bervariasi dengan kecepatan operasi. Contoh beban dengan variabel *torque* adalah pompa sentrifugal dan *fan* (*torque* bervariasi sebagai kuadrat kecepatan).

- **Beban dengan energi konstan** adalah beban dengan permintaan *torque* yang berubah dan berbanding terbalik dengan kecepatan. Contoh untuk beban dengan daya konstan adalah peralatan-peralatan mesin (Suga K. S., 2002).

2.7. Elemen-elemen Penerus Daya

2.7.1. Poros dan Pasak

Aparatus yang akan digunakan dalam eksperimen ini menggunakan poros yang mengalami beban puntir dan juga tarikan. Diameter poros yang akan dipakai sebagai penerus daya akan diperhitungkan berdasarkan persamaan :

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau} K_t C_b T \right]^{1/3} \quad (2.12)$$

dimana :

d_s = diameter poros (mm)

T = torsi yang akan dikenakan pada poros (kg.mm)

τ = tegangan geser yang diijinkan oleh bahan poros (kg/mm²)

K_t = faktor koreksi untuk beban puntir

C_b = faktor koreksi untuk beban lentur

Pasak yang akan digunakan adalah pasak benam dengan dimensi dan geometri berdasarkan tabel pemilihan pasak (Suga K. S., 2002).

2.7.2. Kopling

Kopling adalah elemen mesin yang berfungsi sebagai penerus putaran dan daya (Suga K. S., 2002). Dalam pembuatan aparatus eksperimen ini jenis kopling yang digunakan adalah kopling cakar dan juga friwil.



Gambar 2.9. Kopling cakar.

Kopling cakar berfungsi sebagai kopling tetap dan terletak satu sumbu dengan poros penggerak dan poros yang digerakkan. Kopling cakar yang digunakan mempunyai bagian yang terbuat dari karet yang berfungsi untuk meredam getaran.



Gambar 2.10. Kopling friwil.

Friwil merupakan kopling tidak tetap yang hanya dapat meneruskan putaran satu arah. Putaran yang arahnya berlawanan tidak kan diteruskan oleh kopling friwil. Contoh mekanisme yang menggunakan kopling friwil adalah sepeda.

2.7.3. Rantai dan Sprocket

Rantai dan *sprocket* merupakan salah satu elemen mesin yang mempunyai kemampuan meneruskan daya dengan efisiensi tinggi.



Gambar 2.11. Rantai dan sprocket.

Dalam eksperimen ini perbandingan gigi *sprocket* antara *drive gear* dan *driven gear* adalah 1:1.

2.7.4. Puli dan Sabuk

Puli dan sabuk merupakan elemen mesin yang berfungsi untuk mentransmisikan putaran dan daya antara dua buah poros.



Gambar 2.12. Puli dan sabuk.

Salah satu alasan pemilihan perencanaan transmisi menggunakan puli dan sabuk diantaranya adalah karena mekanisme ini dapat meneruskan putaran dan daya secara luwes dengan tingkat *noise* yang relatif rendah.

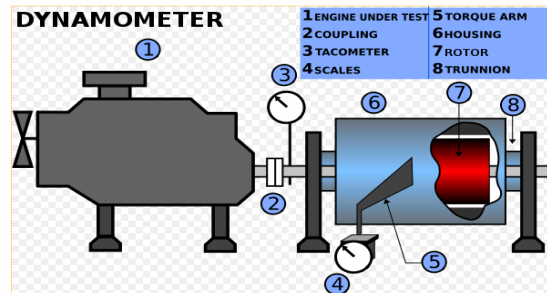
Sabuk yang digunakan adalah sabuk V dengan pertimbangan sabuk ini mempunyai gaya gesekan yang besar. Hal ini akan memperkecil kemungkinan terjadinya *slip* antara sabuk dan puli.

2.8. Perangkat Pengukuran

Mengukur adalah membandingkan parameter pada obyek yang diukur terhadap besaran yang telah distandarkan, sedangkan pengukuran merupakan suatu usaha untuk mendapatkan informasi deskriptif-kuantitatif dari variabel-variabel fisika dan kimia suatu zat atau benda yang diukur, misalnya panjang 1 m atau massa 1 kg dan sebagainya (Raldi Artono Koestoer, 2004).

2.8.1. Dynamometer

Dynamometer adalah piranti untuk mengukur gaya ataupun torsi. Prinsip pengukuran menggunakan *dynamometer* adalah dengan melakukan pengereman terhadap putaran poros.



Gambar 2.13. *Dynamometer*.

(Sumber : <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Dynamometer01CJC.svg>)

Torsi diperoleh dengan mengalikan gaya yang dibutuhkan untuk melakukan pengereman terhadap jarak.



Gambar 2.14. *Electric generator/motor dynamometer* tampak samping kanan.



Gambar 2.15. *Electric generator/motor dynamometer* tampak atas.

Dynamometer yang digunakan dalam kegiatan eksperimen ini adalah jenis DC *electric generator/motor dynamometer*. Jenis *dynamometer* ini dapat juga berfungsi sebagai motor jika diberikan induksi.

2.8.2. *Electronic Tachometer*

Tachometer adalah alat yang berfungsi untuk mengukur putaran poros. Alat ini mengukur putaran poros per menit. Jenis *tachometer* yang digunakan dalam eksperimen ini adalah *electronic tachometer* yang dihubungkan dengan salah satu terminal *output electric generator/motor dynamometer*.



Gambar 2.16. *Electronic Tachometer*.

Electric tachometer mempunyai terminal *output* yang dapat digunakan untuk data akuisisi.

2.8.3. *Torque Measuring Unit*

Torque measuring unit merupakan alat untuk menampilkan torsi yang bekerja pada poros dari pengereman oleh *electric generator/motor dynamometer*. Piranti ini bekerja bersama *load cell* yang merubah data analog menjadi digital.



Gambar 2.17. *electric generator/motor dynamometer*.

Pada alat ini terdapat mekanisme untuk kalibrasi berdasarkan beban maksimum yang dapat dibaca oleh *load cell*.

Secara khusus, untuk skala dan penyeimbang kapasitas rendah, termasuk penyeimbang yang dipakai di laboratorium-laboratorium, gaya-gaya elektromagnetik dapat digunakan sebagai gaya penyeimbang. Pengukuran gaya ini dapat dengan mudah diterjemahkan ke dalam istilah berat. Walaupun alat-alat elektrik lain sangat sering digunakan dalam pengukuran berat (contoh, transformator diferensial linear atau *linear differential transformer*), transduser gaya yang umumnya digunakan dalam skala-skala sekarang ini adalah *strain gage load cell* (Raldi Artono Koestoer, 2004).

Pada *load cell* terdapat bagian yang disebut *strain gauge*. *Strain gauge* adalah sebuah alat yang mempunyai nilai tahanan, yang nilai tahanannya dapat berubah jika dikenai penekanan.

2.8.4. Voltmeter

Voltmeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur tegangan listrik dalam suatu rangkaian listrik.



Gambar 2.18. Voltmeter.

Dalam kegiatan eksperimen ini dibutuhkan voltmeter untuk mengukur besarnya tegangan yang digunakan untuk menggerakkan motor listrik. Voltmeter dapat digunakan untuk mengukur tegangan AC maupun tegangan DC. Untuk pembacaan tegangan DC maka skala yang dibaca adalah skala dengan tampilan

background putih. Sedangkan pembacaan pengukuran tegangan AC pada tampilan *background* berwarna merah.

Pada voltmeter terdapat lima skala pengukuran yaitu 3, 15, 30, 150, serta 450. Cara pembacaannya adalah sebagai berikut :

$$V = \frac{S_p}{S_t} \times \text{Penunjukkan jarum} \quad (2.13)$$

dimana :

V = nilai tegangan listrik (Volt)

S_p = skala pengukuran

S_t = batas pembacaan tertinggi voltmeter

2.8.5. Amperemeter

Amperemeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur kuat arus listrik dalam rangkaian tertutup.



Gambar 2.19. Amperemeter.

Seperti halnya voltmeter, amperemeter yang digunakan juga dapat untuk mengukur tegangan AC maupun DC. Untuk pembacaan arus DC maka skala yang dibaca adalah skala dengan tampilan *background* putih. Sedangkan pembacaan pengukuran arus AC pada tampilan *background* berwarna merah.

Amperemeter yang digunakan mempunyai 5 skala pengukuran yaitu 24, 12, 6, 2.4, 1.2. Cara pembacaannya adalah sebagai berikut :

$$A = \frac{S_p}{S_t} \times \text{Penunjukkan jarum} \quad (2.14)$$

dimana :

A = nilai arus listrik (Volt)

S_p = skala pengukuran

S_t = batas pembacaan tertinggi amperemeter

2.8.6. Voltage Regulator

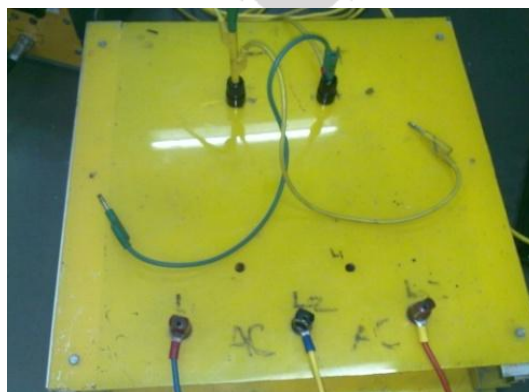
Salah satu cara untuk mengatur kecepatan motor listrik adalah dengan mengatur tegangan. Oleh karena itu diperlukan *voltage regulator* untuk mengatur putaran yang diinginkan dalam eksperimen ini.



Gambar 2.20. Voltage regulator.

2.8.7. Penyearah Arus AC

Karena motor listrik yang digunakan adalah motor listrik DC, maka untuk menggerakkan motor listrik menggunakan sumber tegangan dengan arus AC diperlukan *device* yang berfungsi untuk menyearahkan arus listrik.



Gambar 2.21. Panel penyearah arus.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur, perhitungan, perancangan, dan eksperimen dijabarkan sebagai berikut :

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Politeknik Negeri Jakarta. Waktu dari mulai konsep, perancangan, pembuatan aparatus hingga pengujian adalah 12 bulan mulai dari Januari 2010 sampai dengan November 2010.

3.2. Studi literatur

Studi literatur dilakukan sebelum *setup* dan pembuatan aparatus, dengan mempelajari kegiatan eksperimen yang berhubungan dengan topik dan teori yang terkait yang sudah dilakukan sebelumnya. Pada tahap studi literatur mulai dirumuskan identifikasi masalah, batasan, konsep dan parameter-parameter yang berkaitan.

3.3. Perancangan dan Pembuatan Aparatus

Perancangan aparatus dilakukan dengan terlebih dahulu melakukan perhitungan kekuatan dan dimensi untuk elemen-elemen yang akan dipakai, serta pembuatan *technical drawing*. Dalam pelaksanaan pembuatan aparatus, tidak jarang perancangan harus berubah sesuai dengan kondisi dan fakta di lapangan.

3.4. Bahan dan Alat

3.4.1. Bahan

Bahan yang menjadi objek penelitian ini adalah bahan bakar premium dan campuran premium-etanol dengan kadar :

1. *E-5* (95% Premium + 5% Etanol dalam campuran).
2. *E-10* (90% Premium + 10% Etanol dalam campuran).

3.4.2. Alat

Alat yang dipakai dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Motor pembakaran dalam empat langkah satu silinder.
2. Bom kalorimeter untuk menghitung nilai kalor bahan bakar.
3. *Dynamometer* untuk mendapatkan torsi dari motor pembakaran dalam dan motor listrik.
4. Alat bantu perbengkelan, seperti : kunci set ring-pas, kunci set “L”, kunci set “T”, tang, palu, kertas amplas dan lain sebagainya.
5. *Stop watch* untuk menentukan waktu yang dibutuhkan motor pembakaran dalam untuk menghabiskan bahan bakar dengan volume sebanyak 5 ml.
6. Termometer untuk mengetahui suhu lingkungan.

3.5. Metode Pengumpulan Data

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah berupa data tentang kinerja sistem hibrid, yaitu daya yang dihasilkan motor pembakaran dalam dan motor listrik serta konsumsi energi yang dibutuhkan kedua motor. Sehingga metode pengumpulan data yang digunakan menggunakan metode eksperimen. Data yang diperoleh diolah ke dalam rumus empiris, kemudian data dari perhitungan disajikan dalam bentuk tabulasi dan grafik. Dalam penelitian ini, suatu eksperimen dilakukan dengan memberi kondisi suatu variabel yang sengaja dilakukan peneliti untuk melihat efek yang terjadi pada tindakan tersebut.

3.6. Pengamatan dan Tahap Pengujian

Pada penelitian ini yang akan diamati adalah :

1. Parameter Torsi (T), putaran (rpm), tegangan (V) dan arus (A) pada motor listrik.
2. Parameter waktu (t) yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar pada motor pembakaran dalam.

Prosedur pengujian dapat dibagi beberapa tahap, yaitu :

1. Pengujian nilai kalor bahan bakar.
2. Kalibrasi *dynamometer*.

3. Pengujian karakteristik motor pembakaran dalam dengan bahan bakar premium murni.
4. Pengujian karakteristik motor listrik DC.
5. Pengujian karakteristik motor pembakaran dalam dengan bahan bakar campuran premium-etanol (*gasohol E-5* dan *E-10*).
6. Pengujian karakteristik gabungan antara motor pembakaran dalam dengan bahan bakar premium dengan motor listrik DC.
7. Pengujian karakteristik gabungan antara motor pembakaran dalam dengan bahan bakar campuran premium-etanol (*gasohol E-5* dan *E-10*) dengan motor listrik DC.

3.7. Prosedur Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar

Alat yang digunakan dalam pengukuran nilai kalor bahan bakar ini adalah alat uji “*Bom Kalorimeter*”.



Gambar 3.1 Bom Kalorimeter

Adapun tahapan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengisi cawan bahan bakar dengan bahan bakar yang akan diuji.
2. Menggulung dan memasang kawat penyala pada tangkai penyala yang ada pada penutup bom.
3. Menempatkan cawan yang berisi bahan bakar pada ujung tangkai penyala, serta mengatur posisi kawat penyala agar berada tepat diatas permukaan

bahan bakar yang berada di dalam cawan dengan menggunakan pinset (+- 1 gram).

4. Meletakkan tutup bom yang telah dipasang kawat penyalanya dan cawan berisi bahan bakar pada tabungnya serta dikunci dengan ring “O” sampai rapat.
5. Mengisi bom dengan oksigen (30 bar).
6. Mengisi tabung kalorimeter dengan air pendingin sebanyak 1250 ml.
7. Menempatkan bom yang telah terpasang ke dalam tabung kalorimeter.
8. Menghubungkan tangkai penyalanya penutup bom ke kabel sumber arus listrik.
9. Menutup kalorimeter dengan penutupnya yang dilengkapi dengan pengaduk.
10. Menghubungkan dan mengatur posisi pengaduk pada elektromotor.
11. Menempatkan termometer melalui lubang pada tutup kalorimeter.
12. Menghidupkan elektromotor selama lima menit kemudian membaca dan mencatat temperatur air pendingin pada termometer.
13. Menyalakan kawat penyalanya dengan menekan saklar.
14. Memastikan kawat penyalanya telah menyala dan putus dengan memperhatikan lampu indikator selama elektromotor terus bekerja.
15. Membaca dan mencatat kembali temperatur air pendingin setelah lima menit dari penyalaan berlangsung.
16. Mematikan elektromotor pengaduk dan mempersiapkan peralatan untuk pengujian berikutnya.
17. Mengulang pengujian sebanyak lima kali berturut-turut.

3.8. Kalibrasi *Dynamometer*

Kalibrasi merupakan proses verifikasi untuk mendapatkan keakurasian hasil pengukuran sesuai dengan rancangannya. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan standar yang telah dibakukan (Alan S. Moris, 2001).

Dynamometer yang digunakan mempunyai spesifikasi yang tercantum dalam name plate, seperti yang tercantum pada gambar 3.2.

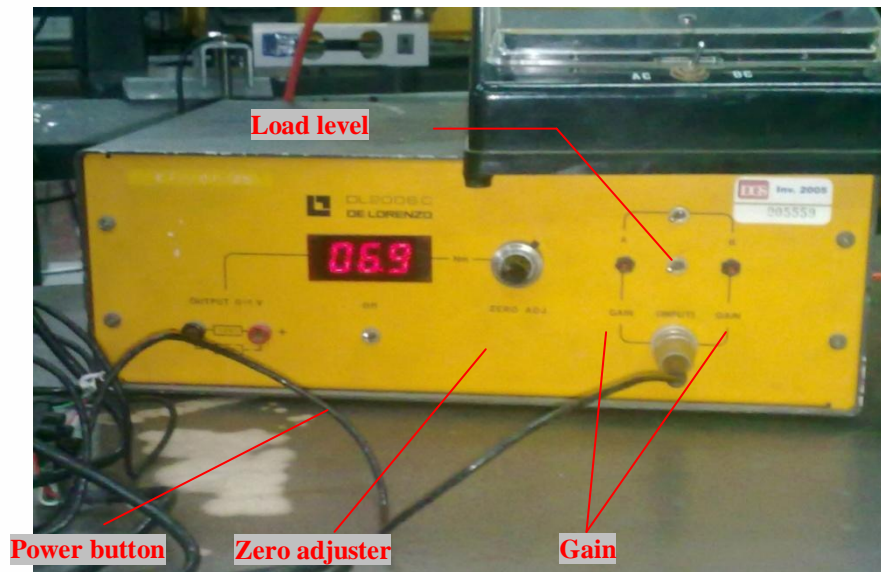


Gambar 3.2 Name plat dynamometer.

Dalam eksperimen, data *output* dari *load cell* yang dipasang pada *dynamometer* akan terbaca pada *torque measuring unit* (TMU). Agar ukuran yang terbaca pada TMU sama nilainya dengan perhitungan torsi yang terbaca pada lengan beban maka perlu dilakukan kalibrasi.

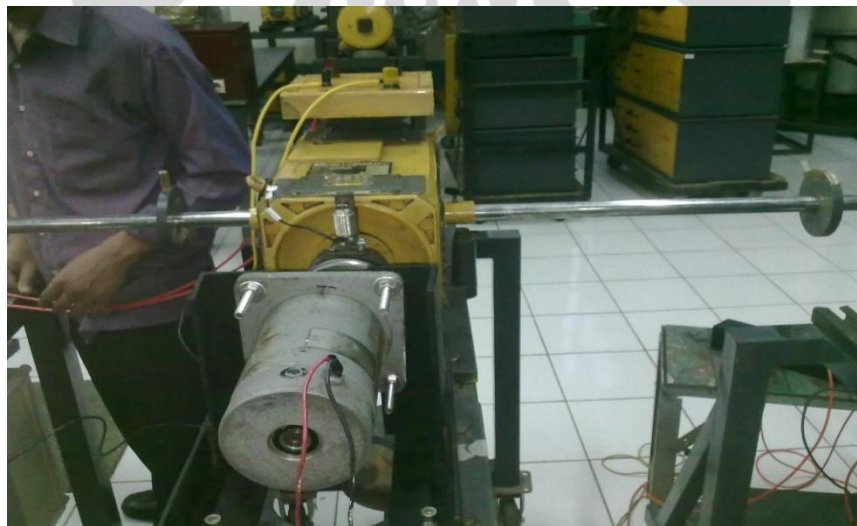
Langkah-langkah yang dilakukan untuk kalibrasi adalah sebagai berikut :

1. Pasang *lever* untuk tempat beban pada *dynamometer*, *load cell* dalam keadaan belum terpasang.
2. Pasang beban dengan berat masing-masing 3 kg di *lever* kanan dan kiri.
3. *Lever* terpendek merupakan titik acuan dengan posisi beban pada *lever* tetap.
4. Atur posisi beban pada *lever* terpanjang sehingga *bubble* yang terdapat di bagian atas *dynamometer* berada pada posisi tengah. Hal ini berarti *dynamometer* dalam keadaan setimbang. Tandai ukuran yang terdapat pada *lever* terpanjang, tepat pada beban saat menunjukkan keadaan setimbang. Titik ini yang akan menjadi acuan *increment* beban.
5. Kunci dynamometer posisi setimbang agar tidak bergeser, kemudian pasang *load cell* pada *dynamometer*. *Load cell* yang dipakai adalah *load cell* dengan kemampuan pembebanan sampai dengan 100 N. Atur posisi *switch load level* pada posisi B. Atur TMU agar angka yang tampil pada display menunjukkan 00,0 dengan memutar *zero adjuster* ke kanan atau ke kiri. Tahap penyesuaian titik nol *load cell* dengan titik nol *dynamometer* selesai.



Gambar 3.3 Torque measuring unit.

6. Langkah selanjutnya adalah melakukan kalibrasi untuk torsi tertentu dengan cara menggeser beban pada *lever* terpanjang. Geser beban sejauh 0,15 m.



Gambar 3.4 Kalibrasi dynamometer.

Dari hasil perhitungang torsi dengan beban 3 kg dengan lengan beban 0,15 m adalah :

$$\begin{aligned}
 T &= m \times g \times l \\
 &= (3 \text{ kg}) \times (9,81 \text{ m/s}^2) \times (0,15 \text{ m})
 \end{aligned}$$

$$= 4,41 \text{ N.m}$$

Jika pada display menunjukkan angka yang berbeda maka atur sekrup “gain” B sehingga angka sama dengan hasil perhitungan.

7. Ulangi langkah no. 6 hingga didapatkan kesalahan penunjukkan angka terkecil yang tampil pada *display*.
8. Selesai.

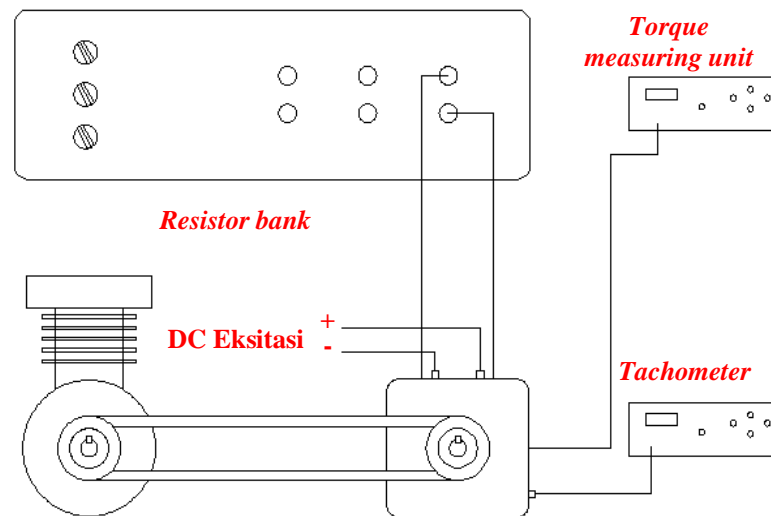
3.9. Prosedur Pengujian Karakteristik Motor Pembakaran Dalam

Motor pembakaran dalam yang digunakan dalam kegiatan eksperimental ini mempunyai data spesifikasi nominal yang tertulis pada *manual book* dan pengukuran manual ditunjukkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1. Tabel spesifikasi motor bakar.

Data umum motor bakar	
Merk	Multi Equipment
Jenis motor bakar	4 langkah
Jumlah silinder	1
Daya nominal	2,8 Hp
Sistem penggerak katup	OHV
Bahan bakar	Bensin
Diameter silinder	53 mm
Langkah piston	36 mm
Volume silinder	79,38 cc

Untuk memverifikasi spesifikasi dan mengetahui karakteristik motor bakar yang digunakan maka dilakukan pengujian torsi menggunakan *dynamometer*. Berikut ini adalah skema pengujian untuk mengetahui karakter motor bakar.



Gambar 3.5. Skema pengujian motor bakar

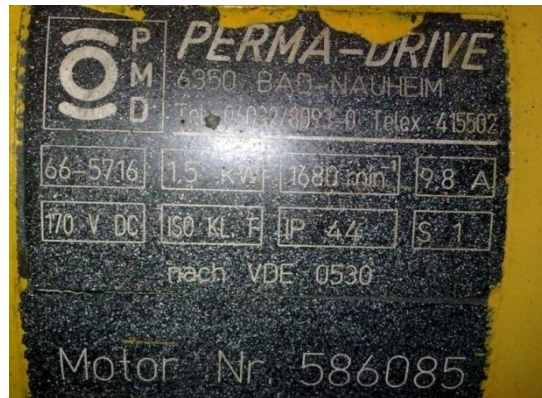
Pada pengujian ini, akan diteliti karakteristik motor pembakaran dalam. Metode pengujian adalah dengan cara memberikan pembebanan konstan secara elektrik menggunakan resistor dengan 9 tingkat putaran mesin, yaitu : 1750, 2000, 2250, 2500, 2750, 3000, 3250, 3500, 3750 rpm.

Sebelum pengujian dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pengkalibrasian terhadap *dynamometer* sebelum mesin dihidupkan. Setelah dilakukan pengkalibrasian, maka pengujian dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Menghidupkan mesin dengan cara memutar starter, memanaskan mesin selama 10 menit pada putaran rendah (± 1750 rpm).
2. Mengatur putaran mesin pada 1750 rpm dengan memutar baut setelan bukaan throttle dan memastikannya melalui pembacaan *tachometer*.
3. Mencatat waktu yang dibutuhkan mesin untuk menghabiskan 5 ml bahan bakar premium dengan menggunakan *stopwatch* dengan memperhatikan ketinggian permukaan bahan bakar premium di dalam *pipette*.
4. Mencatat torsi melalui pembacaan *torquemeter*, temperatur.
5. Mengisi pipette dengan bahan bakar premium.
6. Mengulang pengujian untuk variasi putaran dan bahan bakar campuran.

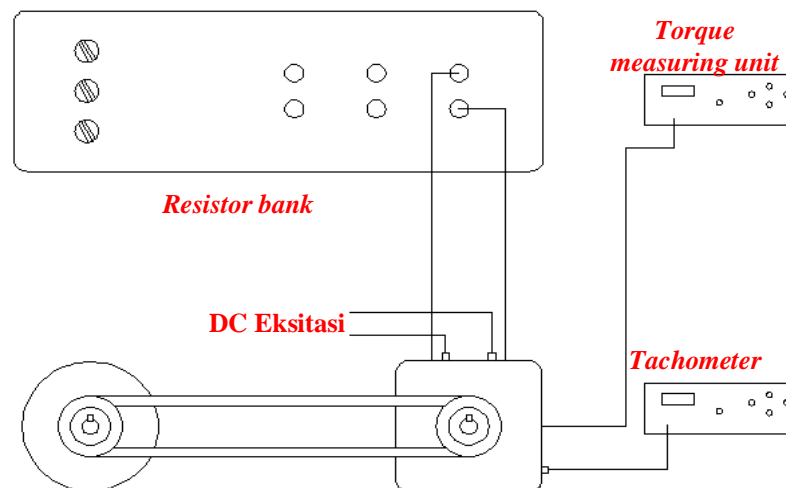
3.10. Prosedur Pengujian Karakteristik Motor Listrik

Motor listrik yang digunakan mempunyai data yang tertera dalam *name plat* seperti yang terlihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Name plat motor listrik.

Untuk mengetahui karakteristik dengan berpedoman pada data pada *name plat*, maka dilakukan pengujian menggunakan *dynamometer*. Pengujian dilakukan dengan melakukan pembebanan konstan pada generator dan putaran variabel. Adapun skema pengujian motor listrik tercantum pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Skema pengujian motor listrik.

Mengingat data spesifikasi yang tercantum pada *name plat*, maka dalam pengujian ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut berikut :

1. Arus listrik maksimal 9,8 ampere dengan toleransi 10%.

2. Tegangan maksimal 170 volt dengan toleransi 10%.
3. Putaran tertinggi 1800 rpm.
4. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali.

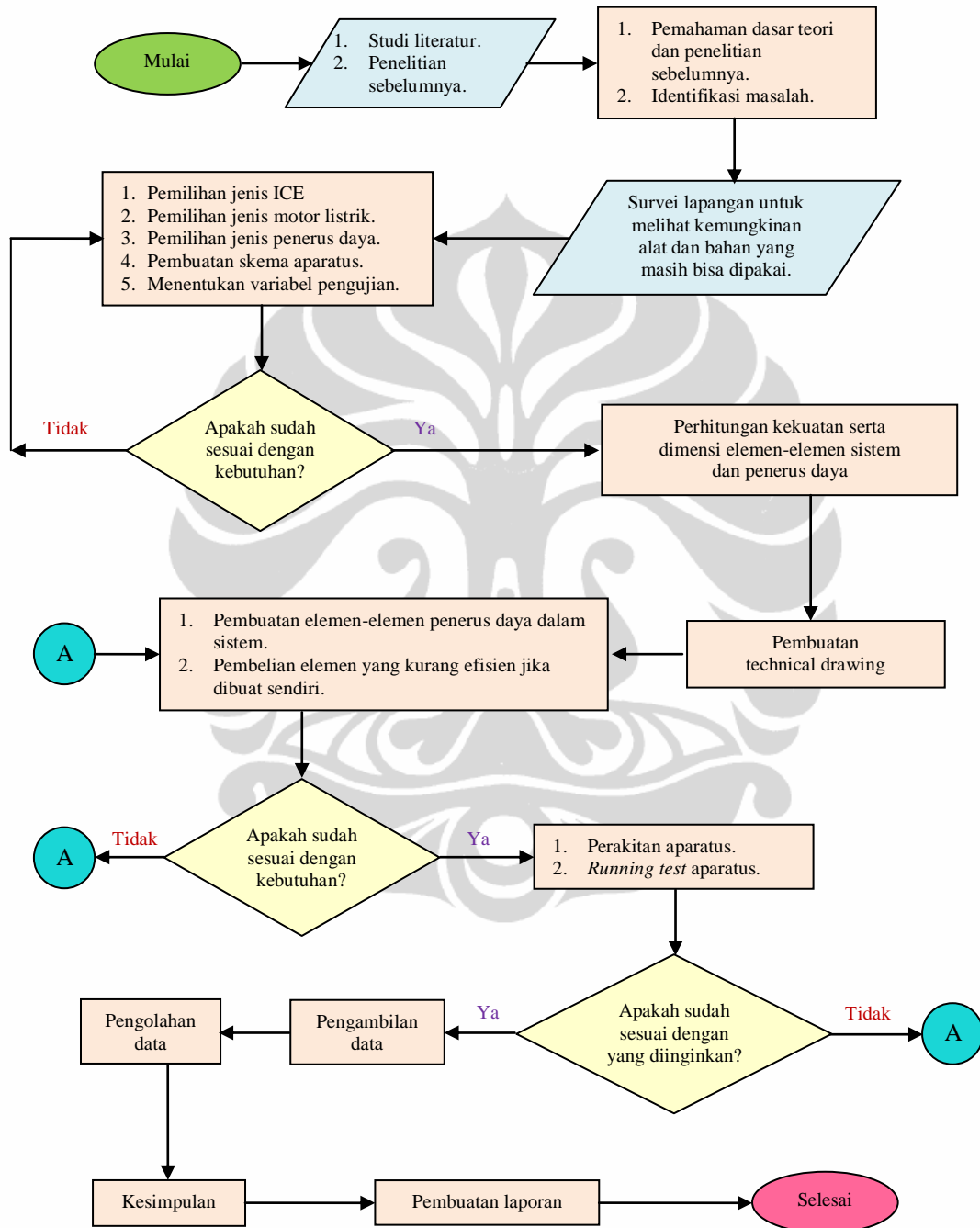
Efisiensi motor listrik merupakan perbandingan daya poros output terhadap konsumsi daya listrik.

$$\eta = \frac{2\pi nT}{60VI}$$



3.11 Diagram Alir Penelitian

Kegiatan eksperimen dilakukan dengan alur seperti diagram alir berikut :



Gambar 3.8. Diagram alir penelitian.

BAB IV

ANALISA DAN HASIL PENGUJIAN

4.1 Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar

Besarnya nilai kalor yang dihasilkan dari masing-masing pengujian baik dengan menggunakan bahan bakar premium, *gasohol E-5*, *gasohol E-10* dapat dihitung berdasarkan persamaan (2.18) sebagai berikut :

$$\text{HHV} = (T_2 - T_1 - T_{kp}) \times C_v \text{ (kJ/kg)}$$

dimana :

HHV = Nilai kalor atas (kJ/kg)

T_1 = Temperatur air pendingin sebelum penyalaan ($^{\circ}\text{C}$).

T_2 = Temperatur air pendingin sesudah penyalaan ($^{\circ}\text{C}$).

C_v = Panas jenis *bom kalorimeter* (73529.6 kJ/kg $^{\circ}\text{C}$).

T_{kp} = Kenaikan temperatur akibat kawat penyalanya (0.05 $^{\circ}\text{C}$).

Pada pengujian pertama bahan bakar premium, diperoleh:

T_1 = 26.25 $^{\circ}\text{C}$

T_2 = 26.93 $^{\circ}\text{C}$, maka:

$$\begin{aligned} \text{HHV}_{(\text{premium})} &= (26.25 - 26.93 - 0.05) 73529.6 \\ &= 46323.65 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Pada pengujian pertama bahan bakar *gasohol BE-5*, diperoleh:

T_1 = 27.45 $^{\circ}\text{C}$

T_2 = 28.14 $^{\circ}\text{C}$, maka:

$$\text{HHV}_{(\text{premium})} = (27.45 - 28.14 - 0.05) 73529.6$$

$$= 47058.94 \text{ kJ/kg}$$

Pada pengujian pertama bahan bakar *gasohol E-10*, diperoleh:

$$T_1 = 24.56 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 25.24 \text{ }^\circ\text{C, maka:}$$

$$\text{HHV}_{(\text{premium})} = (24.56 - 25.24 - 0.05) 73529.6$$

$$= 46323.65 \text{ kJ/kg}$$

Cara perhitungan yang sama dilakukan untuk menghitung nilai kalor pada pengujian kedua hingga kelima. Selanjutnya untuk memperoleh harga nilai kalor rata-rata bahan bakar digunakan persamaan berikut ini:

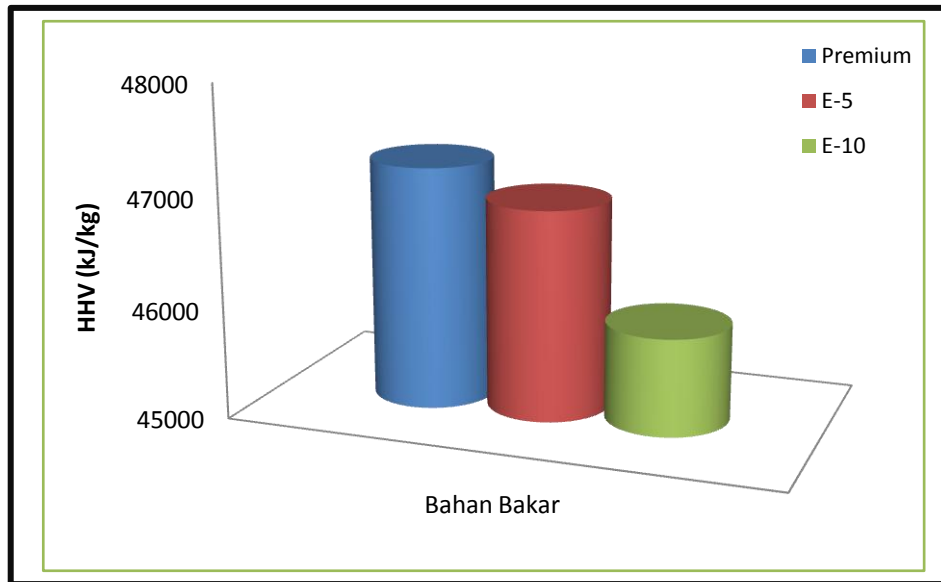
$$\text{HHV}_{(\text{rata-rata})} = \frac{\sum_{i=1}^5 \text{HHVi}}{5} \text{ (kJ/kg)}$$

Data temperatur air pendingin sebelum dan sesudah penyalaan serta hasil perhitungan untuk nilai kalor pada pengujian pertama hingga kelima dan nilai kalor rata-rata dengan menggunakan bahan bakar *gasohol E-5*, *gasohol E-10*, premium dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1 Data hasil pengujian dan perhitungan bom kalorimeter.

Bahan Bakar	No Pengujian	T1(°C)	T2(°C)	HHV (kJ/kg)	HHV rata-rata (kJ/kg)
Premium	1	26.25	26.93	46323.65	47206.00
	2	27.12	27.82	47794.24	
	3	28.95	29.64	47058.94	
	4	24.62	25.33	48529.54	
	5	25.45	26.13	46323.66	
E-5	1	27.45	28.14	47058.94	46911.88
	2	28.35	29.05	47794.24	
	3	25.97	26.65	46323.65	
	4	26.95	27.64	47058.94	
	5	27.87	28.55	46323.65	
E-10	1	24.56	25.24	46323.65	45882.47
	2	25.53	26.2	45588.35	
	3	26.67	27.36	47058.94	
	4	27.65	28.31	44853.06	
	5	28.55	29.22	45588.35	

Perbandingan nilai kalor atas atau High Heating Value (HHV) dari masing-masing jenis bahan bakar dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1. Grafik hasil pengujian bom kalorimeter

Nilai kalor bahan bakar menunjukkan energi yang dilepaskan pada proses pembakaran bahan bakar per satuan massanya. Dari gambar 4.1 diatas, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar etanol dalam campuran premium-etanol, maka nilai kalor atas bahan bakar semakin menurun. Jadi nilai kalor atas bahan bakar *gasohol E-5* dan *E-10* lebih rendah daripada nilai kalor atas bahan bakar premium. Sehingga energi yang dihasilkan oleh bahan bakar premium pada suatu proses pembakaran akan lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar *gasohol E-5* dan *E-10*.

4.2. Pengujian Performance Motor Pembakaran Dalam

Data yang diperoleh berdasarkan hasil pembacaan langsung alat uji mesin bensin 4-langkah 1-silinder melalui unit instrumentasi dan perlengkapan yang digunakan pada saat pengujian antara lain:

1. Torsi (Nm) melalui *torquemetre*.
2. Putaran (rpm) melalui *tachometre*.
3. Bahan bakar yang digunakan adalah premium, *gasohol E-5* dan *gasohol E-10*.
4. Waktu untuk menghabiskan 5 ml bahan bakar (s), melalui pembacaan *stopwatch*.
5. Pembebanan konstan secara elektrik menggunakan resistor.

4.2.1 Torsi

Untuk memverifikasi spesifikasi dan mengetahui karakteristik motor bakar yang digunakan maka dilakukan pengujian torsi menggunakan *dynamometer*. Besarnya torsi yang dihasilkan berdasarkan hasil pembacaan unit instrumentasi dari masing-masing pengujian baik dengan menggunakan bahan bakar premium, *gasohol E-5*, *gasohol E-10* pada tiap putaran dapat dilihat pada Tabel 4.2, 4.3, 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data hasil pembacaan unit instrumentasi untuk bahan bakar premium pada putaran yang bervariasi.

rpm	T (Nm)			T (rata-rata)	t (detik/5 cc)			t (rata-rata)
	1	2	3		1	2	3	
1750	2.8	2.6	2.7	2.70	27.45	29.43	28.20	28.36
2000	3.3	3.2	2.8	3.10	26.83	27.12	27.56	27.17
2250	3.4	3.2	3.6	3.40	25.12	26.31	24.41	25.28
2500	3.7	3.8	3.9	3.80	26.64	26.78	26.74	26.72
2750	4.1	4	3.6	3.90	26.86	27.67	26.59	27.04
3000	4.2	4.3	4.4	4.30	21.19	23.65	24.82	23.22
3250	4.5	4.4	4.3	4.40	19.65	19.98	16.80	18.81
3500	4.4	4.4	4.4	4.40	18.45	20.11	19.16	19.24
3750	3.8	3.7	4.2	3.90	16.66	17.65	15.55	16.62

Tabel 4.3 Data hasil pembacaan unit instrumentasi untuk bahan bakar *gasohol E-5* pada putaran yang bervariasi.

rpm	T (Nm)			T (rata-rata)	t (detik/5 cc)			t (rata-rata)
	1	2	3		1	2	3	
1750	2.7	2.7	2.7	2.70	25.45	26.67	25.34	25.82
2000	2.8	2.9	3	2.90	23.56	22.75	22.69	23.00
2250	3	3.2	3.1	3.10	25.32	25.57	25.40	25.43
2500	3.4	3.2	3.3	3.30	33.19	33.24	32.24	32.89
2750	3.4	3.4	3.4	3.40	31.91	31.75	30.48	31.38
3000	3.8	3.6	3.7	3.70	22.86	24.54	23.37	23.59
3250	3.9	4	4.1	4.00	17.54	16.97	17.84	17.45
3500	4.2	4.1	4.3	4.20	16.53	18.21	18.36	17.70
3750	3.8	3.7	3.9	3.80	13.89	14.11	14.84	14.28

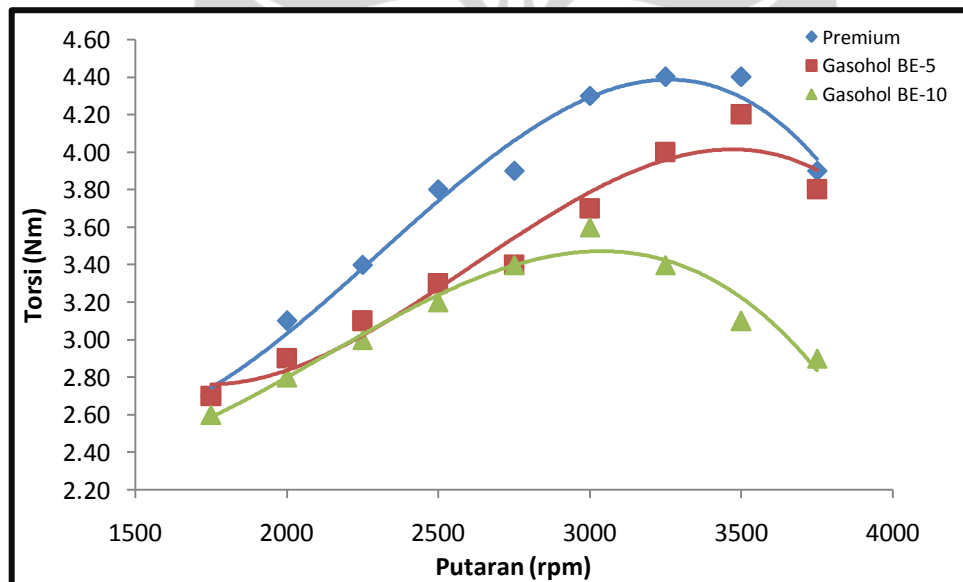
Tabel 4.4 Data hasil pembacaan unit instrumentasi untuk bahan bakar *gasohol E-10* pada putaran yang bervariasi.

rpm	T (Nm)			T (rata-rata)	t (detik/5 cc)			t (rata-rata)
	1	2	3		1	2	3	
1750	2.6	2.6	2.6	2.60	19.76	21.23	21.01	20.67
2000	2.8	2.9	2.7	2.80	23.12	23.43	24.67	23.74
2250	3	3	3	3.00	22.89	23.98	24.26	23.71
2500	3.1	3.2	3.3	3.20	23.98	24.17	26.13	24.76
2750	3.4	3.5	3.3	3.40	24.45	25.13	25.42	25.00
3000	3.6	3.6	3.6	3.60	26.98	27.34	28.66	27.66
3250	3.4	3.4	3.4	3.40	21.87	20.54	21.67	21.36
3500	3.2	3	3.1	3.10	20.51	19.65	18.13	19.43
3750	2.9	3	2.8	2.90	14.13	15.54	14.4	14.69

Perbandingan besar torsi untuk masing-masing pengujian pada setiap variasi campuran bahan bakar dan putaran dapat ditunjukkan pada tabel 4.5 gambar 4.2 berikut:

Tabel 4.5 Data hasil pengujian torsi pada setiap variasi bahan bakar

rpm	Torsi (Nm)		
	Premium	E-5	E-10
1750	2.7	2.7	2.6
2000	3.1	2.9	2.8
2250	3.4	3.1	3.0
2500	3.8	3.3	3.2
2750	3.9	3.4	3.4
3000	4.3	3.7	3.6
3250	4.4	4.0	3.4
3500	4.4	4.2	3.1
3750	3.9	3.8	2.9



Gambar 4.2 Grafik torsi vs putaran

Berdasarkan hasil pengujian, maka torsi yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar premium masih unggul dibandingkan dengan torsi yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar *gasohol E-5* dan *E-10*. Torsi maksimum yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar premium sebesar 4.4 Nm pada putaran 3250 rpm dan 3500 rpm. Sedangkan torsi tertinggi yang dihasilkan mesin berbahan bakar *gasohol E-5* sebesar 4.2 Nm pada putaran 3500 rpm dan torsi tertinggi dari *gasohol E-10* sebesar 3.6 Nm pada putaran 3000 rpm.

Torsi mesin semakin berkurang seiring meningkatnya kadar etanol dalam campuran bahan bakar, sebab besarnya torsi dipengaruhi oleh energi hasil pembakaran. Dimana besarnya energi hasil pembakaran bahan bakar dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar. Nilai kalor bahan bakar premium lebih besar jika dibandingkan dengan nilai kalor bahan bakar *gasohol E-5* dan *E-10*. Etanol memiliki satu molekul OH dalam susunan molekulnya. Oksigen yang berikatan di dalam molekul etanol tersebut membantu penyempurnaan pembakaran antara campuran udara dan bahan bakar di dalam silinder. Ditambah dengan rentang keterbakaran (*flammability*) yang lebar dibandingkan dengan gasoline, sehingga pembakaran campuran udara dan bahan bakar etanol menjadi lebih homogen. Putaran mesin juga berpengaruh terhadap torsi. Akibat putaran mesin yang meningkat maka torsi akan semakin berkurang.

4.2.2 Daya

Besarnya daya yang dihasilkan dari masing-masing pengujian baik dengan menggunakan bahan bakar premium, *gasohol E-5*, *gasohol E-10* pada tiap variasi putaran dapat dihitung berdasarkan persamaan (2.3) sebagai berikut:

$$P = \frac{2\pi nT}{60}$$

dimana :

P = daya (watt)

n = putaran *engine* (rpm)

T = torsi (N.m)

Untuk pengujian dengan bahan bakar premium pada putaran 3000 rpm. Maka besar daya yang diperoleh adalah:

$$P = \frac{2 \pi 3000 4.3}{60}$$

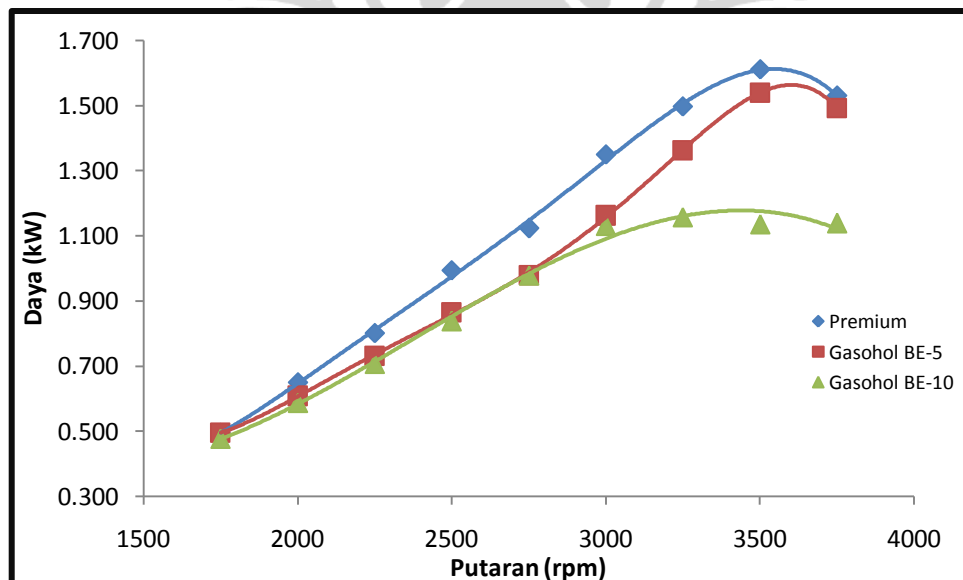
$$= 1.350 \text{ kW}$$

Dengan cara yang sama untuk setiap jenis pengujian, pada putaran dan variasi bahan bakar, maka hasil perhitungan daya untuk kondisi tersebut dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil perhitungan daya.

rpm	Daya (kW)		
	Premium	E-5	E-10
1750	0.50	0.50	0.48
2000	0.65	0.61	0.59
2250	0.80	0.73	0.71
2500	0.99	0.86	0.84
2750	1.12	0.98	0.98
3000	1.35	1.16	1.13
3250	1.50	1.36	1.16
3500	1.61	1.54	1.14
3750	1.53	1.49	1.14

Perbandingan besarnya daya untuk masing-masing pengujian pada stipa variasi bahan bakar dan putaran dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik daya vs putaran

Hasil pengujian dari tabel 4.6 dan gambar grafik 4.3 didapat, daya maksimum untuk mesin berbahan bakar premium 1.61 kW pada putaran 3500 rpm. Pada putaran yang sama pada mesin berbahan bakar *gasohol E-5* diperoleh daya maksimal sebesar 1.54 kW, sedangkan pada mesin berbahan bakar *gasohol E-10* daya maksimum terjadi pada putaran 3250 rpm yaitu sebesar 1.16 kW. Kadar etanol semakin tinggi di dalam campuran bahan bakar premium dapat menurunkan daya motor bakar, karena nilai kalor *gasohol* lebih kecil dari premium yang berpengaruh terhadap pembakaran di dalam ruang bakar.

4.2.3 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Pengujian dilakukan menggunakan buret/gelas ukur dengan volume pengosongan 5 cc pada berbagai variasi bahan bakar, mulai dari bahan bakar premium dengan berat jenis 0,72 kg/liter hingga bahan bakar *gasohol E-5* dan *gasohol E-10* dengan berat jenis etanol (E-100) adalah 0.794 kg/liter. Konsumsi bahan bakar spesifik dihitung menggunakan rumus :

$$SFC = \frac{mf}{P}$$

dengan :

$$mf = \frac{b}{t} \frac{3600}{1000} f_{ibb}$$

dimana :

SFC = konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kW.h)

mf = konsumsi bahan bakar (kg/h)

P = daya (kW)

b = volume buret yang dipakai dalam pengujian (cc)

t = waktu yang diperlukan untuk pengosongan buret (s)

f_{ibb} = massa jenis bahan bakar (kg/l)

Massa jenis bahan bakar premium adalah 0.72 kg/l dan massa jenis etanol (E-100) adalah 0.794 kg/l. sedangkan untuk bahan bakar campuran antara etanol dengan premium, massa jenisnya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pendekatan berikut:

$$f_{ibb} BE_{xx} = (BE \times 0.794) + (P \times 0.72)$$

dimana:

BE = Persentase kandungan etanol dalam bahan bakar campuran.

P = Persentase kandungan premium dalam bahan bakar campuran.

Untuk *gasohol E-5* dengan persentase etanol 0.05 dan 0.95 maka:

$$\begin{aligned} F_{ibb} (BE-5) &= (0.05 \times 0.794) + (0.95 \times 0.72) \\ &= 0.724 \text{ kg/l} \end{aligned}$$

Dengan memasukkan massa jenis *gasohol E-5* $f_{ibb} (BE-5) = 0.724 \text{ kg/l}$, harga t diambil dari percobaan (Tabel 4.2) dan harga $b = 5 \text{ ml}$, maka laju aliran bahan bakar untuk pengujian dengan menggunakan bahan bakar *gasohol E-5*, pada putaran 2500 rpm adalah:

$$\begin{aligned} mf &= \frac{5}{32.89} \times \frac{3600}{1000} \times 0.724 \\ &= 0.396 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Dengan diperolehnya besar laju aliran massa bahan bakar, maka besar konsumsi bahan bakar spesifiknya adalah:

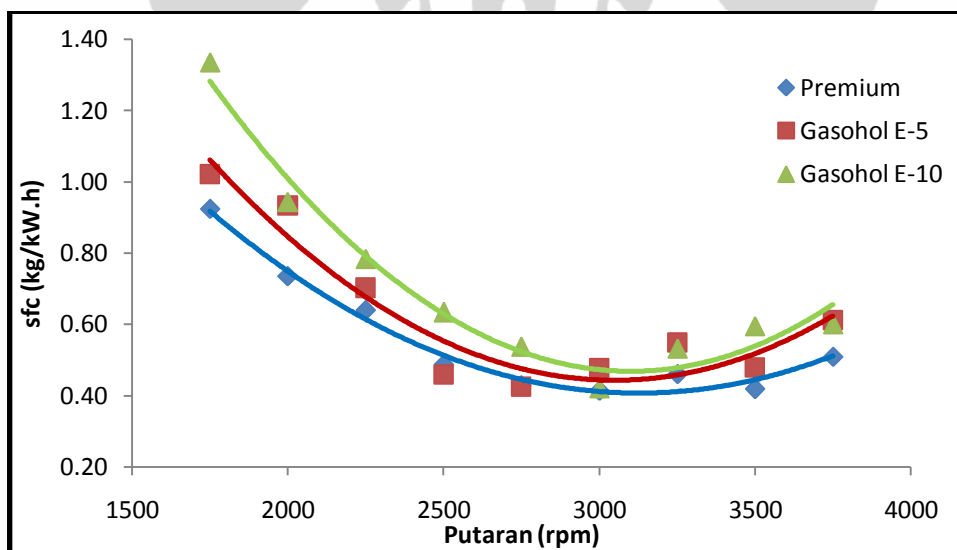
$$\begin{aligned} SFC &= \frac{0.396}{0.864} \\ &= 0.458 \text{ kg/kW.h} \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk setiap jenis pengujian, pada putaran yang bervariasi, maka hasil perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik untuk kondisi tersebut dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik.

rpm	sfc (kg/kW.h)		
	Premium	E-5	E-10
1750	0.92	1.02	1.34
2000	0.74	0.93	0.94
2250	0.64	0.70	0.78
2500	0.49	0.46	0.63
2750	0.43	0.42	0.54
3000	0.41	0.48	0.42
3250	0.46	0.55	0.53
3500	0.42	0.48	0.60
3750	0.51	0.61	0.60

Perbandingan harga SFC untuk masing-masing pengujian pada setiap variasi campuran bahan bakar dan putaran dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik SFC vs putaran

Berdasarkan hasil perhitungan SFC maka didapat, bahan bakar *gasohol E-10* memiliki sfc lebih besar yaitu 1.34 kg/kWh pada putaran 1750 rpm. Pada putaran yang sama, bahan bakar premium dan *gasohol E-5* menghasilkan SFC sebesar 0.92 kg/kWh dan 1.02 kg/kWh.

Secara umum, penambahan etanol pada premium meningkatkan konsumsi bahan bakar spesifik. Hal ini disebabkan karena campuran bahan bakar premium-etanol yang semakin tinggi, maka nilai kalor bahan bakar semakin turun yang akan mengakibatkan energi di dalam pembakaran semakin berkurang. Konsumsi bahan bakar spesifik dipengaruhi oleh putaran mesin. Semakin tinggi putaran mesin maka konsumsi bahan bakar juga meningkat dan sebaliknya. Hal ini disebabkan oleh peningkatan laju aliran bahan bakar.

4.3 Pengujian Karakteristik Motor Listrik

4.3.1 Efisiensi Motor Listrik

Untuk mengetahui karakteristik dengan berpedoman pada data pada *name plat*, maka dilakukan pengujian menggunakan *dynamometer*. Pengujian dilakukan dengan melakukan pembebanan konstan pada generator dan putaran variabel.

Pengujian ini dibatasi oleh hal-hal berikut ini :

1. Arus listrik maksimal 9,8 ampere dengan toleransi 10%.
2. Tegangan maksimal 170 volt dengan toleransi 10%.
3. Putaran tertinggi 1800 rpm.
4. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali.

Efisiensi motor listrik merupakan perbandingan daya poros output terhadap konsumsi daya listrik.

$$\eta = \frac{2\pi nT}{60VI}$$

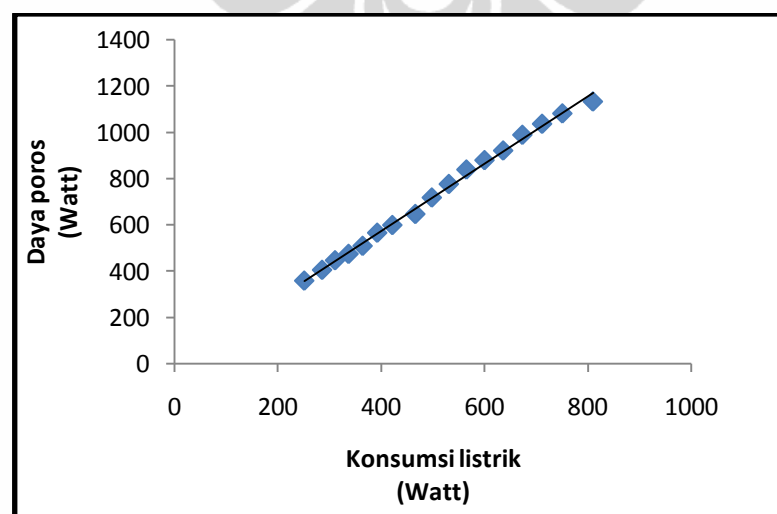
Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dan dicantumkan dalam lampiran.

Hasil pengujian ditampilkan dalam tabel 4.8.

Tabel 4.8 Efisiensi rata-rata motor listrik.

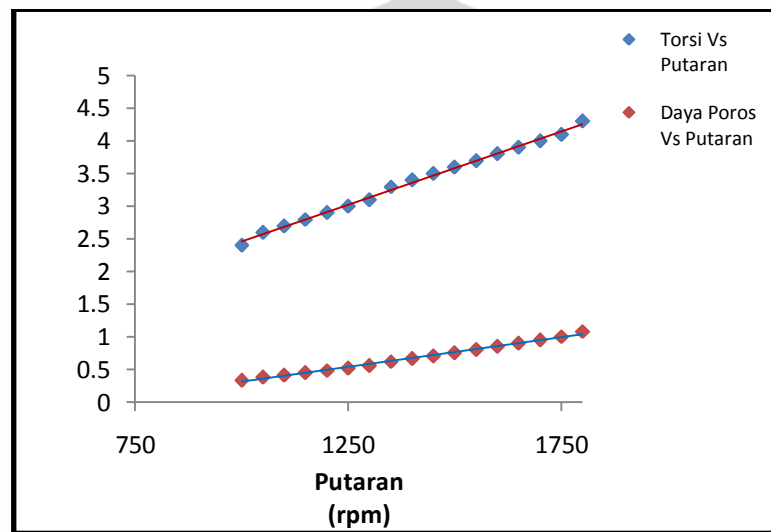
Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	Daya listrik (watt)	Daya poros (watt)	Efisiensi
1000	2.40	336.60	251.20	0.75
1050	2.60	362.10	285.74	0.79
1100	2.70	399.60	310.86	0.78
1150	2.80	444.60	337.03	0.76
1200	2.90	486.00	364.24	0.75
1250	3.00	504.00	392.50	0.78
1300	3.10	548.10	421.81	0.77
1350	3.30	594.00	466.29	0.79
1400	3.40	634.50	498.21	0.79
1450	3.50	662.40	531.18	0.80
1500	3.60	690.00	565.20	0.82
1550	3.70	741.60	600.26	0.81
1600	3.80	763.20	636.37	0.83
1650	3.90	808.50	673.53	0.83
1700	4.00	867.50	711.73	0.82
1750	4.10	907.90	750.98	0.83
1800	4.30	972.00	810.12	0.83
Efisiensi rata-rata				0.80

Dari tabel diatas, maka konsumsi listrik pada motor listrik terhadap daya poros dapat dilihat pada gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Grafik daya poros vs konsumsi listrik.

Grafik daya poros vs konsumsi listrik dalam gambar 4.5 menunjukkan hubungan yang linier. Dengan kecenderungan tersebut, maka efisiensi motor listrik rata-rata total dapat dipakai untuk menentukan daya poros melalui perhitungan. Tabel 4.8 menunjukkan efisiensi rata-rata dari ketiga pengujian, yang selanjutnya diperoleh juga efisiensi rata-rata totalnya. Efisiensi motor listrik cenderung fluktuatif dengan kisaran yang relatif rendah. Efisiensi rata-rata total dari motor listrik ini selanjutnya dipakai untuk memetakan komposisi perbandingan daya yang digunakan antara motor listrik dengan motor bakar.



Gambar 4.6. Grafik torsi dan daya poros terhadap putaran.

Karakter torsi (dalam Nm) dan daya (dalam HP) ditunjukkan dalam gambar 4.6. Torsi dan daya juga mempunyai hubungan yang linier terhadap putaran. Hal ini sesuai dengan karakteristik motor listrik, dimana pada suatu putaran akan mengalami torsi tertinggi dan selanjutnya torsi akan relatif konstan sampai daya maksimum.

4.4 Pengujian Hibriditas Optimal.

Pengujian dilakukan dengan menggabungkan motor listrik dan motor pembakaran dalam satu sistem. Torsi yang terbaca pada *torque measuring unit* merupakan torsi gabungan motor listrik dan motor pembakaran dalam. Metode

pengujian adalah dengan variasi daya motor listrik pada daya motor pembakaran dalam dan torsi gabungan konstan.

untuk mengetahui daya output pada masing-masing penggerak menggunakan persamaan :

$$P_{\text{tot}} = P_{\text{ML}} + P_{\text{MPD}}$$

Sedangkan :

$$P_{\text{ML}} = (0,882P_L) - 50,59$$

dimana :

P_{ML} = daya poros motor listrik

P_L = konsumsi energi listrik dari motor listrik

P_{tot} = daya poros gabungan yang terbaca dari *dynamometer*

Sedangkan hibriditas dari dihitung menggunakan rumus :

$$H = \frac{\text{Daya poros motor listrik}}{\text{Daya poros motor listrik} + \text{Daya poros motor bakar}}$$

Karena keterbatasan kekuatan mekanisme, maka pengujian dilakukan dengan batasan-batasan sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan pada torsi 1,5 N.m, 2,5 N.m, dan 3,5 N.m.
2. Pengujian dilakukan masing-masing tiga kali pada tiap tingkat torsi dan variasi bahan bakar pada motor bakar (premium, *gasohol E-5* dan *gasohol E-10*).
3. Daya poros yang terukur merupakan daya gabungan motor listrik dan motor pembakaran dalam.
4. Pengaruh temperatur lingkungan diabaikan.
5. Parameter yang diamati adalah daya poros total, konsumsi bahan bakar motor bakar dan konsumsi daya listrik pada motor listrik.

Metode pengujian adalah sebagai berikut :

1. Berikan tegangan eksitasi pada generator/dynamometer.
2. Hidupkan motor bakar dan atur putaran pada 2500 rpm selama 10 menit.
3. Putar knop pada resistor bank untuk mengatur besarnya tahanan yang digunakan. Putar sampai didapatkan torsi yang diinginkan atau yang mendekati.
4. Atur kembali putaran motor bensin sampai didapatkan torsi yang diinginkan.
5. Hidupkan motor listrik, atur putarannya sehingga amperemeter yang dipasang untuk mengukur konsumsi arus motor listrik tidak menunjukkan angka minus. Hal ini berarti motor listrik tidak menjadi generator. Atur putaran motor listrik dan motor bakar hingga amperemeter menunjukkan angka nol.
6. Setelah fix, kurangi putaran motor bakar dengan mengatur throttle sehingga dayanya turun. Naikkan putaran/daya motor listrik sehingga *torque measuring unit* kembali menunjukkan torsi yang diinginkan.
7. Catat tegangan dan arus motor listrik, serta waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak 5 cc.
8. Lakukan kembali langkah 6 sampai 8, sampai putaran throttle motor bensin sudah tidak berpengaruh terhadap turunnya torsi.
9. Ulangi pengujian dari langkah 1- 8 pada pemakaian bahan bakar *gasohol E-5* dan *gasohol E-10*.

4.4.1 Torsi 1,5 N.m.

Hasil rata-rata pengujian sistem penggerak hibrid antara motor listrik dan motor bensin dengan variasi bahan bakar (premium, *gasohol E-5*, *gasohol E-10*) pada torsi 1,5 N.m dan hasil penghitungan daya poros gabungan ditampilkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil rata-rata pengujian sistem hibrid pada torsi 1.5 Nm.

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)			V ML (volt)			A ML (Ampere)			Waktu (detik)			Daya Poros
	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	
2310	1.5	1.5	1.5	90	90	99	0	0	0	42.69	38.03	39.08	362.67
				93.6	93.6	100.5	1	1.5	1.4	45.14	44.47	40.27	362.67
				99	99	102	3.9	4	5.2	54.16	72.82	55.34	362.67
				101.4	99.6	109.5	5.1	5	5.3	140.23	110.16	77.32	362.67

Hasil perhitungan daya poros motor listrik, daya poros motor bakar, hibriditas, dan konsumsi bahan bakar rata-rata pada bahan bakar premium, *gasohol E-5* dan *E-10* dari ketiga pengujian ditunjukkan dalam tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil perhitungan daya motor listrik, motor bakar, hibriditas, konsumsi daya motor listrik dan konsumsi bahan bakar premium.

Daya Motor Listrik (watt)	Daya Motor Bakar (watt)	Hibriditas	Konsumsi Bahan Bakar (kg/jam)	Konsumsi Daya Listrik Motor Listrik (kW)	BSFC
0.00	362.67	0.00	0.30	0.30	0.84
31.97	330.70	0.09	0.29	0.29	0.79
289.95	72.72	0.80	0.24	0.24	0.66
362.52	0.15	1.00	0.13	0.13	0.36

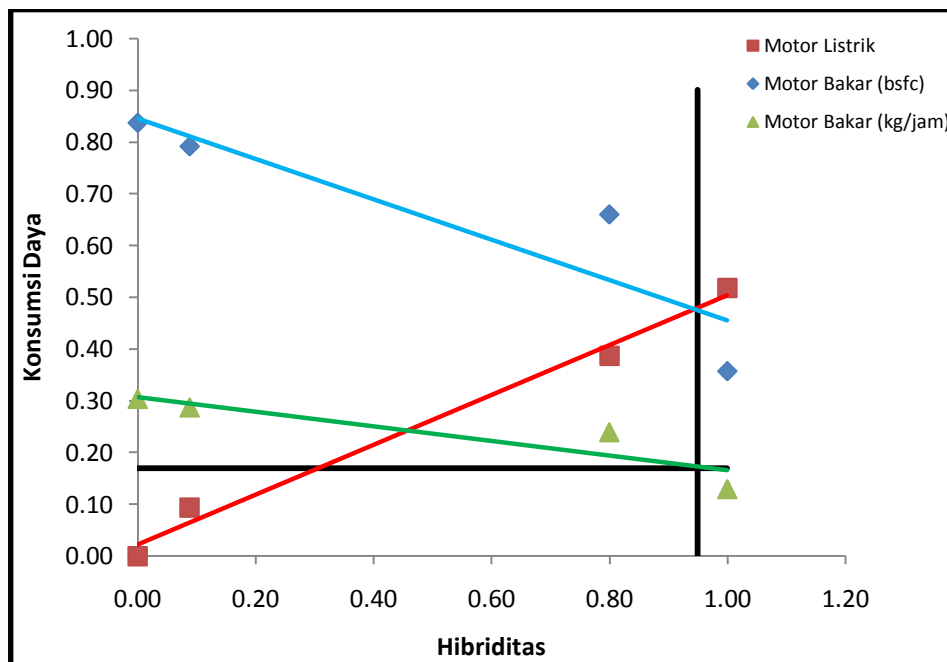
Tabel 4.11 Hasil perhitungan daya motor listrik, motor bakar, hibriditas, konsumsi daya motor listrik dan konsumsi bahan bakar *gasohol E-5*

Daya Motor Listrik (watt)	Daya Motor Bakar (watt)	Hibriditas	Konsumsi Bahan Bakar (kg/jam)	Konsumsi Daya Listrik Motor Listrik (kW)	BSFC
0.00	362.67	0.00	0.34	0.00	0.94
73.24	289.43	0.20	0.29	0.14	0.81
298.68	63.99	0.82	0.18	0.40	0.49
349.10	13.57	0.96	0.12	0.50	0.33

Tabel 4.12 Hasil perhitungan daya motor listrik, motor bakar, hibriditas, konsumsi daya motor listrik dan konsumsi bahan bakar *gasohol E-10*.

Daya Motor Listrik (watt)	Daya Motor Bakar (watt)	Hibriditas	Konsumsi Bahan Bakar (kg/jam)	Konsumsi Daya Listrik Motor Listrik (kW)	BSFC
0.00	362.67	0.00	0.34	0.00	0.93
73.51	289.16	0.20	0.33	0.14	0.90
360.67	2.00	0.99	0.24	0.53	0.65
394.64	0.00	1.00	0.17	0.58	0.47

Dari tabel 4.10 selanjutnya diperoleh hubungan antara hibriditas dengan konsumsi bahan bakar spesifik (bsfc), hubungan hibriditas dengan konsumsi bahan bakar pada motor bakar dan hubungan antara hibriditas dengan konsumsi daya listrik pada motor listrik yang divisualisasikan dalam grafik pada gambar 4.7.

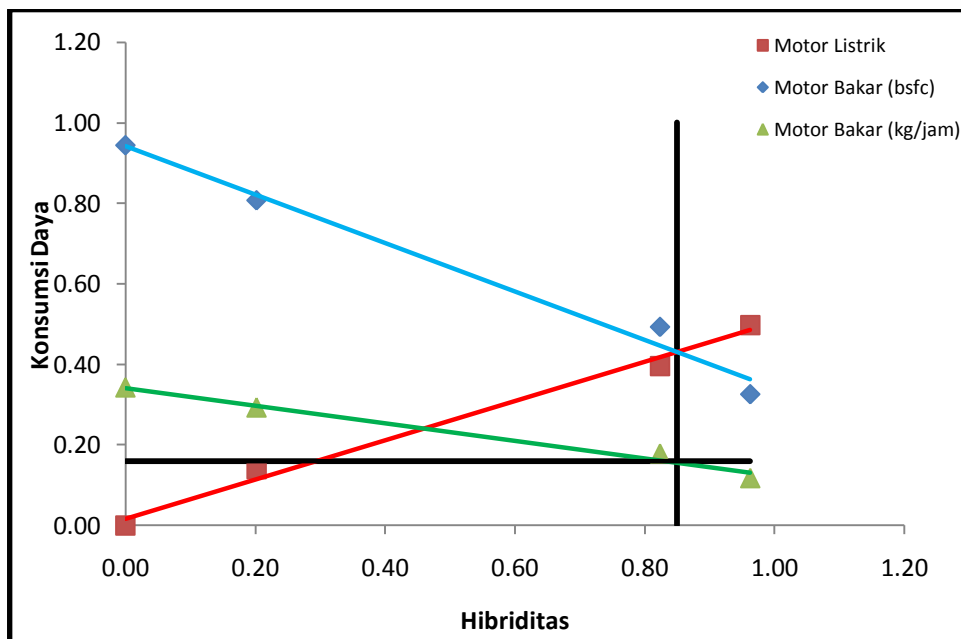


Gambar 4.7 Grafik hubungan hibriditas vs konsumsi daya dengan pemakaian premium pada motor bakar pada torsi 1.5 Nm.

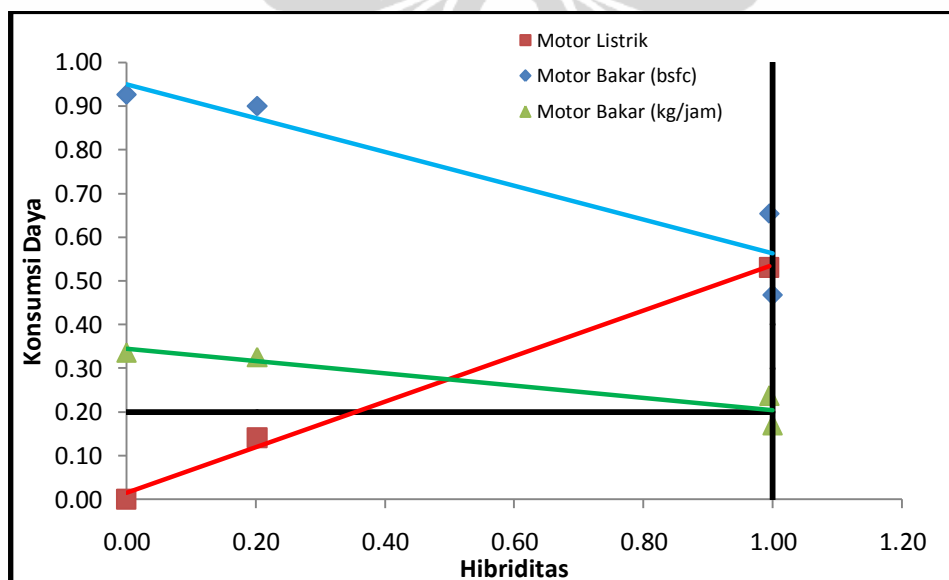
Grafik pada gambar 4.7 adalah representatif dari konsumsi bahan bakar spesifik (bsfc) dan konsumsi motor listrik serta konsumsi bahan bakar (kg/jam) dan konsumsi motor listrik. Grafik tersebut berpotongan di satu titik dengan hibriditas sebagai absis dan konsumsi dayanya. Pada titik perpotongan antara konsumsi bahan bakar (bsfc) dengan konsumsi listrik inilah dimana hibriditas optimum tercapai. Sedangkan titik perpotongan antara konsumsi bahan bakar (kg/jam) dengan konsumsi listrik merupakan konsumsi daya yang dibutuhkan motor bakar dan motor listrik dalam sistem penggerak hibrid. Dengan menggunakan metode *iterative successive* menggunakan bantuan komputer untuk kegiatan komputasi menggunakan bahasa javascript untuk menemukan harga absis yang merupakan hibriditas dan harga ordinat yang merupakan konsumsi daya. Dari hasil perhitungan didapatkan hibriditas optimal 0,95 dengan konsumsi

bahan bakar pada motor bakar sebesar 0,17 kg/jam dan konsumsi energi listrik pada motor listrik sebesar 0,24 kWh (Bayu Aji Girawan , 2010).

Dengan metode perhitungan yang sama, maka grafik hubungan hibriditas terhadap konsumsi daya dengan pemakaian variasi bahan bakar *gasohol E-5* dan *E-10* pada torsi 1.5 Nm dapat ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4.8 Grafik hubungan hibriditas vs konsumsi daya dengan pemakaian *gasohol E-5* pada motor bakar pada torsi 1.5 Nm.



Gambar 4.9 Grafik hubungan hibriditas vs konsumsi daya dengan pemakaian *gasohol E-10* pada motor bakar pada torsi 1.5 Nm.

Dari ketiga gambar grafik tersebut di atas, maka didapat harga hibriditas optimal terhadap konsumsi daya pada motor bakar dan konsumsi daya listrik pada motor listrik dengan variasi pemakaian bahan bakar premium dan premium-etanol (*gasohol E-5* dan *E-10*) pada motor bakar dengan torsi 1.5 Nm yang ditunjukkan pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Konsumsi daya diberbagai variasi bahan bakar terhadap hibriditas optimal pada torsi 1.5 Nm

Bahan Bakar	Torsi (Nm)	Hasil X (Hibriditas)	Konsumsi bahan bakar (kg/jam)	Konsumsi daya listrik (kW)
Premium	1.5	0.95	0.17	0.24
Gasohol E-5		0.85	0.16	0.43
Gasohol E-10		1	0.20	0.29

Dari pembacaan Tabel 4.13 tingkat hibriditas optimal terhadap konsumsi daya pada bahan bakar premium, *gasohol E-5* dan *E-10* tidak terjadi perubahan yang signifikan. Hal ini dilihat dari harga hibriditas optimal pada pemakaian bahan bakar premium, *gasohol E-5* dan *gasohol E-10* pada torsi 1,5 Nm berturut-turut sebesar 0.95, 0.85 dan 1. Dimana pada putaran rendah dengan torsi 1,5 Nm pemakaian motor listrik cenderung lebih besar dibanding pemakaian motor bakar.

Pada perbandingan konsumsi bahan bakar premium lebih rendah dari *gasohol E-10* terjadi selisih 0,03 kg/jam bahan bakar. Hal ini terjadi karena pada hibriditas optimal pada torsi 1.5 Nm, daya dari motor bakar menggunakan *gasohol E-10* dibawah daya dari motor bakar yang menggunakan premium maupun *gasohol E-5*, sehingga konsumsi daya listrik pada motor listrik yang dibutuhkan akan bertambah untuk membantu putaran poros, dimana daya listrik pada *gasohol E-10* sebesar 0,29 kW lebih tinggi dibanding daya listrik pada pemakaian bahan bakar premium yaitu 0,24 kW. Hal ini disebabkan pada sistem penggerak hibrid, motor bakar berbahan bakar *gasohol E-10* terjadi pembakaran yang tidak efisien yang mempengaruhi daya pada putaran rendah (torsi 1,5 Nm).

4.4.2 Torsi 2,5 N.m.

Hasil rata-rata pengujian sistem penggerak hibrid pada torsi 2,5 N.m dan hasil penghitungan daya poros gabungan ditampilkan pada tabel 4.14.



Tabel 4.14 Hasil rata-rata pengujian sistem hibrid pada torsi 2,5 N.m.

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)			V ML (volt)			A ML (Ampere)			Waktu Bahan Bakar (detik)			Daya Poros
	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	
2450	2.5	2.5	2.5	93.3	96	102	0	0	0	33.36	34.5	36.07	641.08
				99	99	106.5	1.3	1.2	2.1	35.16	36.25	35.96	641.08
				105	104.4	114	4.4	3.5	4.7	44.24	43.15	39.73	641.08
				108	108	117	6.3	6.6	7.8	57.53	65.89	64.79	641.08

Hasil perhitungan daya poros motor listrik, daya poros motor bakar, hibriditas, dan konsumsi bahan bakar rata-rata pada bahan bakar premium, *gasohol E-5* dan *E-10* dari ketiga pengujian ditunjukkan dalam tabel

Tabel 4.15 Hasil perhitungan daya motor listrik, motor bakar, hibriditas, konsumsi daya motor listrik dan konsumsi bahan bakar premium.

Daya Motor Listrik (watt)	Daya Motor Bakar (watt)	Hibriditas	Konsumsi Bahan Bakar (kg/jam)	Konsumsi Daya Listrik Motor Listrik (kW)	BSFC
0.00	641.08	0.00	0.39	0.00	0.61
62.92	578.16	0.10	0.37	0.13	0.57
356.89	284.19	0.56	0.29	0.46	0.46
549.52	91.56	0.86	0.23	0.68	0.35

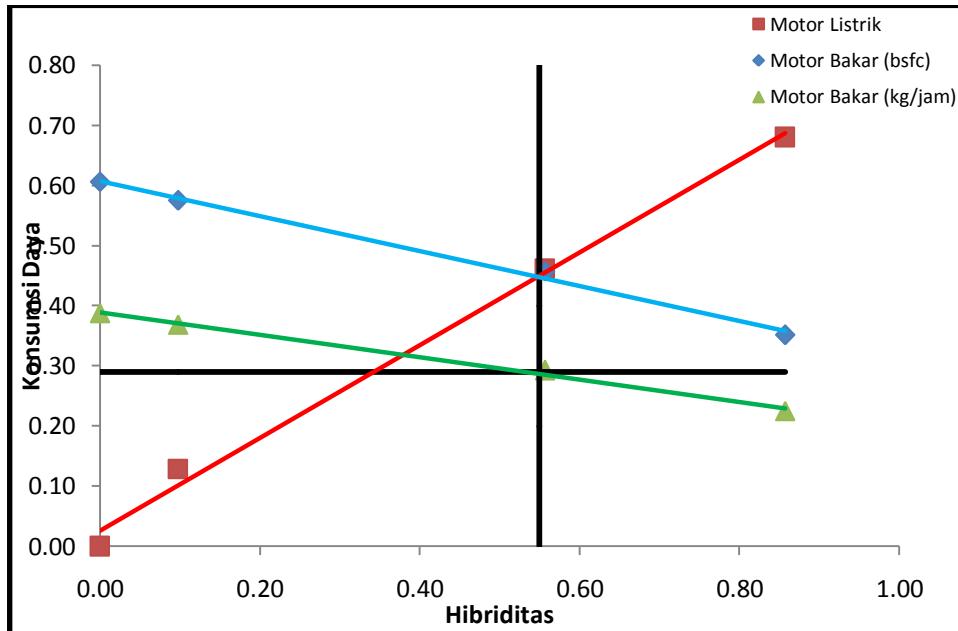
Tabel 4.16 Hasil perhitungan daya motor listrik, motor bakar, hibriditas, konsumsi daya motor listrik dan konsumsi bahan bakar *gasohol E-5*.

Daya Motor Listrik (watt)	Daya Motor Bakar (watt)	Hibriditas	Konsumsi Bahan Bakar (kg/jam)	Konsumsi Daya Listrik Motor Listrik (kW)	BSFC
0.00	899.14	0.00	0.38	0.00	0.59
54.19	844.94	0.08	0.36	0.12	0.56
271.69	627.44	0.42	0.30	0.37	0.47
578.10	321.04	0.90	0.20	0.71	0.31

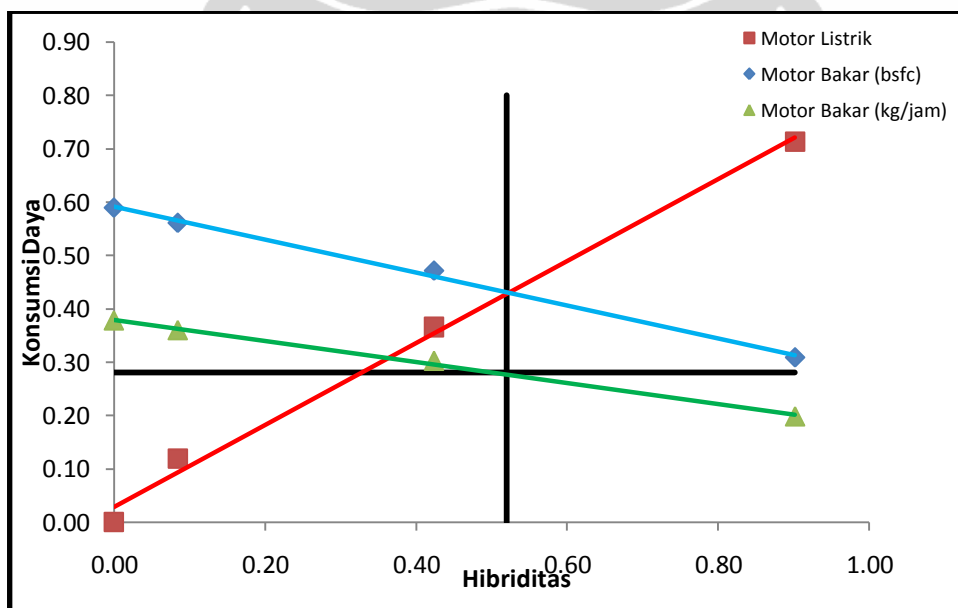
Tabel 4.17 Hasil perhitungan daya motor listrik, motor bakar, hibriditas, konsumsi daya motor listrik dan konsumsi bahan bakar *gasohol E-10*.

Daya Motor Listrik (watt)	Daya Motor Bakar (watt)	Hibriditas	Konsumsi Bahan Bakar (kg/jam)	Konsumsi Daya Listrik Motor Listrik (kW)	BSFC
0.00	641.08	0.00	0.36	0.00	0.57
146.67	494.41	0.23	0.37	0.22	0.57
421.99	219.10	0.66	0.33	0.54	0.52
639.73	0.00	1.00	0.00	0.91	0.00

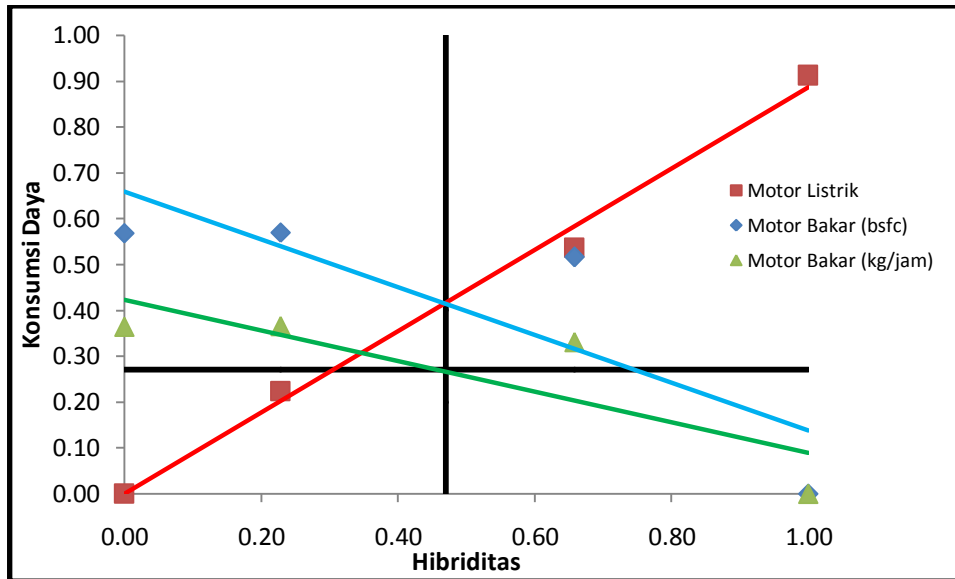
Dari tabel 4.15, 4.16 dan 4.17 selanjutnya diperoleh hubungan antara hibriditas dengan daya input yang dikonsumsi dari bahan bakar dan hubungan antara hibriditas dengan daya konsumsi daya motor listrik pada torsi 2.5 Nm yang divisualisasikan dalam grafik pada gambar 4.10, 4.11 dan 4.12 sebagai berikut:



Gambar 4.10 Grafik hubungan hibriditas vs konsumsi daya dengan pemakaian premium pada motor bakar pada torsi 2.5 Nm.



Gambar 4.11 Grafik hubungan hibriditas vs konsumsi daya dengan pemakaian gasohol E-5 pada motor bakar pada torsi 2.5 Nm.



Gambar 4.12 Grafik hubungan hibriditas vs konsumsi daya dengan pemakaian *gasohol E-10* pada motor bakar pada torsi 2.5 Nm.

Dari ketiga gambar grafik tersebut di atas, maka didapat harga hibriditas optimal terhadap konsumsi daya pada motor bakar dan konsumsi daya listrik pada motor listrik dengan variasi pemakaian bahan bakar premium dan premium-etanol (*gasohol E-5* dan *E-10*) pada motor bakar dengan torsi 2.5 Nm yang ditunjukkan pada tabel 4.18.

Tabel 4.18 Konsumsi daya diberbagai variasi bahan bakar terhadap hibriditas optimal pada torsi 2.5 Nm

Bahan Bakar	Torsi (Nm)	Hasil X (Hibriditas)	Konsumsi bahan bakar (kg/jam)	Konsumsi daya listrik (kW)
Premium	2.5	0.55	0.29	0.32
Gasohol E-5		0.52	0.28	0.31
Gasohol E-10		0.47	0.27	0.33

Dari pembacaan Tabel 4.18 tingkat hibriditas optimal terhadap konsumsi daya pada bahan bakar premium, *gasohol E-5* dan *E-10* tidak terjadi perubahan yang signifikan. Hal ini dilihat dari harga hibriditas optimal pada pemakaian bahan bakar premium, *gasohol E-5* dan *gasohol E-10* pada torsi 1,5 Nm berturut-

turut sebesar 0.55, 0.52 dan 0.47. Dimana pada torsi 2,5 Nm kedua penggerak (motor bakar dan motor listrik) melakukan kerja dengan daya 50 : 50

Pada perbandingan konsumsi bahan bakar premium lebih tinggi dari *gasohol E-10* terjadi selisih 0,02 kg/jam bahan bakar. Hal ini terjadi karena pada torsi 2.5 Nm, hibriditas menurun sehingga daya dari motor bakar menggunakan *gasohol E-10* dibawah daya dari motor bakar yang menggunakan premium maupun *gasohol E-5*, sehingga konsumsi daya listrik pada motor listrik yang dibutuhkan akan bertambah untuk membantu putaran poros, dimana daya listrik pada *gasohol E-10* sebesar 0,33 kW lebih tinggi dibanding daya listrik pada pemakaian bahan bakar premium yaitu 0,32 kW. Hal ini disebabkan pada sistem penggerak hibrid, motor bakar berbahan bakar *gasohol E-10* terjadi pembakaran yang tidak efisien yang mempengaruhi daya pada putaran rendah (torsi 2,5 Nm).

4.4.3 Torsi 3.5 N.m.

Hasil rata-rata pengujian sistem penggerak hibrid pada torsi 3,5 N.m dan hasil penghitungan daya poros gabungan ditampilkan pada tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hasil rata-rata pengujian sistem hibrid pada torsi 3.5 Nm.

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)			V ML (volt)			A ML (Ampere)			Waktu (detik)			Daya Poros
	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	
3240	3.5	3.5	3.5	126	126	129	0	0	0	20.84	19.54	18.94	1186.92
				129	130.5	135	1	1	1.1	22.58	20.49	22.13	1186.92
				131.4	132	141	1.8	1.8	4.1	23.72	23.54	26.79	1186.92
				134.1	133.5	144	2.5	2.5	6.4	26.56	26.52	31.34	1186.92
				138	135	150	3.8	3.8	9.4	31.57	26.98	31.41	1186.92
				141	138	151.5	4.7	4.7	10	35.17	27.53	65.33	1186.92
				147	140.1	152.4	6	6	10.6	38.67	34.58	93.34	1186.92

Hasil perhitungan daya poros motor listrik, daya poros motor bakar, hibriditas, dan konsumsi bahan bakar rata-rata pada bahan bakar premium, *gasohol E-5* dan *E-10* dari ketiga pengujian ditunjukkan dalam tabel 4.20, 4.21, 4.22.

Tabel 4.20 Hasil perhitungan daya motor listrik, motor bakar, hibriditas, konsumsi daya motor listrik dan konsumsi bahan bakar premium.

Daya Motor Listrik (watt)	Daya Motor Bakar (watt)	Hibriditas	Konsumsi Bahan Bakar (kg/jam)	Konsumsi Daya Listrik Motor Listrik (kW)	BSFC
0.00	1186.92	0.00	0.62	0.00	0.52
40.43	1146.49	0.03	0.57	0.10	0.48
134.84	1052.08	0.11	0.55	0.21	0.46
327.89	859.03	0.28	0.49	0.43	0.41
570.16	616.76	0.48	0.41	0.70	0.35
832.38	354.54	0.70	0.37	1.00	0.31
1175.27	11.66	0.99	0.34	1.47	0.28

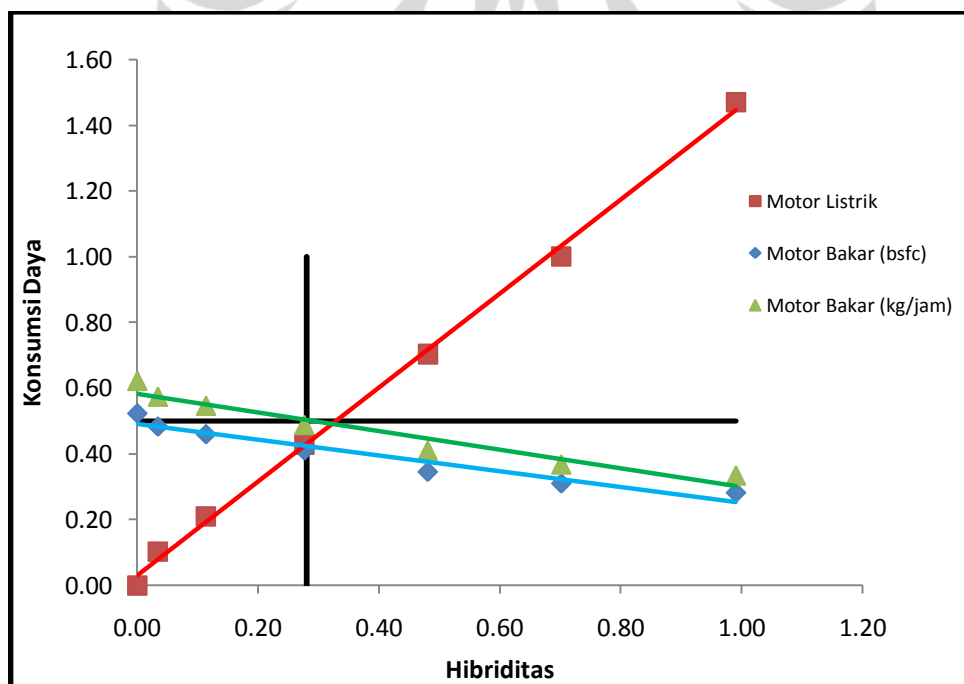
Tabel 4.21 Hasil perhitungan daya motor listrik, motor bakar, hibriditas, konsumsi daya motor listrik dan konsumsi bahan bakar *gasohol E-5*.

Daya Motor Listrik (watt)	Daya Motor Bakar (watt)	Hibriditas	Konsumsi Bahan Bakar (kg/jam)	Konsumsi Daya Listrik Motor Listrik (kW)	BSFC
0.00	1186.92	0.00	0.67	0.00	0.56
64.51	1122.41	0.05	0.64	0.13	0.54
158.97	1027.95	0.13	0.55	0.24	0.47
243.78	943.14	0.21	0.49	0.33	0.41
401.88	785.04	0.34	0.48	0.51	0.41
521.48	665.44	0.44	0.47	0.65	0.40
690.82	496.10	0.58	0.38	0.84	0.32

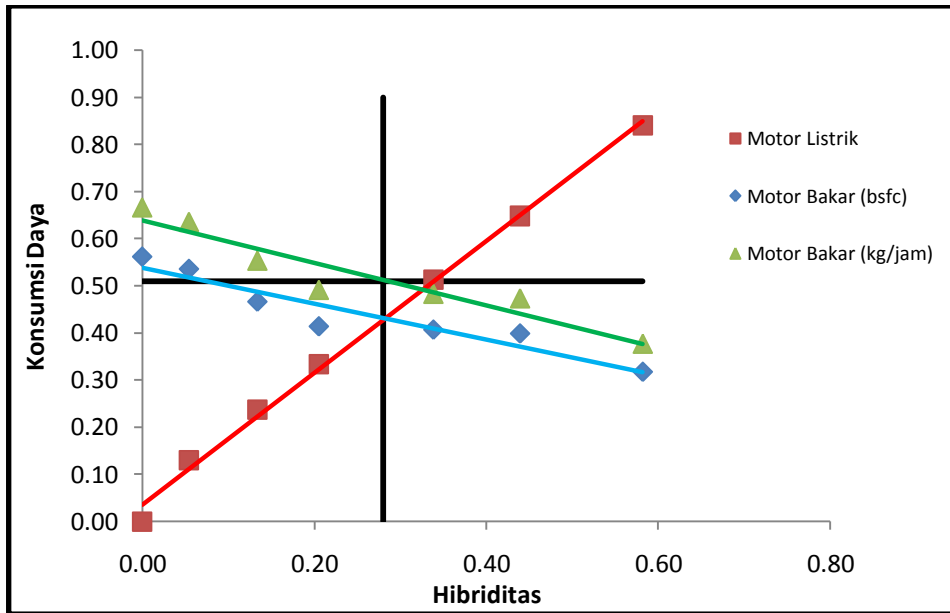
Tabel 4.22 Hasil perhitungan daya motor listrik, motor bakar, hibriditas, konsumsi daya motor listrik dan konsumsi bahan bakar *gasohol E-10*.

Daya Motor Listrik (watt)	Daya Motor Bakar (watt)	Hibriditas	Konsumsi Bahan Bakar (kg/jam)	Konsumsi Daya Listrik Motor Listrik (kW)	BSFC
0.00	1186.92	0.00	0.69	0.00	0.58
80.39	1106.53	0.07	0.59	0.15	0.50
459.29	727.63	0.39	0.49	0.58	0.41
762.26	424.66	0.64	0.42	0.92	0.35
1184.40	2.52	1.00	0.42	1.41	0.35

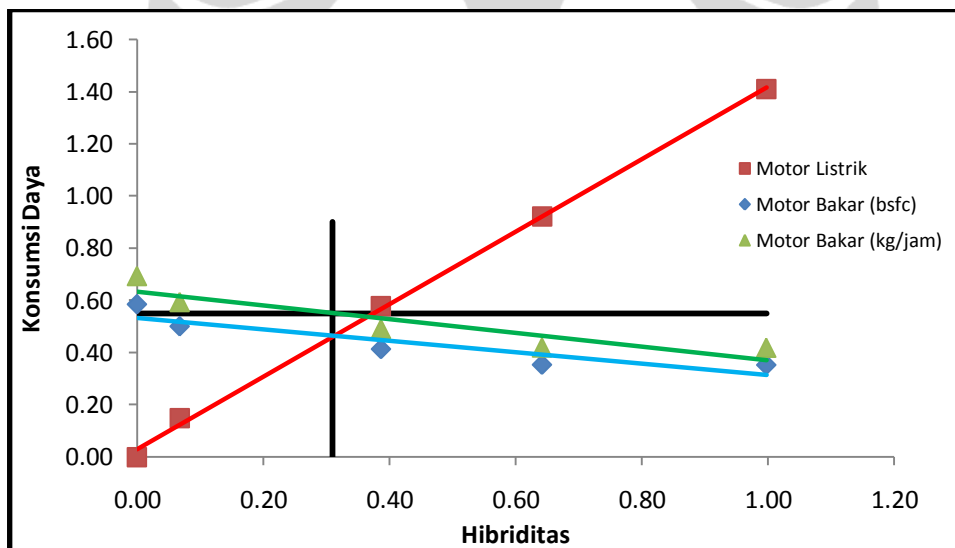
Dari tabel 4.20, 4.21 dan 4.22 selanjutnya diperoleh hubungan antara hibriditas dengan daya input yang dikonsumsi dari bahan bakar dan hubungan antara hibriditas dengan daya konsumsi daya motor listrik pada torsi 2.5 Nm yang divisualisasikan dalam grafik pada gambar 4.13, 4.14 dan 4.15 sebagai berikut:



Gambar 4.13 Grafik hubungan hibriditas vs konsumsi daya dengan pemakaian premium pada motor bakar pada torsi 3.5 Nm.



Gambar 4.14 Grafik hubungan hibriditas vs konsumsi daya dengan pemakaian *gasohol E-5* pada motor bakar pada torsi 3.5 Nm.



Gambar 4.15 Grafik hubungan hibriditas vs konsumsi daya dengan pemakaian *gasohol E-10* pada motor bakar pada torsi 3.5 Nm.

Dari ketiga gambar grafik tersebut di atas, maka didapat harga hibriditas optimal terhadap konsumsi daya pada motor bakar dan konsumsi daya listrik pada motor listrik dengan variasi pemakaian bahan bakar premium dan premium-etanol

(*gasohol E-5* dan *E-10*) pada motor bakar dengan torsi 3.5 Nm yang ditunjukkan pada tabel 4.23.

Tabel 4.23 Konsumsi daya bahan bakar dan konsumsi daya listrik optimum.

Bahan Bakar	Torsi (Nm)	Hasil X (Hibriditas)	Konsumsi bahan bakar (kg/jam)	Konsumsi daya listrik (kW)
Premium	3.5	0.28	0.50	0.49
Gasohol E-5		0.28	0.51	0.49
Gasohol E-10		0.31	0.55	0.54

Dari pembacaan Tabel 4.23 tingkat hibriditas optimal terhadap konsumsi daya pada bahan bakar premium, *gasohol E-5* dan *E-10* tidak terjadi perubahan yang signifikan. Hal ini dilihat dari harga hibriditas optimal pada pemakaian bahan bakar premium, *gasohol E-5* dan *gasohol E-10* pada torsi 3,5 Nm berturut-turut sebesar 0.28, 0.28 dan 0.31. Dimana pada putaran tinggi dengan torsi 3,5 Nm pemakaian motor bakar cenderung lebih besar dibanding pemakaian motor listrik.

Pada perbandingan konsumsi bahan bakar premium lebih rendah dari *gasohol E-10* terjadi selisih 0,05 kg/jam bahan bakar. Hal ini terjadi karena pada hibriditas optimal pada torsi 3.5 Nm, daya dari motor bakar menggunakan *gasohol E-10* dibawah daya dari motor bakar yang menggunakan premium maupun *gasohol E-5*, sehingga konsumsi daya listrik pada motor listrik yang dibutuhkan akan bertambah untuk membantu putaran poros, dimana daya listrik pada *gasohol E-10* sebesar 0,54 kW lebih tinggi dibanding daya listrik pada pemakaian bahan bakar premium yaitu 0,49 kW. Hal ini disebabkan pada sistem penggerak hibrid, motor bakar berbahan bakar *gasohol E-10* terjadi pembakaran yang tidak efisien yang mempengaruhi daya pada putaran tinggi (torsi 3,5 Nm).

4.5. Analisa Ekonomi

4.5.1. Analisa Perhitungan Harga *Gasohol E-5* dan *Gasohol E-10*

Analisa perhitungan biaya ditujukan untuk membandingkan segi ekonomis antara harga premium per liter dengan harga campuran premium-etanol (*gasohol E-5* dan *E-10*) per liter, dimana harga 1 liter etanol yaitu sebesar Rp 4500,00 (PT Medco Ethanol Lampung) dan harga 1 liter premium Rp 4500,00 (setelah disubsidi pemerintah). Perhitungan yang dilakukan adalah dengan membandingkan harga premium dengan harga premium-etanol tanpa subsidi pemerintah. Dari Tabel 2.2, harga premium pada bulan Mei 2008 Rp 9342.5/liter (harga premium AS) dan harga premium dengan subsidi Rp 4500/liter sehingga besar subsidi pemerintah adalah Rp 4842.5/liter.

Secara teoritis, harga campuran premium-etanol dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Harga } Ex = (E \times \text{Rp } 4500) + (\text{Premium} \times \text{Rp } 9342.5)$$

Maka perhitungan harga campuran premium-etanol (*gasohol E-5* dan *E-10*) ditunjukkan seperti dibawah ini:

- Harga *gasohol E-5*/liter

$$\begin{aligned} \text{Harga } E-5/\text{liter} &= (0.05 \times \text{Rp } 4500) + (0.95 \times \text{Rp } 9342.5) \\ &= \text{Rp } 9100.38/\text{liter} \end{aligned}$$

- Harga *gasohol E-10*/liter

$$\begin{aligned} \text{Harga } E-10/\text{liter} &= (0.1 \times \text{Rp } 4500) + (0.9 \times \text{Rp } 9342.5) \\ &= \text{Rp } 8858.25/\text{liter} \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, dapat dilihat harga bahan bakar yang paling mahal adalah bahan bakar premium (tanpa subsidi), sedangkan harga yang paling rendah adalah *gasohol E-10*. Dengan pemakaian *gasohol E-5*, pemerintah dapat menghemat biaya bahan bakar Rp 242.13/liter, sedangkan dengan pemakaian *gasohol E-10* pemerintah menghemat Rp 484.25/liter.

Untuk perbandingan harga etanol dengan premium bersubsidi Rp 4500/liter. Maka harga untuk *gasohol E-5* dan *E-10* sama yaitu Rp 4500/liter.

Harga ini menunjukkan tidak adanya perubahan harga untuk semua campuran premium-etanol.

4.5.2. Analisa Perhitungan Biaya Konsumsi Daya Terhadap Hibriditas

Analisa perhitungan biaya konsumsi daya terhadap hibriditas ini ditujukan untuk membandingkan segi ekonomis kebutuhan bahan bakar motor pembakaran dalam dan konsumsi daya listrik motor listrik di tiap tingkat hibriditas optimal pada tiap daya total antara memakai bahan premium dengan premium-etanol (*gasohol E-5 dan E-10*). Perhitungan biaya konsumsi daya terhadap hibriditas optimal ini adalah dengan menjumlahkan biaya konsumsi bahan bakar pada motor pembakaran dalam (liter/jam) berdasarkan harga bahan bakar non subsidi yang dikonsumsi dan biaya konsumsi listrik pada motor listrik berdasarkan TDL (Tarif Daftar Listrik)/kWh pada tingkat hibriditas optimal.

Secara teori, perhitungan jumlah biaya konsumsi daya total pada tiap tingkat hibriditas optimal ini dapat ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$HP_{tot} = (KP_{MPD} \times HBB) + (KP_{ML} \times TDL)$$

dimana :

HP_{to} = Biaya total konsumsi daya pada tiap tingkat hibriditas (rupiah)

KP_{MPD} = Konsumsi bahan bakar motor pembakaran dalam (liter/jam)

HBB = Harga bahan bakar non subsidi pemerintah (rupiah)

KP_{ML} = Konsumsi daya listrik pada motor listrik (kWh)

TDL = Tarif Dasar Listrik golongan tarif rumah tangga (Rp 415/kWh)

(PT PLN, Peraturan Menteri ESDM Nomor 07 Tahun 2010)

Dengan asumsi sistem pengisian ulang (*rechargeable*) sumber listrik diabaikan, maka perhitungan biaya konsumsi daya total di tiap tingkat hibriditas

optimal pada sistem hibrid antara memakai bahan premium dengan premium-etanol (*gasohol E-5* dan *E-10*) ditunjukkan pada tabel-tabel berikut:

Tabel 4.24 Analisa Perhitungan Biaya Konsumsi Daya Pada Tingkat Hibriditas Optimal dengan Bahan Bakar Premium

Torsi	Daya Total	Hibriditas Optimal	Massa Jenis Bahan Bakar Premium	Konsumsi BB Premium (kg/jam)	Konsumsi BB Premium (liter/jam)	Harga Premium non subsidi/liter (Rp)	Konsumsi BB Premium (Rp)	Konsumsi Daya Listrik (kWh)	TDL/kWh (Rp)	Konsumsi Daya Listrik (Rp)	Konsumsi Daya Total (Rp)
1.5	362.67	0.95	0.72	0.17	0.24	9342.5	2232.47	0.24	415	99.60	2332.07
2.5	641.08	0.55	0.72	0.29	0.40		3762.95	0.32		132.80	3895.75
3.5	1186.92	0.28	0.72	0.50	0.69		6487.85	0.49		203.35	6691.20

Tabel 4.25 Analisa Perhitungan Biaya Konsumsi Daya Pada Tingkat Hibriditas Optimal dengan Bahan Bakar E-5

Torsi	Daya Total	Hibriditas Optimal	Massa Jenis Bahan Bakar E-5	Konsumsi BB E-5 (kg/jam)	Konsumsi BB E-5 (liter/jam)	Harga E-5 non subsidi/liter (Rp)	Konsumsi BB E-5 (Rp)	Konsumsi Daya Listrik (kWh)	TDL/kWh (Rp)	Konsumsi Daya Listrik (Rp)	Konsumsi Daya Total (Rp)
1.5	362.67	0.85	0.72	0.16	0.22	9100.4	2022.31	0.24	415	99.60	2121.91
2.5	641.08	0.52		0.28	0.39		3539.04	0.31		128.65	3667.69
3.5	1186.92	0.28		0.51	0.71		6446.10	0.49		203.35	6649.45

Tabel 4.26 Analisa Perhitungan Biaya Konsumsi Daya Pada Tingkat Hibriditas Optimal dengan Bahan Bakar E-10

Torsi	Daya Total	Hibriditas Optimal	Massa Jenis Bahan Bakar E-10	Konsumsi BB E-10 (kg/jam)	Konsumsi BB E-10 (liter/jam)	Harga E-10 non subsidi/liter (Rp)	Konsumsi BB E-10 (Rp)	Konsumsi Daya Listrik (kWh)	TDL/kWh (Rp)	Konsumsi Daya Listrik (Rp)	Konsumsi Daya Total (Rp)
1.5	362.67	1.00	0.71	0.20	0.28	8858.25	2484.78	0.29	415	120.35	2605.13
2.5	641.08	0.47		0.27	0.38		3354.46	0.31		128.65	3483.11
3.5	1186.92	0.31		0.55	0.77		6833.15	0.49		203.35	7036.50

Dari Tabel 4.24, 4.25 dan 4.26 menunjukkan bahwa konsumsi daya pada tingkat hibriditas optimal dengan menggunakan bahan bakar *gasohol E-5* lebih ekonomis dibanding konsumsi daya pada tingkat hibriditas optimal dengan menggunakan bahan bakar premium dan *gasohol E-10*. Pada torsi dan daya yang sama yaitu 1,5 Nm dan 362,67 Watt, konsumsi daya total sistem penggerak hibrid yang motor pembakaran dalamnya menggunakan bahan bakar premium, *gasohol E-5* dan *E-10* berturut-turut adalah Rp 2332,07, Rp 2121,91 dan Rp 2605,13. Hal ini disebabkan selain lebih murah harga *gasohol E-5*/liter dibanding premium/liter, karena daya yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar *gasohol E-5* hampir sama dengan daya yang dihasilkan menggunakan bahan bakar premium. Pada torsi 3,5 Nm konsumsi daya total pada penggerak hibrid memakai premium, *gasohol E-5* dan *E-10* berturut-turut adalah Rp 6691,2, Rp 6649,45 dan Rp 7036,5. Pemakaian bahan bakar *gasohol E-5* pada motor bakar lebih ekonomis dibanding bahan bakar premium pada sistem penggerak hibrid.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dari pengujian karakteristik motor bensin, motor listrik dan sistem gabungan motor listrik dan motor bakar (hibrid), dengan daya nominal motor bakar 2,8 HP dan daya nominal motor listrik 1,5 kW antaran pemakaian bahan bakar premium dengan pemakaian bahan bakar campuran (*gasohol E-5* dan *E-10*) adalah sebagai berikut :

1. Semakin tinggi kadar etanol pada campuran bahan bakar premium-etanol akan semakin menurun nilai kalor bahan bakar, karena nilai kalor etanol lebih rendah dibanding premium.
2. Semakin tinggi nilai kalor maka energi yang dihasilkan di dalam pembakaran semakin meningkat dan sebaliknya semakin rendah nilai kalor bahan bakar maka energi hasil pembakaran akan semakin menurun.
3. Tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap perbandingan pemakaian bahan bakar premium dengan campuran premium-etanol pada tingkat hibriditas optimal.
4. Pengaruh perbandingan pemakaian bahan bakar premium dengan campuran premium-etanol terhadap konsumsi bahan bakar motor bensin sangat kecil. Pada torsi 2.5 Nm konsumsi bahan bakar motor bensin antara pemakaian bahan bakar premium dan *gasohol E-5* pada sistem hibrid terjadi penurunan 5 %. Pada torsi yang sama, konsumsi bahan bakar motor bensin antara pemakaian bahan bakar premium dan *gasohol E-10* untuk motor bensin pada sistem hibrid terjadi penurunan 7,83 %.
5. Tidak ada pengaruh yang signifikan terhadap pemakaian konsumsi daya listrik motor listrik pada sistem penggerak hibrid antara memakai bahan premium dengan premium campuran etanol.
6. Semakin tinggi putaran mesin, torsi dan daya semakin meningkat. Pada putaran mesin tertentu, torsi dan daya terjadi penurunan. Sedangkan untuk SFC terjadi sebaliknya, semakin tinggi putaran mesin, SFC semakin turun. Pada torsi dan daya maksimal, SFC terjadi penurunan.

7. Dilihat dari segi ekonomis, pemakaian bahan bakar gasohol E-5 lebih hemat daripada pemakaian bahan bakar premium pada penggerak hibrid. Pada putaran 2310 rpm, pemakaian bahan bakar gasohol E-5 lebih hemat biaya 10 % dibanding dengan pemakaian bahan bakar premium. Pada putaran 2450 rpm gasohol E-5 hemat 6,22 % dan pada putaran 3240 rpm bahan bakar gasohol E-5 hemat biaya sebesar 0,63 %.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan hasil penelitian disarankan:

1. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut sistem penggerak hibrid menggunakan bahan bakar campuran premium-etanol pada putaran konstan dimana motor bakar mempunyai BSFC yang optimum, dengan variasi torsi.
2. Gunakan motor listrik dengan putaran tinggi, atau sebisa mungkin putaran nominal dan daya motor listrik tidak berada jauh di bawah putaran motor bakar. Jika putaran motor listrik jauh dibawah putaran motor bakar maka gunakan rasio untuk untuk mengatasi hal ini.
3. Untuk mendukung kelancaran dan akurasi hasil pengujian sebaiknya gunakan jenis penerus daya dan kopling yang kuat karena gabungan daya mempunyai impak yang besar sebanding dengan beban torsi serta dilakukan pemeriksaan dan kalibrasi terhadap instrumentasi dan alat ukur setiap kali akan melakukan pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Bishop, J., Nedungadi, et.al.**, “*An engine start/stop system for improved economy*”, SAE Paper No. 2007-01-1777, 2007.
- C. E. Wayman.**, “*Twenty Years of Trials, Tribulations and Research Progress in Bioethanol Technology*”, Appl. Biochem. Biotech, 2001.
- Chalilullah, Rangkuti.**, “*Panduan Praktikum Bom Kalorimeter*”, Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin USU, Medan, 1996.
- Choi, D. and Kim, H.**, “*Evaluation of Fuel Economy for a Parallel Hybrid Electric Vehicle*”, KSME International Journal, Vol. 16 No. 10, pp. 1287 – 1295, 2002.
- Ehsani, Mehrdad et.al.**, “*Modern Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell Vehicles*”, CRC Press, Newyork, 2010.
- Fuhs, A.**, “*Hybrid Vehicle and The Future of Personal Transportation*”, CRC Press, New York, 2009.
- Husain, I.**, “*Electric and Hybrid Vehicle Design Fundamental*”, CRC Press, New York, 2005.
- Khurmi, R., et al.**, “*Theory of Machines*”, S. Chand & Co. Ltd., New Dehli 2005.
- Koestoer., R. A.**, “*Pengukuran Teknik*”, 1 November 2004.
- Listijorini, E., & moore.**, “*Pengembangan Teknologi Pengendali Switching Pada Kendaraan Hybrid Roda Dua*”, Seminar Nasional Pascasarjana X – ITS, Surabaya 4 Agustus 2010.
- McCormick.**, “*Technical Barriers to the Use of Erhanol in Diesel Fuel*, 2001.
- Morris, Alan S.**, “*Measurement and Instrumentation Principles*”, Butterworth Heinemann, 2001.
- Nakoela Soenarta.**, “*Motor Serbaguna*”, Pradnya Paramitha, Jakarta, 1995.
- Oh, K., Kim, D., Kim, T., Kim, C., Kim, H.**, “*Operation Algorithm for a Parallel Hybrid Electric Vehicle with a Relatively Small Electric Motor*”, KSME International Journal, Vol 18 No. 1, pp 30-36, 2004.
- Ohn, H. , Min, K.**, “*Combustion Stability Analysis During Engine Stop and Restart in Hybrid Powertrain*”, International Journal of Automotive Technology, Vol. 10, No. 2, pp. 241–249, 2009.

Rahman, A., “*Teknologi Fermentasi*”, Arcan, Jakarta, 1992.

Sugiarto, B., “*Motor Pembakaran Dalam*”, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2005.

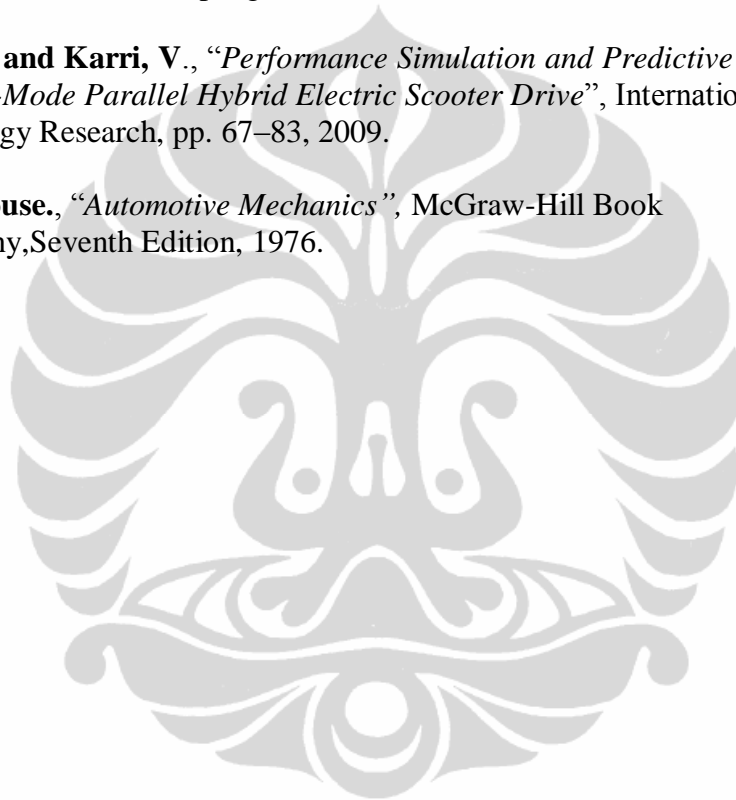
Sularso, Suga, K., “*Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*” 2002.

Suyanto, Wardan., “*Teori Motor Bensin*” Jakarta, Depdikbud, 1989.

Y. Indartono., “*Bioetanol Alternatif Energi Terbarukan*”, Kajian Prestasi Mesin dan Implementasi di Lapangan, 2005.

Yap, W., K., and Karri, V., “*Performance Simulation and Predictive Model For a Multi-Mode Parallel Hybrid Electric Scooter Drive*”, International Journal Of Energy Research, pp. 67–83, 2009.

William, Crouse., “*Automotive Mechanics*”, McGraw-Hill Book Company, Seventh Edition, 1976.



Lampiran 1: Tabel Hasil Pengujian Bom Kalorimeter

Tabel hasil pengujian dan perhitungan bom kalorimeter.

Bahan Bakar	No Pengujian	T1(°C)	T2(°C)	HHV (kJ/kg)	HHV rata-rata (kJ/kg)
Premium	1	26.25	26.93	46323.648	47206.0032
	2	27.12	27.82	47794.24	
	3	28.95	29.64	47058.944	
	4	24.62	25.33	48529.536	
	5	25.45	26.13	46323.648	
E-5	1	27.45	28.14	47058.944	46911.8848
	2	28.35	29.05	47794.24	
	3	25.97	26.65	46323.648	
	4	26.95	27.64	47058.944	
	5	27.87	28.55	46323.648	
E-10	1	24.56	25.24	46323.648	45882.4704
	2	25.53	26.2	45588.352	
	3	26.67	27.36	47058.944	
	4	27.65	28.31	44853.056	
	5	28.55	29.22	45588.352	

Lampiran 2 : Tabel Hasil Pengujian Motor Bakar

Tabel hasil pengujian pertama daya dan torsi motor bakar

rpm	Daya (kW)			Torsi (Nm)		
	Premium	BE-5	BE-10	Premium	BE-5	BE-10
1750	0.498	0.496	0.476	2.70	2.7	2.6
2000	0.640	0.605	0.582	3.00	2.8	2.8
2250	0.798	0.728	0.717	3.40	3	3
2500	0.991	0.862	0.831	3.80	3.2	3.2
2750	1.120	0.974	0.970	3.90	3.3	3.4
3000	1.342	1.160	1.133	4.20	3.6	3.6
3250	1.498	1.365	1.150	4.40	3.9	3.4
3500	1.600	1.532	1.139	4.50	4.1	3.1
3750	1.531	1.489	1.131	4.00	3.8	2.9

Tabel hasil pengujian kedua daya dan torsi motor bakar

rpm	Daya (kW)			Torsi (Nm)		
	Premium	BE-5	BE-10	Premium	BE-5	BE-10
1750	0.487	0.486	0.489	2.60	2.6	2.5
2000	0.645	0.598	0.579	3.00	2.9	2.7
2250	0.802	0.726	0.699	3.40	3	2.9
2500	0.993	0.861	0.821	3.70	3.2	3.1
2750	1.122	0.977	0.968	3.80	3.5	3.4
3000	1.341	1.157	1.121	4.20	3.8	3.5
3250	1.489	1.358	1.153	4.30	4.2	3.3
3500	1.609	1.532	1.141	4.40	4.3	3.2
3750	1.527	1.489	1.127	3.80	4	3

(Lanjutan)

Tabel hasil pengujian ketiga daya dan torsi motor bakar

rpm	Daya (kW)			Torsi (Nm)		
	Premium	BE-5	BE-10	Premium	BE-5	BE-10
1750	0.499	0.502	0.464	2.80	2.8	2.7
2000	0.662	0.618	0.597	3.30	3	2.9
2250	0.802	0.736	0.704	3.40	3.3	3.1
2500	0.999	0.868	0.860	3.90	3.5	3.3
2750	1.126	0.985	0.998	4.00	3.4	3.4
3000	1.368	1.168	1.137	4.50	3.7	3.7
3250	1.503	1.359	1.167	4.50	3.9	3.5
3500	1.627	1.552	1.127	4.30	4.2	3
3750	1.534	1.497	1.157	3.90	3.6	2.8

Tabel hasil pencatatan waktu bahan bakar premium

rpm	t (detik/5 cc)			t (rata-rata)
	1	2	3	
1750	27.45	29.43	28.2	28.36
2000	26.83	27.12	27.56	27.17
2250	25.12	26.31	24.41	25.28
2500	26.64	26.78	26.74	26.72
2750	26.86	27.67	26.59	27.04
3000	21.19	23.65	24.82	23.22
3250	19.65	19.98	16.8	18.81
3500	18.45	20.11	19.16	19.24
3750	16.66	17.65	15.55	16.62

(Lanjutan)

Tabel hasil pencatatan waktu bahan bakar *gasohol E-5*

rpm	t (detik/5 cc)			t (rata-rata)
	1	2	3	
1750	25.45	26.67	25.34	25.82
2000	23.56	22.75	22.69	23
2250	25.32	25.57	25.4	25.43
2500	33.19	33.24	32.24	32.89
2750	31.91	31.75	30.48	31.38
3000	22.86	24.54	23.37	23.59
3250	17.54	16.97	17.84	17.45
3500	16.53	18.21	18.36	17.7
3750	13.89	14.11	14.84	14.28

Tabel hasil pencatatan waktu bahan bakar *gasohol E-10*

rpm	t (detik/5 cc)			t (rata-rata)
	1	2	3	
1750	19.76	21.23	21.01	20.67
2000	23.12	23.43	24.67	23.74
2250	22.89	23.98	24.26	23.71
2500	23.98	24.17	26.13	24.76
2750	24.45	25.13	25.42	25
3000	26.98	27.34	28.66	27.66
3250	21.87	20.54	21.67	21.36
3500	20.51	19.65	18.13	19.43
3750	14.13	15.54	14.4	14.69

Lampiran 3 : Tabel Hasil Pengujian Penggerak Hibrid Pada Torsi 1,5

Tabel hasil pengujian pertama sistem hibrid pada torsi 1,5 N.m

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)			V ML (volt)			A ML (Ampere)			Waktu (detik)			Daya Poros
	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	
2310	1.5	1.5	1.5	89	90	97	0.1	0.1	0.1	42.88	38.31	38.32	362.67
				94	93.9	99	1	1.5	1.5	45.12	43.12	39.31	362.67
				98.7	98	100	3.9	4.5	5.3	53.12	74.23	54.21	362.67
				100.9	100		5.2	5		139.21	104.21		362.67

Tabel hasil pengujian kedua sistem hibrid pada torsi 1,5 N.m

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)			V ML (volt)			A ML (Ampere)			Waktu (detik)			Daya Poros
	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	
2310	1.5	1.5	1.5	91	90	99	0.1	0.1	0.1	41.53	37.31	39.19	362.67
				93	93.6	101	1	1.5	1.4	45.13	43.12	39.99	362.67
				97.8	99	103	3.8	4	5	54.12	71.43	55.12	362.67
				101	99.6		5.1	4.7		142.12	111.32		362.67

Tabel hasil pengujian ketiga sistem hibrid pada torsi 1,5 N.m

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)			V ML (volt)			A ML (Ampere)			Waktu (detik)			Daya Poros
	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	
2310	1.5	1.5	1.5	90	90	101	0.1	0.1	0.1	43.66	38.47	39.73	362.67
				93.8	93.3	101.5	1	1.5	1.3	45.17	47.17	41.51	362.67
				100.5	100	103	4	6	5.3	55.24	72.8	56.69	362.67
				102.3	99.2		5	6		139.36	114.95		362.67

Lampiran 4 : Tabel Hasil Pengujian Penggerak Hibrid Pada Torsi 2,5

Tabel hasil pengujian pertama sistem hibrid pada torsi 2,5 N.m.

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)			V ML (volt)			A ML (Ampere)			Waktu (detik)			Daya Poros
	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	
2450	2.5	2.5	2.5	92	97	101	0.1	0.1	0.1	32.21	34.98	35.98	641.08333
				98	99	106	1.3	1.1	2.2	34.98	37.13	36.15	641.08333
				104	103.8	113	4.3	3.2	4.6	44.12	43.78	39.97	641.08333
				109	109	116	6.4	6.5	7.7	54.98	66.23	65.23	641.08333

Tabel hasil pengujian kedua sistem hibrid pada torsi 2,5 N.m.

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)			V ML (volt)			A ML (Ampere)			Waktu (detik)			Daya Poros
	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	
2450	2.5	2.5	2.5	93	96	103	0.1	0.1	0.1	33.98	38.12	40.65	641.08333
				99	99	107	1.2	1.2	2.1	36.35	36.76	32.87	641.08333
				106	103.8	114.5	4.3	3.4	4.5	45.23	44.76	37.87	641.08333
				110	108	116.8	6.4	6.3	7.8	57.98	68.32	66.87	641.08333

Tabel hasil pengujian ketiga sistem hibrid pada torsi 2,5 N.m.

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)			V ML (volt)			A ML (Ampere)			Waktu (detik)			Daya Poros
	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	
2450	2.5	2.5	2.5	93.3	96	102	0.1	0.1	0.1	33.36	34.5	36.07	641.08333
				99	99	106.5	1.3	1.2	2.1	35.16	36.25	35.96	641.08333
				105	104.4	114	4.4	3.5	4.7	44.24	43.15	39.73	641.08333
				108	108	117	6.3	6.6	7.8	57.53	65.89	64.79	641.08333

Lampiran 5 : Tabel Hasil Pengujian Penggerak Hibrid Pada Torsi 3,5

Tabel hasil pengujian pertama sistem hibrid pada torsi 3,5 N.m.

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)			V ML (volt)			A ML (Ampere)			Waktu (detik)			Daya Poros
	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	
3240	3.5	3.5	3.5	125	126.3	128	0.1	0.1	0.1	23.47	21.76	19.65	1186.92
				128	130	134.7	1	1	1	21.97	20.88	21.97	1186.92
				131.3	132.2	142.2	1.7	1.8	4.2	23.54	22.67	26.12	1186.92
				135	133.2	145.2	2.4	2.6	6.5	26.32	25.32	32.43	1186.92
				138.5	135.3	150.2	3.8	3.9	9.8	30.21	25.76	32.21	1186.92
				140.5	137		4.8	4.7		36.12	28.43		1186.92
				146.7	140		5.8	6.2		39.13	35.24		1186.92

Tabel hasil pengujian kedua sistem hibrid pada torsi 3,5 N.m.

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)			V ML (volt)			A ML (Ampere)			Waktu (detik)			Daya Poros
	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	
3240	3.5	3.5	3.5	126.2	127	129	0.1	0.1	0.1	21.12	20.12	19.12	1186.92
				129.6	131.2	134.4	1	1	1.1	23.43	21.12	23.21	1186.92
				132	132.2	141.5	1.8	1.7	4.1	24.16	21.98	27.26	1186.92
				134	134.7	144.2	2.6	2.4	6.3	26.98	27.21	30.99	1186.92
				139	136	151	3.9	3.7	9.6	31.56	27.31	32.43	1186.92
				141	138.7		4.9	4.9		35.23	27.31		1186.92
				147.8	141		6.4	6		39.43	34.21		1186.92

Tabel hasil pengujian ketiga sistem hibrid pada torsi 3,5 N.m.

Putaran (rpm)	Torsi (Nm)			V ML (volt)			A ML (Ampere)			Waktu (detik)			Daya Poros
	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	Premium	E-5	E-10	
3240	3.5	3.5	3.5	126.8	124.7	130	0.1	0.1	0.1	17.93	16.74	18.05	1186.92
				129.4	130.3	135.9	1	1	1.1	22.34	19.47	21.21	1186.92
				130.9	131.6	139.3	1.9	1.9	4	23.46	25.97	26.99	1186.92
				133.3	132.6	142.6	2.5	2.5	6.4	26.38	27.03	30.6	1186.92
				136.5	133.7	148.8	3.7	3.8	8.8	32.94	27.87	29.59	1186.92
				141.5	138.3		4.4	4.5		34.16	26.85		1186.92
				146.5	139.3		5.8	5.8		37.45	34.29		1186.92

Lampiran 6 : Foto Dokumentasi



Gambar pengujian motor listrik



Gambar sistem transmisi aparatus



Gambar proses kalibrasi

(lanjutan)



Gambar proses pembuatan dudukan pengunci aparatus



Gambar suasana laboratorium

(lanjutan)



Gambar pencatatan waktu konsumsi bahan bakar

Lampiran 7 : Script Pemrograman

PEMROGRAMAN UNTUK MENCARI TITIK POTONG DI TIAP TORSI

```
<html>
<body>
<script type="text/javascript">
var x0;
x0 = 0.3;
var y0;
y0 = (-0.289*x0)+0.606; (Fungsi Y dari konsumsi daya listrik pada motor listrik)
var y1;
y1 = (0.771*x0)+0.026 ; (Fungsi Y dari konsumsi bahan bakar motor bakar)

var TOL = 0.00001;
OK = 0;
var i = 0;

while (i<=2500000000 && OK!=1)
{
  x0 = x0+0.000001;
  y0 = (3.446*x0) + 0.177;
  y1 = (-12.10*(Math.pow(x0,3)))+(13.24*(Math.pow(x0,2))) -
      (3.955*x0)+4.018 ;

  if ( (Math.abs(y1-y0))<= TOL)
  {
    OK = 1;
    document.write ("X = ", + x0);
    document.write("<br />");
    document.write("<br />");
    document.write ("Y<sub>1</sub> = ", + y0);
    document.write("<br />");
    document.write("<br />");
    document.write ("Y<sub>2</sub> = ", + y1);
  }
  else
  {
    i = i+1;
  }
}

</script>
</body>
</html>
```