



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN EKSPERIMENTAL HIBRIDITAS DAN KONSUMSI
BAHAN BAKAR PADA PENGGERAK HIBRID 2,8 HP**

TESIS

**BAYU AJI GIRAWAN
0806423923**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**KAJIAN EKSPERIMENTAL HIBRIDITAS DAN KONSUMSI
BAHAN BAKAR PADA PENGGERAK HIBRID 2,8 HP**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister

**BAYU AJI GIRAWAN
0806423923**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Bayu Aji Girawan

NPM : 0806423923

Tanda Tangan :

Tanggal : Januari 2011

HALAMAN PENGESAHAN

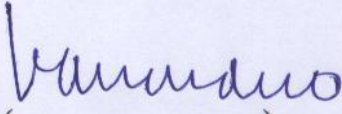
Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Bayu Aji Girawan
NPM : 0806423923
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Tesis : Kajian Eksperimental Hibriditas dan Konsumsi Bahan Bakar 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

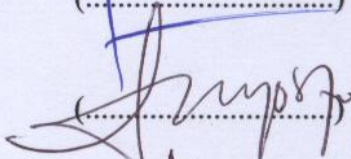
Pembimbing : Dr.Ir. R.Danardono A.S., DEA., PE


(.....)

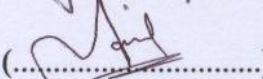
Penguji : Prof.Dr.Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng.


(.....)

Penguji : Dr.Ir. Adi Suryosatyo, Meng.


(.....)

Penguji : Dr. Ario Sunar Baskoro, ST., MT., MEng


(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Januari 2011

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. Keluargaku; Bapak Sugito Girawan; Ibunda Mis Artikah; Retno Susanti Girawan; Bharata Murpujiantaka; Mira Wulan Girawan; Rido Sudyono; Hari Yulianto; Fadlia Zain; Indri Nurhayati; terimakasih atas dukungan dan kasih sayangnya.
5. Rekan-rekan di Universitas Indonesia mahasiswa KE dan Manufaktur; Sena Mahendra, Fahni Mauludi, Romiyadi, Bu Wina, Bu Yeni, Pak Wibawa, Arif Abdullah, Dodi Darsono, Bu Yuyu.
6. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

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

Depok, Januari 2011

Bayu Aji Girawan

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

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

Nama : Bayu Aji Girawan
NPM : 0806423923
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 :

Kajian Eksperimental Hibriditas dan Konsumsi Bahan Bakar 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 : Januari 2011
Yang menyatakan

(Bayu Aji Girawan)

ABSTRAK

Nama : Bayu Aji Girawan
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Kajian Eksperimental Hibriditas Dan Konsumsi Bahan Bakar
Pada Penggerak Hibrid 2,8 Hp

Penelitian ini adalah kajian eksperimental sistem penggerak hibrid serial paralel dengan daya motor bakar 2.8 Hp dan motor listrik 1.5 kW. Sebuah aparatus dibuat untuk menganalisa karakteristik sistem yang berkenaan dengan tingkat hibriditas terhadap konsumsi bahan bakar dan energi listrik yang optimal pada berbagai tingkat torsi. Dari hasil penelitian menunjukkan pada torsi 1.5 N.m sistem tersebut akan optimum pada hibriditas 0.91. Pada torsi 2.5 N.m sistem optimum di tingkat hibriditas 0.55 dan pada torsi 3.5 N.m sistem akan optimum pada tingkat hibriditas 0.27. Hasil penelitian merupakan *input logical data* untuk sistem kontrol konsumsi bahan bakar dan energi listrik.

Kata kunci :
Hibriditas, konsumsi bahan bakar, hibrid, optimal

ABSTRACT

Name : Bayu Aji Girawan
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Experimental Study of Hybridness and Fuel Consumption In 2.8 Hp Hybrid Powered System

This paper is an experimental study of serie-parallel hybridness power system, based on 2.8 Hp internal combustion engine's power and 1.5 kW electric motor's power. An apparatus has been made in order to analyze its characteristics which is related to hybridness on optimum fuel and electric consumption with varied torque. The result showed that on 1.5 N.m of torque, system will be optimum with 0.91 of hybridness. On 2.5 N.m of torque, system will be optimum with 0.55 of hybridness and on 3.5 N.m of torque system will be optimum with 0.27 of hybridness. This result can be applied as logical data input for fuel and electric consumption control system.

Key words :
Hybridness, fuel consumption, hybrid, optimum

DAFTAR ISI

JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
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	
2.1. Sistem Penggerak Hibrid	4
2.1.1. Seri	4
2.1.2. Paralel	5
2.1.3. Seri-Paralel	5
2.2. Hibriditas	6
2.3. Sumber Penggerak pada Sistem Penggerak Hibrid Seri – Paralel.....	7
2.3.1. Motor Pembakaran Dalam	7
2.3.1.1. Performa Motor 4 Langkah	7
2.3.1.2. <i>Engine Mapping</i>	8
2.3.2. Motor Listrik	9
2.4. Elemen-elemen Penerus Daya	10
2.4.1. Poros dan Pasak	10
2.4.2. Kopling	11
2.4.3. Rantai dan Sproket	12
2.4.4. Puli dan Sabuk	12
2.5. Perangkat Pengukuran	13
2.5.1. <i>Dynamometer</i>	13
2.5.2. <i>Electronic Tachometer</i>	14
2.5.3. <i>Torque Measuring Unit</i>	15
2.5.4. Voltmeter	15
2.5.5. Amperemeter	16
2.5.6. <i>Voltage Regulator</i>	17
2.5.7. Penyearah Arus	18

BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	19
	3.1. Studi Literatur	19
	3.2. Perancangan dan Pembuatan Aparatus	19
	3.3. Pengujian	19
	3.4. Diagram Alir Penelitian	20
BAB IV	PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN	21
	4.1. Kalibrasi Dynamometer	21
	4.2. Motor Listrik	24
	4.3. Motor Pembakaran Dalam	27
	4.3.1. Daya dan Torsi	27
	4.3.2. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik	30
	4.4. Sistem Penggerak Hibrid	31
	4.4.1. Torsi 1,5 N.m	33
	4.4.2. Torsi 2,5 N.m	36
	4.4.3. Torsi 3,5 N.m	40
	4.5. Analisa Pengujian Secara Keseluruhan	44
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	45
	5.1. Kesimpulan	45
	5.2. Saran	45
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Sistem Hibrid Seri	4
Gambar 2.2.	Sistem Hibrid Paralel	5
Gambar 2.3.	Sistem Hibrid Seri-Paralel	6
Gambar 2.4.	Engine Map Prius II	8
Gambar 2.5.	Motor DC Sederhana	9
Gambar 2.6.	Kopling Cakar.....	11
Gambar 2.7.	Kopling Friwil.....	11
Gambar 2.8.	Rantai dan <i>Sprocket</i>	12
Gambar 2.9.	Puli dan Sabuk	12
Gambar 2.10.	<i>Dynamometer</i>	13
Gambar 2.11.	<i>Electric Generator/Motor Dynamometer</i> Tampak Samping Kanan.....	14
Gambar 2.12.	<i>Electric Generator/Motor Dynamometer</i> Tampak Atas	14
Gambar 2.13.	<i>Electronic Tachometer</i>	14
Gambar 2.14.	<i>Torque Measuring Unit</i>	15
Gambar 2.15.	Voltmeter	15
Gambar 2.16.	Amperemeter	16
Gambar 2.17.	<i>Voltage Regulator</i>	17
Gambar 2.18.	Panel Penyearah Arus	18
Gambar 2.19.	Rangkaian Komponen Penyearah Arus	18
Gambar 2.10	Diagram Alir Penelitian.....	20
Gambar 4.1.	<i>Name Plat Dynamometer</i> Jenis <i>Generator Dynamometer</i>	21
Gambar 4.2.	Kalibrasi <i>Dynamometer</i>	22

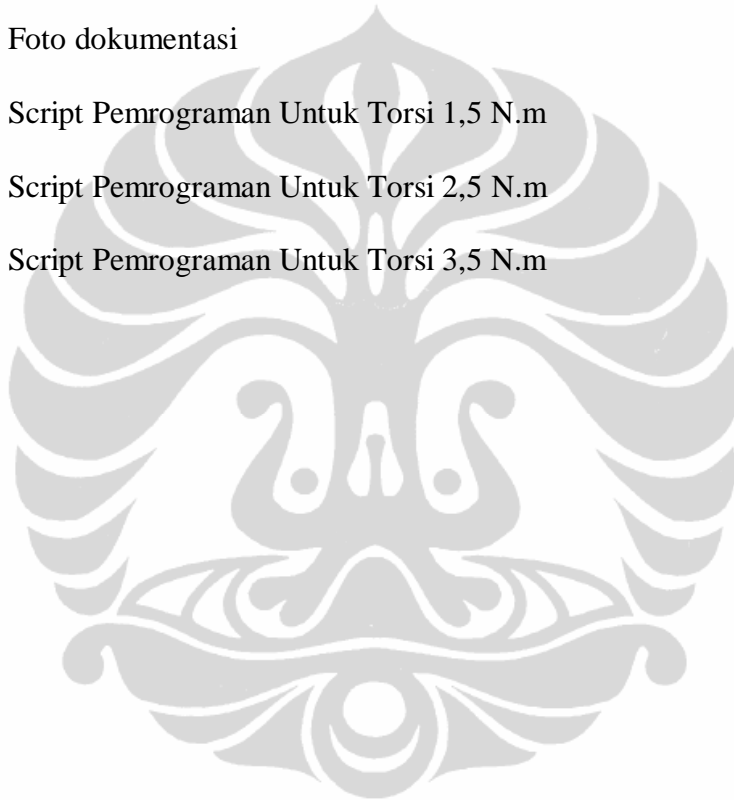
Gambar 4.3. <i>Torque Measuring Unit</i>	23
Gambar 4.4. <i>Name Plat</i> Motor Listrik	24
Gambar 4.5. Skema Pengujian Motor Listrik	24
Gambar 4.6. Grafik Daya Poros Vs Konsumsi Listrik	26
Gambar 4.7. Grafik Torsi Dan Daya Poros Terhadap Putaran	26
Gambar 4.8. Skema Pengujian Motor Bakar	28
Gambar 4.9. Grafik Torsi Vs Putaran	29
Gambar 4.10. Grafik BSFC vs Putaran	31
Gambar 4.11. Grafik Konsumsi Bahan Bakar dan Listrik Vs Daya Poros ..	34
Gambar 4.12. Peta Sistem Hibrid Pada Putaran 2310 Torsi 1,5	35
Gambar 4.13. Grafik <i>Engine Mapping</i>	36
Gambar 4.14. Grafik Konsumsi Bahan Bakar dan Listrik Vs Daya Poros ..	37
Gambar 4.15. Peta Sistem Hibrid Pada Putaran 2450 Torsi 2,5	38
Gambar 4.16. Grafik Engine Mapping	39
Gambar 4.17. Grafik Konsumsi Bahan Bakar dan Listrik Vs Daya Poros	41
Gambar 4.18. Peta Sistem Hibrid Pada Putaran 3240 Torsi 3,5	42
Gambar 4.19. Grafik Engine Mapping	42
Gambar 4.20. Penentuan Daya Dengan BSFC Minimum	43

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1.	Efisiensi Rata-rata Motor Listrik	25
Tabel 4.2.	Tabel Spesifikasi Motor Bakar	27
Tabel 4.3.	Daya dan Torsi Pada Tiap Putaran	29
Tabel 4.4.	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.....	30
Tabel 4.5.	Hasil Rata-rata Pengujian Sistem Hibrid Pada Torsi 1,5 N.m .	33
Tabel 4.6.	Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Motor Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar	33
Tabel 4.7.	Konsumsi Listrik dan Bahan Bakar Terhadap Daya Poros	34
Tabel 4.8.	Hibriditas Terhadap Konsumsi Listrik dan Bahan Bakar	35
Tabel 4.9.	Hasil Rata-rata Pengujian Sistem Hibrid Pada Torsi 2,5 N.m	36
Tabel 4.10.	Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Motor Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar	37
Tabel 4.11.	Konsumsi Listrik dan Bahan Bakar Terhadap Daya Poros	37
Tabel 4.12.	Hibriditas Terhadap Konsumsi Listrik dan Bahan Bakar	38
Tabel 4.13.	Hasil Rata-rata Pengujian Sistem Hibrid Pada Torsi 2,5 N.m..	39
Tabel 4.14.	Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Motor Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar	40
Tabel 4.15.	Konsumsi Listrik dan Bahan Bakar Terhadap Daya Poros	40
Tabel 4.16.	Hibriditas Terhadap Konsumsi Listrik dan Bahan Bakar.....	41

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Tabel Hasil Pengujian Motor Bakar
- Lampiran 2 : Tabel Hasil Pengujian Penggerak Hibrid Pada Torsi 1,5
- Lampiran 3 : Tabel Hasil Pengujian Penggerak Hibrid Pada Torsi 2,5
- Lampiran 4 : Tabel Hasil Pengujian Penggerak Hibrid Pada Torsi 3,5
- Lampiran 5 : Foto dokumentasi
- Lampiran 6 : Script Pemrograman Untuk Torsi 1,5 N.m
- Lampiran 7 : Script Pemrograman Untuk Torsi 2,5 N.m
- Lampiran 8 : Script Pemrograman Untuk Torsi 3,5 N.m



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam beberapa dekade terakhir, kesadaran manusia atas menipisnya sumber energi fosil semakin tinggi. Berbagai upaya dilakukan untuk mengurangi pemakaian sumber energi fosil, termasuk penggunaan *renewable energy*. Teknologi penggerak menggunakan bahan bakar mulai dari *bio diesel*, *bio gas*, *fuel cell*, sampai pembangkit listrik tenaga *microhydro* mulai dikembangkan oleh kalangan akademisi maupun praktisi. Dalam usaha konservasi energi, salah satu sumber energi terbarukan yang dewasa ini banyak digunakan adalah energi listrik. Penggunaan energi listrik sebagai penggerak mulai dikembangkan dengan alasan diantaranya karena tingkat emisi yang rendah.

Energi listrik sudah lama dimanfaatkan manusia sebagai penggerak berbagai mekanisme dan peralatan industri maupun rumah tangga. Namun ada beberapa kelemahan penggunaan energi listrik diantaranya adalah *availability* terutama pada daerah-daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik. Oleh karena itu usaha untuk mengeliminasi penggunaan bahan bakar fosil tidak sepenuhnya dapat dilakukan dengan mudah, hanya saja usaha-usaha untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar fosil masih mungkin dan terus dilakukan.

Sistem penggerak hibrid pada dasarnya menggabungkan dua atau lebih penggunaan sumber energi dalam satu sistem penggerak. Penggabungan dua sumber energi yang digunakan mempertimbangkan aspek-aspek yang menguntungkan dan merugikan. Motor pembakaran dalam yang menggunakan bahan bakar fosil mempunyai keunggulan dalam hal akselerasi penambahan power yang spontan. Akselerasi dan penambahan power ini dibutuhkan untuk mempercepat laju kendaraan ataupun pada saat kendaraan menghadapi medan yang berat dan keadaan jalan. Namun efisiensi *internal combustion engine* (ICE) tidak begitu baik jika dibandingkan dengan motor listrik. Hal ini disebabkan karena kalor yang terserap oleh sistem pendinginan, dinding silinder, dan temperatur gas buang yang masih relatif tinggi. Selain itu masih terdapat kerugian gesekan antara cincin piston dengan dinding silinder, bahan bakar yang tidak

terbakar ataupun pembakaran yang tidak sempurna. Motor listrik mempunyai efisiensi yang tinggi karena rugi-rugi yang timbul saat motor listrik bekerja relatif kecil dibandingkan dengan ICE. Namun untuk asutan motor listrik membutuhkan energi listrik yang sangat besar.

Dengan mempertimbangkan aspek-aspek di atas, maka dikembangkan upaya untuk memadukan keunggulan dari motor listrik dan motor pembakaran dalam untuk menghasilkan sistem yang efisien dalam hal penggunaan bahan bakar, pengurangan emisi serta *mileage* yang lebih baik. Perbandingan penggunaan daya antara motor listrik dengan ICE disebut hibriditas (*hybridness*). Semakin tinggi indeks hibriditas maka komposisi daya motor listrik yang digunakan semakin besar dibandingkan daya ICE, begitu juga sebaliknya.

1.2. Identifikasi Masalah

Konsumsi bahan bakar spesifik pada ICE 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. Oleh karena itu melalui eksperimen ini akan dicari tingkat hibriditas yang optimal pada tiap kondisi beban.

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.
- Motor listrik yang digunakan motor listrik DC magnet permanen.
- Pengujian pada motor listrik hanya ditujukan untuk mencari daya poros, waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar, dan daya yang dikonsumsi oleh motor listrik.
- Penggunaan daya ICE.
- Konsumsi bahan bakar spesifik ICE.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan perbandingan konsumsi daya antara motor listrik dan ICE (hibriditas) yang optimal pada berbagai tingkat beban, yang selanjutnya digunakan sebagai input *logical data* dalam perencanaan sistem kontrol penggerak hibrid.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan tesis ini dijabarkan dalam beberapa bab sesuai dengan aturan dan ketentuan yang berlaku di fakultas teknik Universitas Indonesia, yang rinciannya adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Membahas tentang pendahuluan yang merupakan gambaran yang menjadi latar belakang, identifikasi masalah, batasan masalah dan tujuan penelitian.

BAB II DASAR TEORI

Membahas tentang dasar teori yang berkaitan dengan topik penelitian yang dilakukan, yang membahas tentang ICE, motor listrik DC, hibriditas, elemen-elemen dan alat ukur yang digunakan dalam aparatus.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Membahas tentang metodologi pelaksanaan penelitian serta diagram alur penelitian secara garis besar.

BAB IV PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Membahas tentang pelaksanaan dan hasil pengujian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi pembahasan dan analisa hasil pengujian yang telah dilaksanakan, kesimpulan kegiatan eksperimen serta saran untuk kegiatan eksperimen yang akan datang.

BAB II

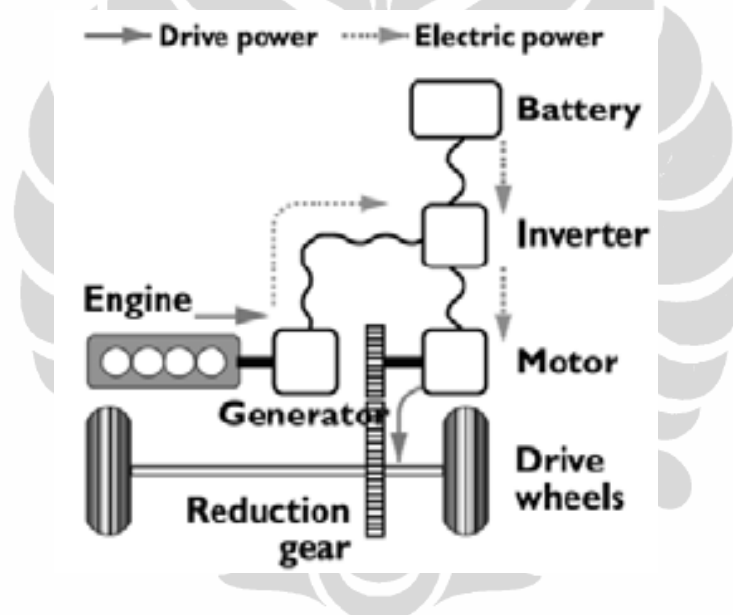
DASAR TEORI

2.1. Sistem Penggerak Hibrid

Sistem penggerak hibrid berdasarkan metode penerus dayanya secara umum dibagi menjadi 3 jenis yaitu seri, paralel, dan seri-paralel.

2.1.1. Seri

Sistem ini menggunakan motor bakar hanya berfungsi sebagai penggerak generator yang akan menghasilkan energi listrik untuk mengisi baterai. Energi listrik dari baterai ini yang akan menyuplai kebutuhan energi motor listrik.



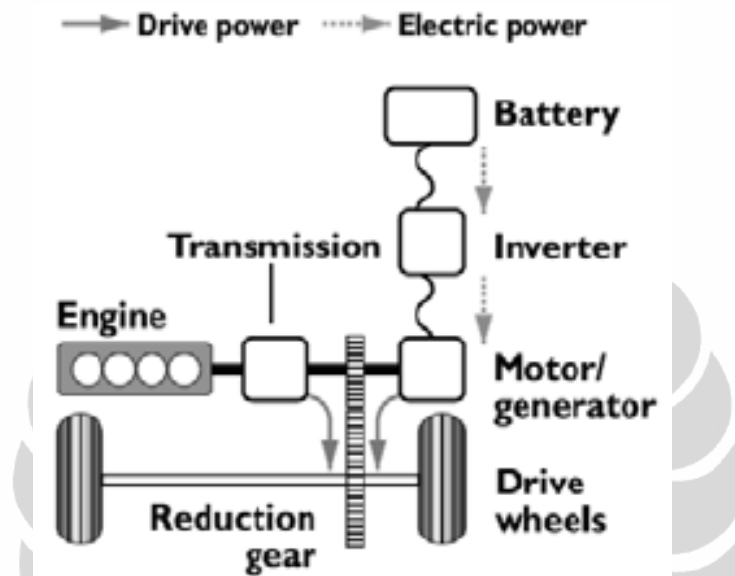
Gambar 2.1. Sistem Hibrid Seri.

(Sumber : Listijorini, E., & moore., *Pengembangan Teknologi Pengendali Switching Pada Kendaraan Hybrid Roda Dua*, Seminar Nasional Pascasarjana X – ITS, Surabaya 4 Agustus 2010)

Karena sistem ini hanya menggunakan motor listrik sebagai penggerak roda, maka motor listrik harus dapat mengatasi berbagai kondisi jalan. Sehingga dimensi motor listrik dan baterai menjadi besar (Listijorini, E., & moore, 2010). Biasanya kendaraan hibrid jenis seri mempunyai generator listrik dengan kemampuan pengisian minimal sama dengan daya motor listrik.

2.1.2. Paralel

Sistem hibrid paralel menggunakan motor bakar dan motor listrik secara bersamaan untuk menggerakkan roda. Jika dibandingkan dengan sistem seri, sistem ini tidak membutuhkan dimensi baterai yang besar karena sebagian tenaga dibantu oleh motor bakar.



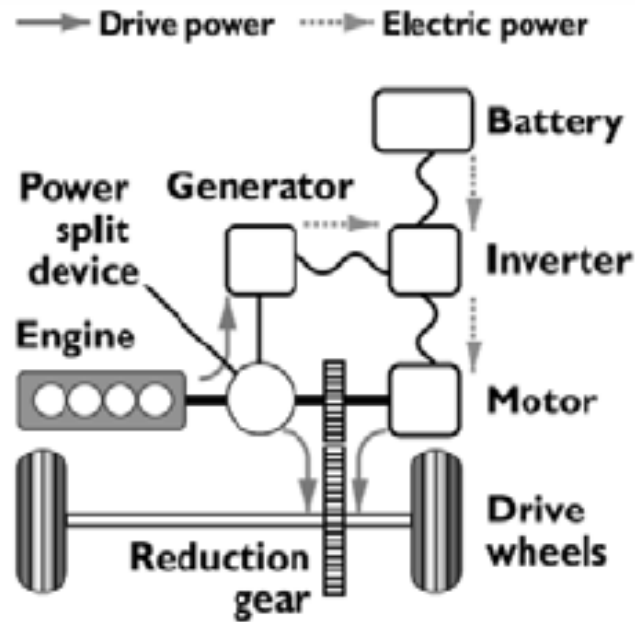
Gambar 2.2. Sistem Hibrid Paralel.

(Sumber : Listijorini, E., & moore., *Pengembangan Teknologi Pengendali Switching Pada Kendaraan Hybrid Roda Dua*, Seminar Nasional Pascasarjana X – ITS, Surabaya 4 Agustus 2010)

Ketika kebutuhan tenaga tidak terlalu besar maka tenaga mesin akan dimanfaatkan untuk memutar generator untuk mengisi baterai. Beberapa kendaraan hibrid tipe paralel menggunakan motor listrik yang juga dapat berfungsi sebagai generator (Listijorini, E., & moore, 2010).

2.1.3. Seri-paralel

Sistem seri-paralel 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).



Gambar 2.3. Sistem Hibrid Seri-Paralel
 (Sumber : Listijorini, E., & moore., *Pengembangan Teknologi Pengendali Switching Pada Kendaraan Hybrid Roda Dua*, Seminar Nasional Pascasarjana X – ITS, Surabaya 4 Agustus 2010)

2.2. 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 :

$$H = \frac{\text{Daya motor listrik}}{\text{Daya motor listrik} + \text{Daya motor bakar}} \quad (2.1)$$

Untuk $H = 0,25$, 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 $H = 0,50$, sistem menggunakan 50 % daya motor listrik dan 50 % daya motor bakar. Sistem dengan $H = 0,50$ disebut juga sebagai *full hybrid*. Indeks $H = 0,75$ berarti sistem menggunakan 75 % daya motor listrik dan 25 % daya motor bakar (Fuhs, A.E., 2009). Penggunaan daya motor listrik lebih besar dibandingkan dengan motor listrik. Pada $H = 1$ maka penggerak sistem murni menggunakan daya motor listrik.

2.3. Sumber Penggerak pada Sistem Penggerak Hibrid Seri-Paralel.

2.3.1. Motor Pembakaran Dalam

Berdasarkan langkahnya, motor pembakaran dalam dibagi menjadi dua yaitu motor 4 langkah dan motor 2 langkah. Motor 4 langkah menggunakan mekanisme katup untuk membuka dan menutup saluran isap. Keunggulan dari motor 4 langkah antara lain yaitu efisiensi termal lebih tinggi, polusi yang dihasilkan lebih rendah dan sistem pelumasan yang lebih baik dibanding motor 2 langkah (“Mesin 4 Tak”, 2010). Keunggulan-keunggulan ini yang menjadi pertimbangan pemilihan motor 4 langkah sebagai salah satu penggerak sistem hibrid.

2.3.1.1. Performa motor 4 langkah

Unjuk kerja motor 4 langkah pada umumnya ditunjukkan dalam tiga besaran yaitu daya, torsi dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC). Daya dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$P = \frac{2\pi nT}{60} \quad (2.2)$$

dimana :

P = daya (watt)

n = putaran *engine* (rpm)

T = torsi (N.m)

Torsi didapatkan dari hasil pengukuran menggunakan dinamometer, dengan cara melakukan pengereman terhadap poros. Besarnya torsi mengikuti persamaan berikut :

$$T = Fl \quad (2.3)$$

Sedangkan :

$$F = mg \quad (2.4)$$

dengan :

F = gaya berat (N)

m = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

l = panjang lengan pada dinamometer (m)

Parameter selanjutnya adalah konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) yang merupakan jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif sebesar 1 kW selama satu jam (Listijorini, E., & moore, 2010). SFC dapat dicari menggunakan rumus :

$$SFC = \frac{mf}{P} \quad (2.5)$$

Sedangkan :

$$mf = \frac{b}{t} \frac{3600}{1000} f_{ibb} \quad (2.6)$$

dimana :

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

mf = konsumsi bahan bakar (kg/h)

P = daya (kW)

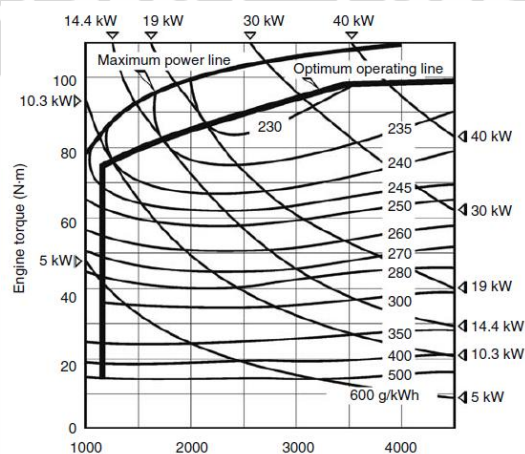
b = volume buret yang dipakai dalam pengujian (cc)

t = waktu yang diperlukan untuk pengosongan buret (s)

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

2.3.1.2. Engine Mapping

Salah satu strategi sistem kontrol berdasarkan garis operasi motor bakar adalah dengan berdasarkan pada *basic operation line*.



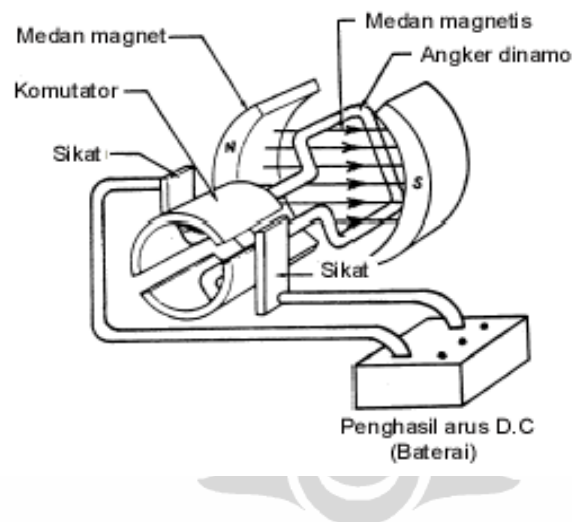
Gambar 2.4. Engine Map Prius II
(sumber : Fuhs, A.E., 2009).

Rule of thumb dari metode ini adalah bahwa motor bakar mempunyai titik yang optimum pada 75% dari daya maksimum (Fuhs, A.E., 2009).

2.3.2. 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 2.5. 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 (2002).

2.4. Elemen-elemen Penerus Daya

2.4.1. 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 :

$$d_s = \left[\frac{5,1}{\tau} K_t C_b T \right]^{1/3} \quad (2.7)$$

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 (Sularso, Suga, K., 2002).

2.4.2. Kopling

Kopling adalah elemen mesin yang berfungsi sebagai penerus putaran dan daya (Sularso, Suga, K., *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, 2002). Dalam pembuatan aparatus eksperimen ini jenis kopling yang digunakan adalah kopling cakar dan juga friwil.

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 2.6. Kopling Cakar.

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.



Gambar 2.7 Kopling Friwil.

2.4.3. Rantai dan *Sprocket*

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

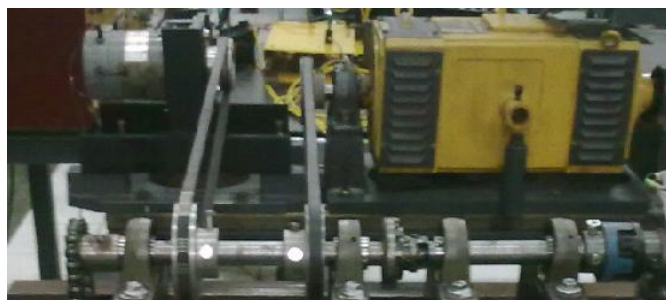


Gambar 2.8. Rantai dan *Sprocket*.

Dalam eksperimen ini perbandingan gigi *sprocket* antara *drive gear* dan *driven gear* adalah 2:1. Hal ini karena putaran motor listrik berada jauh di bawah putaran motor bakar. Untuk mengatasi hal itu, maka digunakan perbandingan rasio.

2.4.4. Puli dan Sabuk

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



Gambar 2.9. Puli dan Sabuk.

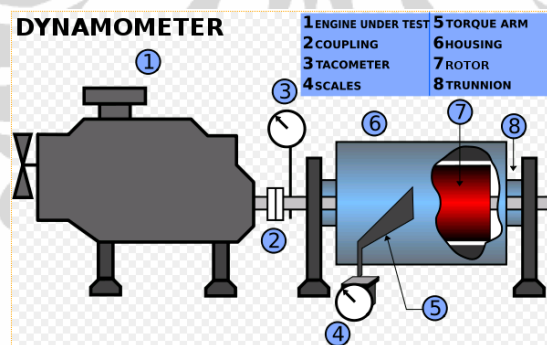
Sabuk yang digunakan adalah sabuk V dengan pertimbangan sabuk ini mempunyai gaya gesekan yang besar. Hal ini akan memperkecil kemungkinan terjadinya *slip* antara sabuk dan puli.

2.5. 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 (Koestor, R.A., 2004, p. 1).

2.5.1. Dynamometer

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



Gambar 2.10. *Dynamometer*.

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

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



Gambar 2.11. *Electric Generator/Motor Dynamometer* Tampak Samping Kanan.

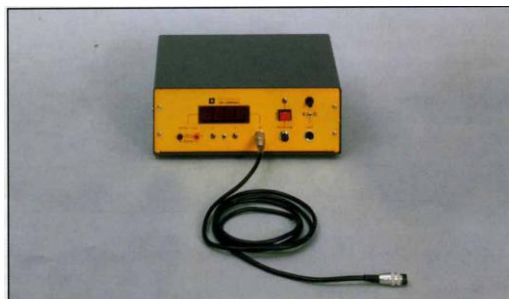


Gambar 2.12. *Electric Generator/Motor Dynamometer* Tampak Atas.

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.

2.5.2. *Electronic Tachometer*

Tachometer adalah alat yang berfungsi untuk mengukur putaran poros. Alat ini mengukur putaran poros per menit.



Gambar 2.13. *Electronic Tachometer*.

Jenis *tachometer* yang digunakan dalam eksperimen ini adalah *electronic tachometer* yang dihubungkan dengan salah satu terminal *output electric generator/motor dynamometer*. *Electric tachometer* mempunyai terminal *output* yang dapat digunakan untuk data akuisisi.

2.5.3. Torque Measuring Unit (TMU)

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 2.14. Torque Measuring Unit.

Pada TMU 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 dapat menggunakan gaya-gaya elektromagnetik 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* (Koestoer, R.A., 2004, p.139).

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

2.5.4. Voltmeter

Voltmeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur tegangan listrik dalam suatu rangkaian listrik. Dalam kegiatan eksperimen ini dibutuhkan

voltmeter untuk mengukur besarnya tegangan yang digunakan untuk menggerakkan motor listrik.



Gambar 2.15. Voltmeter.

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 :

$$V = \frac{S_p}{S_t} \times \text{Penunjukkan jarum} \quad (2.8)$$

dimana :

V = nilai tegangan listrik (Volt)

S_p = skala pengukuran

S_t = batas pembacaan tertinggi voltmeter

2.5.5. Amperemeter

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



Gambar 2.16. 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 :

$$A = \frac{S_p}{S_t} \times \text{Penunjukkan jarum} \quad (2.9)$$

dimana :

A = nilai arus listrik (Volt)

S_p = skala pengukuran

S_t = batas pembacaan tertinggi amperemeter

2.5.6. Voltage Regulator

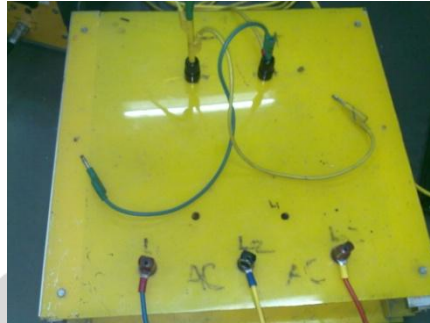
Salah satu cara untuk mengatur kecepatan motor listrik DC adalah dengan mengatur tegangan. Oleh karena itu diperlukan *voltage regulator* untuk mengatur putaran dan daya yang diinginkan dalam eksperimen ini.



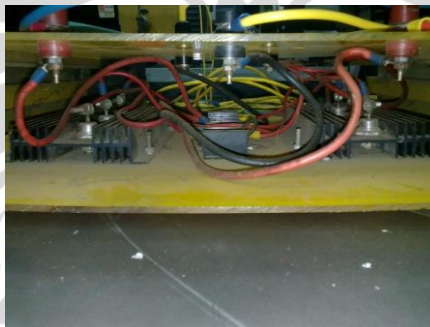
Gambar 2.17. Voltage Regulator.

2.5.7. Penyearah Arus (Dioda)

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



Gambar 2.18. Panel Penyearah Arus.



Gambar 2.19. Rangkaian Komponen Penyearah Arus.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang dilakukan adalah studi literatur, perhitungan dan perancangan aparatus, pengujian, yang dijabarkan sebagai berikut :

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di lingkungan Universitas Indonesia bekerja sama dengan dosen Politeknik Negeri Jakarta. Waktu dari mulai konsep, perancangan, pembuatan aparatus hingga pengujian adalah mulai dari Maret 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.

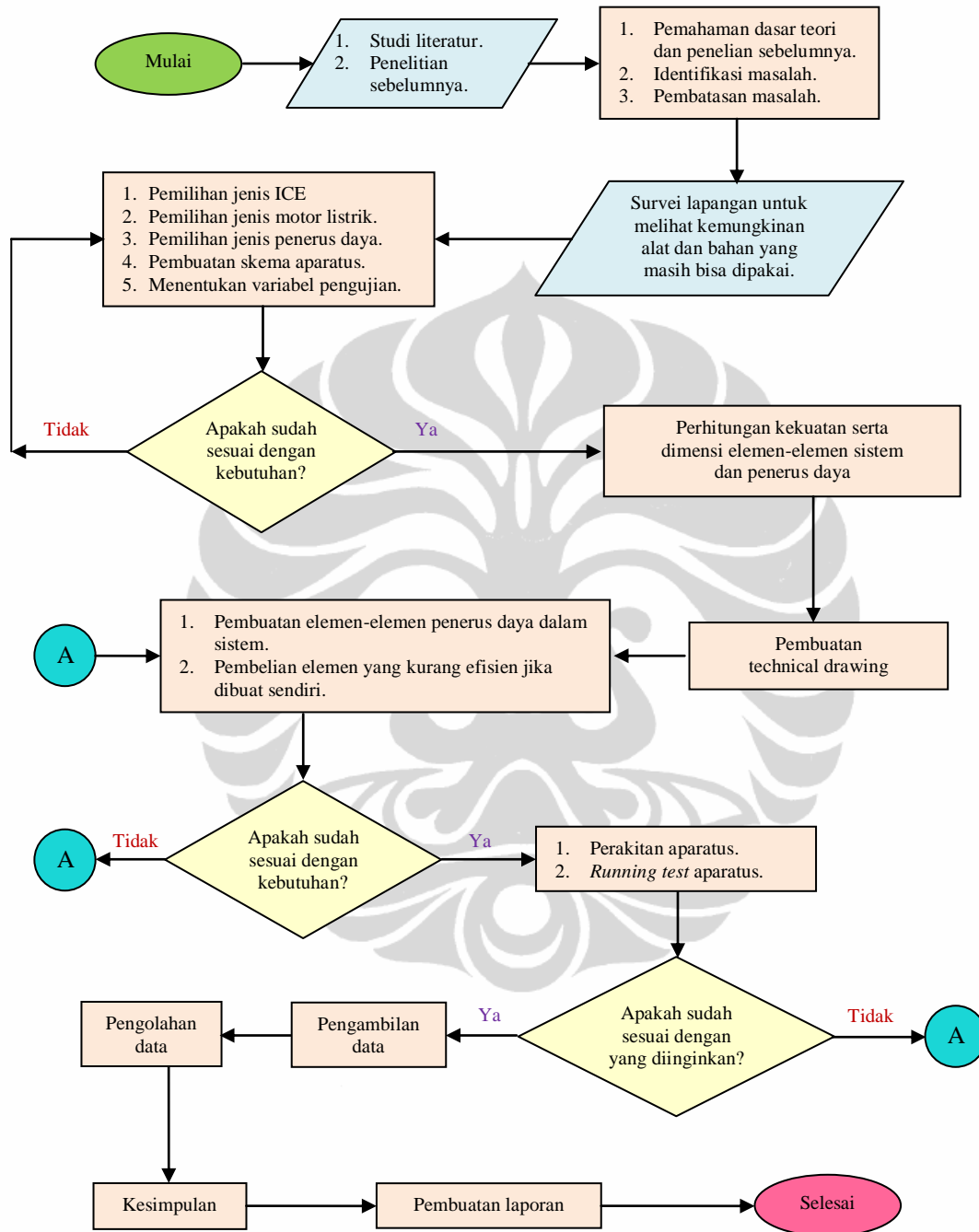
3.4. Pengujian

Pengujian dilakukan dengan batasan masalah yang telah dirumuskan, dengan urutan sebagai berikut :

1. Kalibrasi *dynamometer* dan *torque measuring unit*, alat ukur kelistrikan.
2. Pengujian performa motor bakar dan motor listrik.
3. Pengujian performa sistem gabungan motor bakar dan motor listrik.

3.5. Diagram Alir Penelitian

Kegiatan eksperimen dilakukan dengan alur seperti diagram alir berikut :



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

BAB IV PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. 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 (Moris, A.S., 2001).

Dynamometer yang digunakan mempunyai spesifikasi yang tertera dalam *name plate*, seperti yang terlihat pada gambar 4.1.



ROZZANO - MILANO	
DE LORENZO	
D.C. generator exc.	SHUNT
type	DL 2060/S n° 068704
rated voltage	220 V
rated current	22,7 A
rated power	5 KW
rated speed	3000 G/1
rated exc. current	1,05 A
insulation class	F

Gambar 4.1. Name Plat *Dynamometer* Jenis *Generator 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.

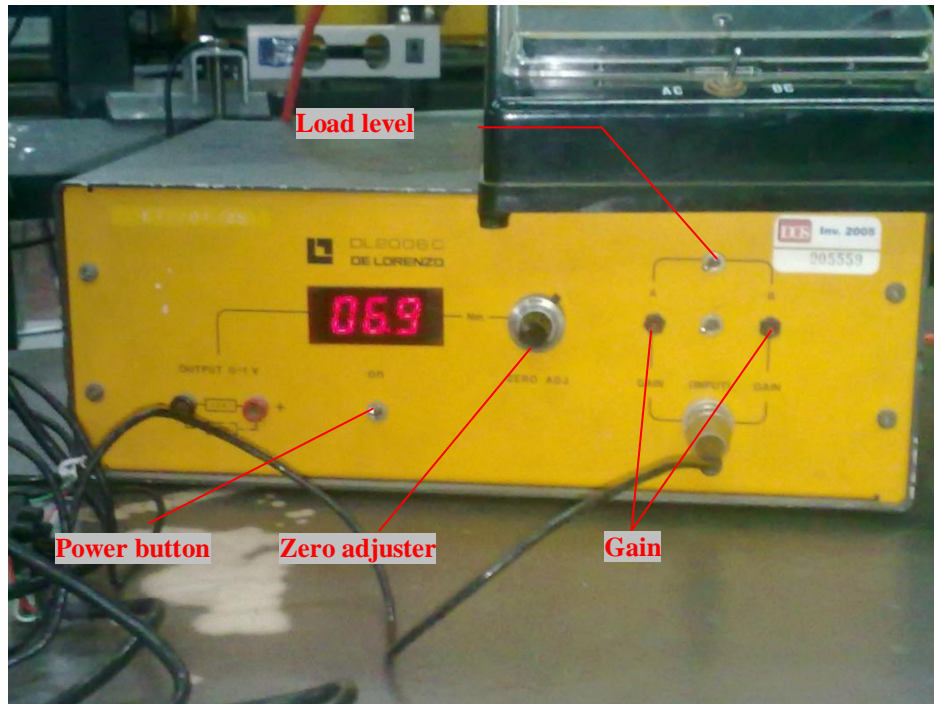
Langkah-langkah yang dilakukan untuk kalibrasi adalah sebagai berikut :

1. Pasang *lever* pada *dynamometer* dalam keadaan *load cell* dalam keadaan belum terpasang.
2. Pasang beban dengan berat masing-masing 3 kg di *lever* kanan dan kiri.



Gambar 4.2. Kalibrasi Dynamometer.

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 4.3. 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. Dari hasil perhitungan torsi dengan beban 3 kg dengan lengan beban 0,15 m adalah :

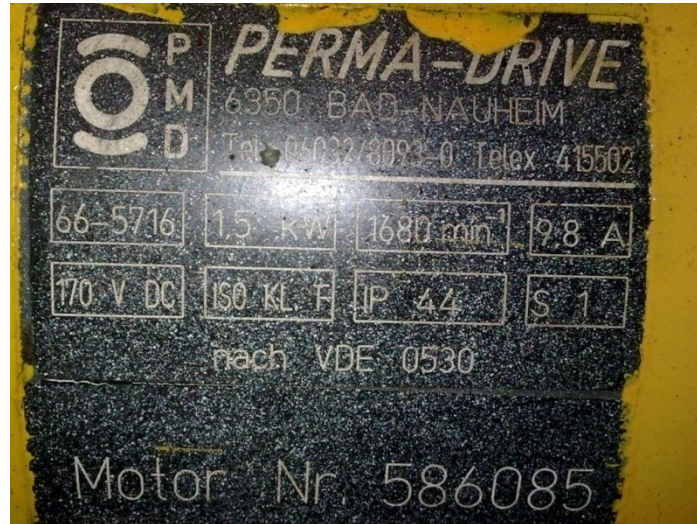
$$\begin{aligned}
 T &= m \times g \times l \\
 &= (3 \text{ kg}) \times (9,81 \text{ m/s}^2) \times (0,15 \text{ m}) \\
 &= 4,41 \text{ N.m}
 \end{aligned}$$

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.

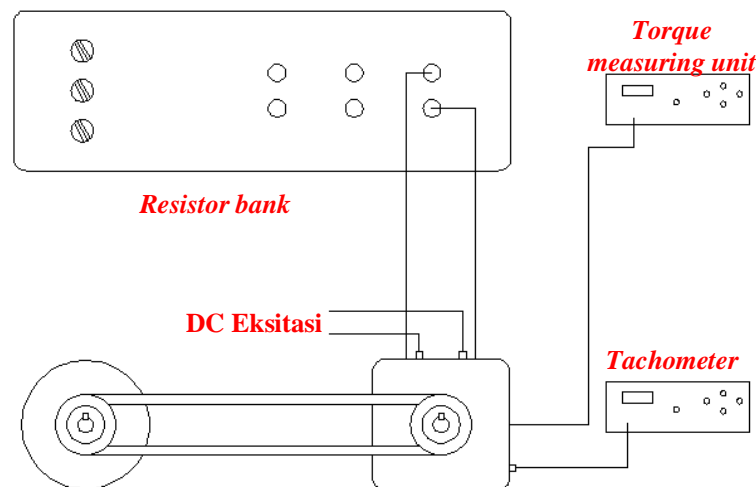
4.2. Motor Listrik

Motor listrik yang digunakan mempunyai data yang tertera dalam *name plat* seperti yang terlihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.4. 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 4.5.



Gambar 4.5. Skema Pengujian Motor Listrik.

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

1. Arus listrik maksimal 9,8 ampere dengan toleransi 10%.
2. Tegangan maksimal 170 volt dengan toleransi 10%.
3. Putaran tertinggi 1800 rpm.

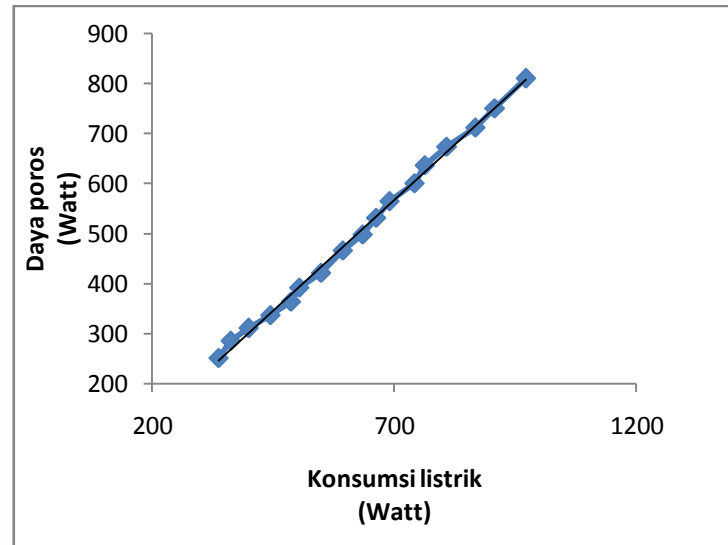
Efisiensi motor listrik merupakan perbandingan daya poros output terhadap konsumsi daya listrik.

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

Hasil pengujian ditampilkan dalam tabel 4.1.

Tabel 4.1. Efisiensi Rata-Rata Motor Listrik.

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	V ML (Watt)	A ML (Ampere)	Daya poros (Watt)	Konsumsi listrik (Watt)	Efisiensi
1000	2,4	102	3,3	251,2	336,6	0,74629
1050	2,6	106,5	3,4	285,74	362,1	0,78912
1100	2,7	111	3,6	310,86	399,6	0,77793
1150	2,8	117	3,8	337,0266667	444,6	0,75804
1200	2,9	121,5	4	364,24	486	0,74947
1250	3	126	4	392,5	504	0,77877
1300	3,1	130,5	4,2	421,8066667	548,1	0,76958
1350	3,3	135	4,4	466,29	594	0,785
1400	3,4	141	4,5	498,2133333	634,5	0,78521
1450	3,5	144	4,6	531,1833333	662,4	0,80191
1500	3,6	150	4,6	565,2	690	0,81913
1550	3,7	154,5	4,8	600,2633333	741,6	0,80942
1600	3,8	159	4,8	636,3733333	763,2	0,83382
1650	3,9	165	4,9	673,53	808,5	0,83306
1700	4	170,1	5,1	711,7333333	867,51	0,82043
1750	4,1	174,6	5,2	750,9833333	907,92	0,82715
1800	4,3	180	5,4	810,12	972	0,83346



Gambar 4.6. Grafik Daya Poros Vs Konsumsi Listrik.

Grafik daya poros vs konsumsi listrik dalam gambar 4.6. menunjukkan hubungan yang linier dengan persamaan :

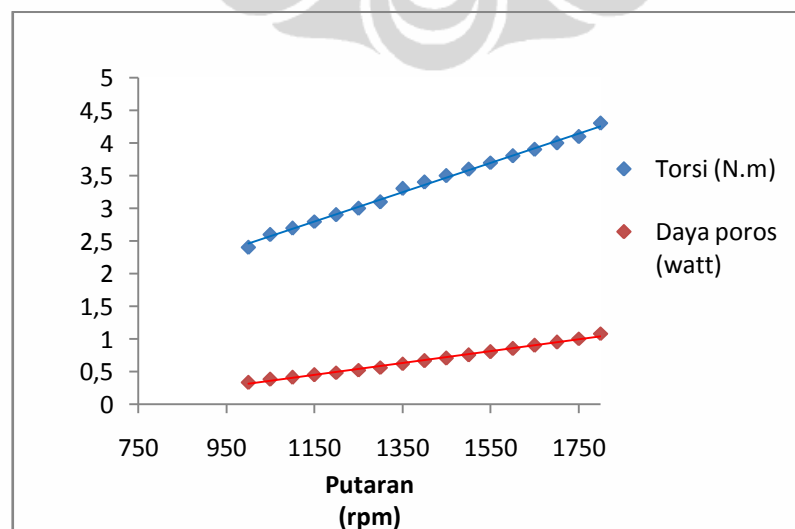
$$P_B = 0,882 P_L - 50,59$$

Dengan :

P_B = daya poros motor listrik (watt).

P_L = konsumsi listrik (watt).

Dengan kecenderungan tersebut maka daya poros motor listrik dapat dicari menggunakan pendekatan persamaan tersebut.



Gambar 4.7. Grafik Torsi Dan Daya Poros Terhadap Putaran.

Karakter torsi (dalam N.m) dan daya (dalam HP) ditunjukkan dalam gambar 4.7. 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.

4.3. Motor Pembakaran Dalam

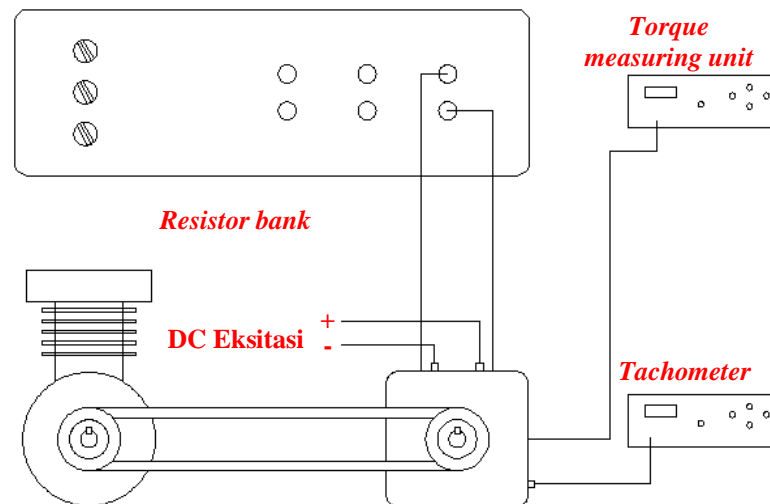
Motor pembakaran dalam yang digunakan dalam kegiatan eksperimental ini mempunyai data spesifikasi nominal yang tertulis pada *manual book* dan pengukuran manual ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. 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

4.3.1. Daya dan Torsi

Untuk mengetahui karakteristik motor bakar, maka dilakukan pengujian dengan melakukan pengereman terhadap poros output menggunakan *dynamometer*. Parameter performa yang akan dicari meliputi torsi, daya poros dan konsumsi bahan bakar spesifik. Skema pengujian ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8. Skema Pengujian Motor Bakar

Metode pengujian adalah dengan cara memberikan pembebanan pengereman konstan dengan putaran motor bakar variabel. Pada pengujian ini terdapat batasan-batasan sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali.
2. Pengaruh temperatur sekitar diabaikan.
3. Volume buret 5 cc.
4. Pengujian hanya ditujukan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar dan daya maksimum motor pembakaran dalam, *output* berupa emisi diabaikan.

Data berupa tabel hasil pengujian pertama sampai dengan pengujian ketiga dicantumkan dalam lampiran.

Dari hasil pengujian, data yang didapatkan adalah torsi pada berbagai tingkat putaran dan waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak 5 cc. Daya motor bakar didapatkan melalui perhitungan dari data pengujian torsi terhadap putaran, dengan rumus :

$$P = T \times \omega$$

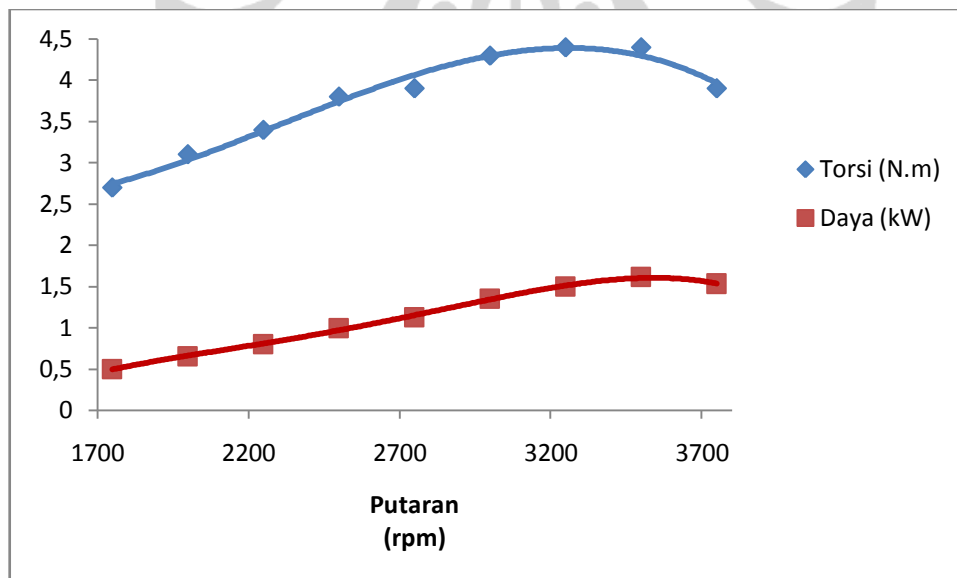
dengan :

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

Dari data rata-rata hasil pengujian pertama, kedua dan ketiga didapatkan daya poros motor bakar yang ditampilkan dalam tabel 4.3 dan divisualisasikan dalam gambar 4.9.

Tabel 4.3. Daya dan Torsi Pada Tiap Putaran.

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	Daya (kW)
1750	2,7	0,494
2000	3,1	0,648
2250	3,4	0,800
2500	3,8	0,994
2750	3,9	1,122
3000	4,3	1,350
3250	4,4	1,496
3500	4,4	1,611
3750	3,9	1,530



Gambar 4.9. Grafik Torsi Vs Putaran.

Torsi maksimum diperoleh pada putaran 3250 dan 3500 rpm. Begitu pula dengan daya maksimum terjadi pada saat torsi maksimum. Pada putaran 3750 torsi mulai

turun. Hal dikarenakan gesekan yang terjadi semakin besar sehingga daya motor bakar berkurang karena sebagian digunakan untuk melawan gaya gesek tersebut.

4.3.2. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Pengujian dilakukan menggunakan buret/gelas ukur dengan volume pengosongan 5 cc. Bahan bakar yang digunakan adalah bensin premium dengan berat jenis 0,72 kg/liter. Konsumsi bahan bakar spesifik dihitung menggunakan rumus :

$$BSFC = \frac{m_f}{P}$$

dengan :

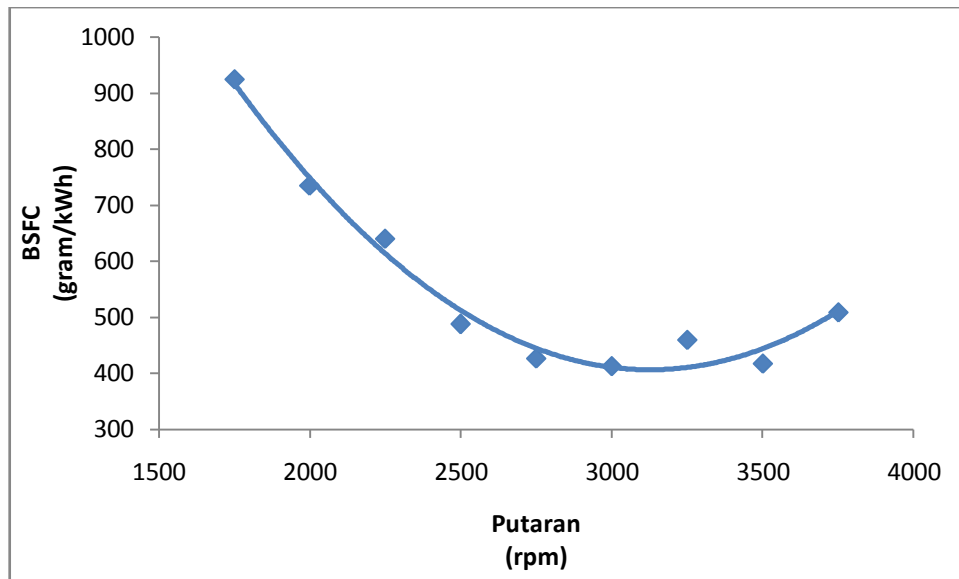
$$m_f = \frac{b}{t} \frac{3600}{1000} f_{ibb}$$

Waktu yang dibutuhkan untuk pengosongan buret dan torsi diperoleh dari pengujian sebelumnya. Hasil pengujian pertama sampai dengan ketiga dicantumkan dalam lampiran. Hasil rata-rata dari pengujian pertama sampai dengan ketiga dan hasil perhitungan BSFC ditampilkan dalam tabel 4.4.

Tabel 4.4. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	Waktu (detik)	Daya (kW)	SFC (g/kWh)
1750	2,7	28,36	0,49	924
2000	3,1	27,17	0,64	735
2250	3,4	25,28	0,80	640
2500	3,8	26,72	0,99	488
2750	3,9	27,04	1,12	427
3000	4,3	23,22	1,35	413
3250	4,4	18,81	1,49	460
3500	4,4	19,24	1,61	418
3750	3,9	16,62	1,53	509

Grafik yang menunjukkan hubungan BSFC terhadap putaran ditunjukkan pada gambar 4.10. Dari tabel 4.4 menunjukkan bahwa motor bakar mempunyai konsumsi bahan bakar spesifik terbaik berada putaran 3000. Hal ini berarti motor bakar mempunyai konsumsi bahan bakar yang irit. Sedangkan pada putaran 1750 rpm, *engine* cenderung mempunyai konsumsi spesifik bahan bakar yang paling besar dengan torsi sebesar 2,7 N.m.



Gambar 4.10. Grafik BSFC vs Putaran.

Pada putaran yang tinggi BSFC juga akan bertambah dikarenakan gaya gesekan yang mengakibatkan berkurangnya daya *output*. Dari gambar 4.10 terlihat karakter yang agak melenceng dari BSFC motor bakar pada umumnya dimana pada putaran menengah mesin mempunyai BSFC paling rendah.

4.4. Sistem Penggerak Hibrid.

Pengujian dilakukan dengan menggabungkan motor listrik dan motor bakar 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

Ptot : 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.
3. Daya poros yang terukur merupakan daya gabungan motor listrik dan motor pembakaran dalam.
4. Pengaruh temperatur lingkungan diabaikan.

Metode pengujian adalah sebagai berikut :

1. Berikan tegangan eksitasi pada generator/*dynamometer*.
2. Hidupkan motor bakar dan atur putaran pada 2500 rpm.
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.

4.4.1. Torsi 1,5 N.m.

Hasil rata-rata pengujian sistem penggerak hibrid pada torsi 1,5 N.m dan hasil penghitungan daya poros gabungan ditampilkan pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Hasil Rata-rata Pengujian Sistem Hibrid Pada Torsi 1,5 N.m.

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	V ML (Volt)	A ML (Ampere)	Waktu (Detik)	Daya Poros Total (kW)
2310	1,5	90	0	42,69	0,362
2310	1,5	93,6	1	45,14	0,362
2310	1,5	99	3,9	54,16	0,362
2310	1,5	101,4	5,1	100,23	0,362

Hasil perhitungan daya poros motor listrik, daya poros motor bakar, hibriditas, dan konsumsi bahan bakar rata-rata dari ketiga pengujian ditunjukkan dalam tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Motor Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar.

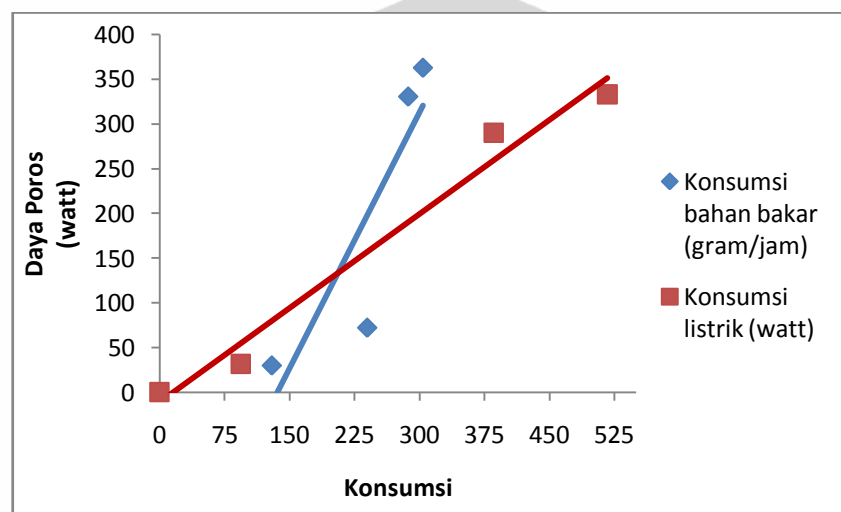
Daya motor listrik (kW)	Daya motor bakar (kW)	Hibriditas	Konsumsi bahan bakar (kg/h)	Konsumsi listrik (kW)
0,00	0,36	0	0,30	0
0,31	0,33	0,09	0,29	0,03
2,89	0,07	0,80	0,24	0,29
0,33	0,01	1	0,13	0,41

Pada proses pengambilan data dengan torsi 1.5 N.m, hanya sedikit variasi daya yang dapat diterapkan. Hal ini karena keterbatasan motor bakar yang mempunyai range torsi rendah mengingat jenis motor bakar yang digunakan mempunyai diameter silinder yang lebih besar dibandingkan langkah piston.

Pada tabel 4.7 ditampilkan konsumsi bahan bakar dan konsumsi listrik serta daya porosnya.

Tabel 4.7. Konsumsi Listrik dan Bahan Bakar Terhadap Daya Poros.

Konsumsi listrik (Watt)	Daya motor listrik (Watt)	Konsumsi bahan bakar (gram/jam)	Daya motor bakar (Watt)
0	0	304	362,67
93,6	31,9	287	330,70
386,1	289,9	239	72,72
517,1	332,6	129	30



Gambar 4.11. Grafik Konsumsi Bahan Bakar dan Listrik Vs Daya Poros.

Dari grafik hubungan Konsumsi listrik dan bahan bakar vs Daya Poros pada gambar 4.11 maka persamaan balans energi:

$$P_{\text{Tot}} = (0,882 P_L - 50,59) + (1,912F_C - 259,5)$$

Dengan :

$$P_{\text{Tot}} = \text{daya poros total (watt).}$$

$$P_L = \text{konsumsi listrik (watt).}$$

$$F_C = \text{konsumsi bahan bakar (gram/jam).}$$

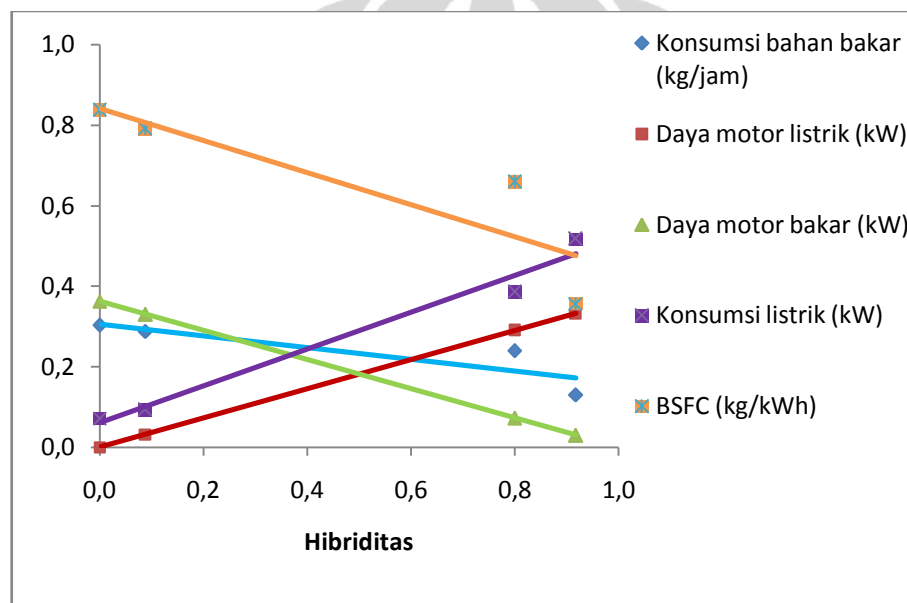
Sehingga hibriditas (H) dinyatakan dengan :

$$H = \frac{0,882 P_L - 50,59}{(0,882 P_L - 50,59) + (1,912F_C - 259,5)}$$

Untuk mencari titik hibriditas yang optimum sistem pada putaran 2310 rpm dengan torsi 1,5 maka dilakukan pengamatan grafik pada gambar 4.12.

Tabel 4.8. Hibriditas Terhadap Konsumsi Listrik dan Bahan Bakar.

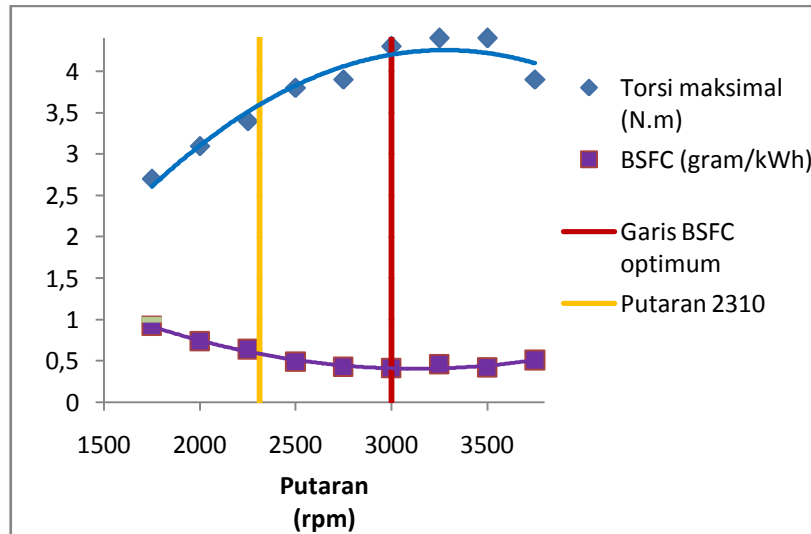
Hibriditas	Konsumsi bahan bakar (kg/jam)	Konsumsi listrik (kW)	Daya motor bakar (kW)	Daya motor listrik (kW)
0,00	0,30	0,07	0,36	0,00
0,09	0,29	0,09	0,33	0,03
0,80	0,24	0,39	0,07	0,29
0,92	0,13	0,52	0,03	0,33



Gambar 4.12. Peta Sistem Hibrid Pada Putaran 2310 Torsi 1,5.

Dalam penentuan hibriditas dengan proses komputasi menggunakan bahasa pemrograman maka di dapatkan tingkat hibriditas (H) yang optimum pada putaran 2310 rpm dan torsi 1,5 N.m dengan konsumsi listrik sebagai *constraint* adalah pada $H = 0,91$. Hal ini berarti penggunaan daya motor listrik 91% dan penggunaan daya motor bakar 9%.

Untuk verifikasi hasil, maka dilakukan investigasi BSFC dari karakteristik motor bakar. Karena parameter irit atau tidak bahan bakar dapat dilihat dari BSFC.



Gambar 4.13. Grafik *Engine Mapping*.

Dari grafik pada gambar 4.13 yang diperoleh dari pengujian karakteristik motor bakar menunjukkan sistem mempunyai BSFC yang optimum pada putaran 3000 rpm. Sedangkan pada putaran 2310 rpm mempunyai nilai BSFC yang tinggi.

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 4.9.

Tabel 4.9. Hasil Rata-rata Pengujian Sistem Hibrid Pada Torsi 2,5 N.m.

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	V ML (Volt)	A ML (Ampere)	Waktu (Detik)	Daya Poros Total (kW)
2450	2,5	93,3	0	33,36	0,641
2450	2,5	99	1,3	35,16	0,641
2450	2,5	105	4,4	44,24	0,641
2450	2,5	108	6,3	57,53	0,641

Hasil perhitungan daya poros motor listrik, daya poros motor bakar, hibriditas, dan konsumsi bahan bakar rata-rata dari ketiga pengujian ditunjukkan dalam tabel 4.10.

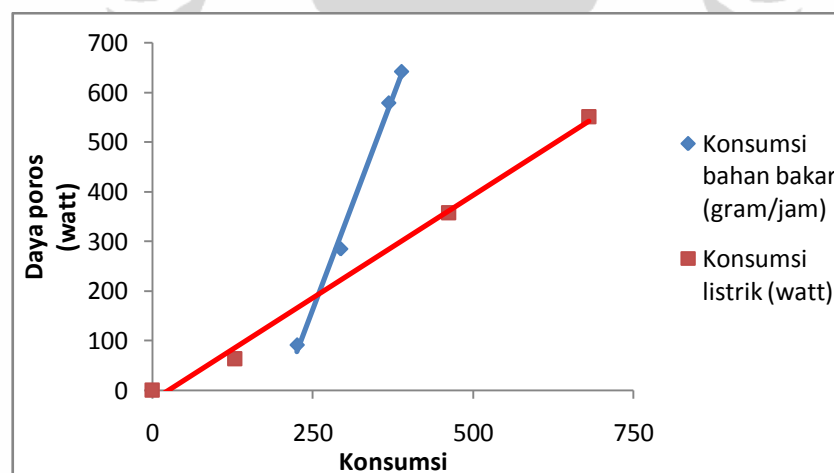
Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Motor Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar.

Daya motor listrik (kW)	Daya motor bakar (kW)	Hibriditas	Konsumsi bahan bakar (kg/h)	Konsumsi listrik (kW)	BSFC (kg/kWh)
0	0,641	0	0,388	0,009	0,606
0,063	0,578	0,10	0,369	0,129	0,575
0,357	0,284	0,56	0,293	0,462	0,457
0,550	0,092	0,86	0,225	0,680	0,351

Pada tabel 4.11 ditampilkan konsumsi bahan bakar dan konsumsi listrik serta daya porosnya.

Tabel 4.11. Konsumsi Listrik dan Bahan Bakar Terhadap Daya Poros.

Konsumsi listrik (Watt)	Daya motor listrik (Watt)	Konsumsi bahan bakar (gram/jam)	Daya motor bakar (Watt)
0	0	388	641,1
128,7	62,9	369	578,2
462	356,8	293	284,2
680,4	549,5	225	91,6



Gambar 4.14. Grafik Konsumsi Bahan Bakar dan Listrik Vs Daya Poros.

Dari grafik hubungan Konsumsi listrik dan bahan bakar vs Daya Poros, maka persamaan balans energi:

$$P_{\text{Tot}} = (0,882 P_L - 50,59) + (3,433F_C - 695,8)$$

Dengan :

P_{Tot} = daya poros total (watt).

P_L = konsumsi listrik (watt).

F_C = konsumsi bahan bakar (gram/jam).

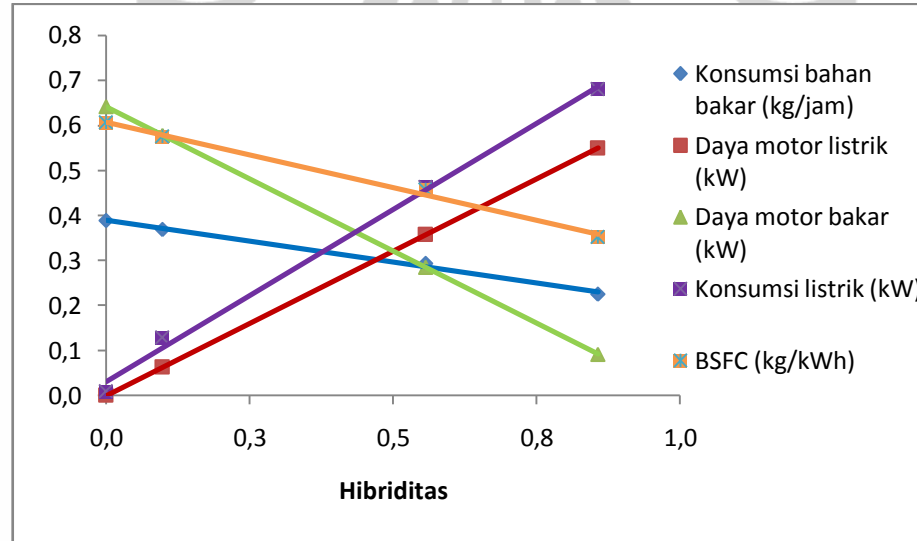
Sehingga hibriditas (H) dinyatakan dengan :

$$H = \frac{0,882 P_L - 50,59}{(0,882 P_L - 50,59) + (3,433 F_C - 695,8)}$$

Untuk mencari titik hibriditas yang optimum sistem pada putaran 2450 rpm dengan torsi 2,5 maka dilakukan pengamatan grafik pada gambar 4.12.

Tabel 4.12. Hibriditas Terhadap Konsumsi Listrik dan Bahan Bakar.

Hibriditas	Konsumsi bahan bakar (kg/jam)	Konsumsi listrik (kW)	Daya motor bakar (kW)	Daya motor listrik (kW)	BSFC (kg/kW.h)
0,00	0,30	0,07	0,36	0,00	0,837
0,09	0,29	0,09	0,33	0,03	0,791
0,80	0,24	0,39	0,07	0,29	0,659
0,92	0,13	0,52	0,03	0,33	0,356

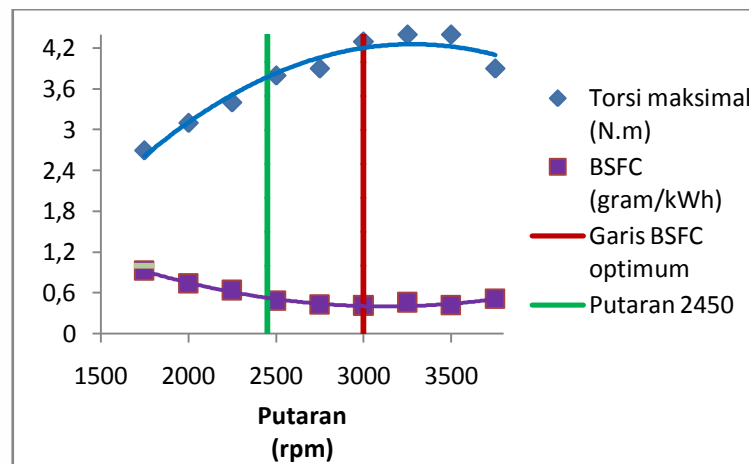


Gambar 4.15. Peta Sistem Hibrid Pada Putaran 2450 Torsi 2,5.

Dalam penentuan hibriditas yang optimum dapat dilihat BSFC (Fuhs, A.E., 2009). Dari grafik pada gambar 4.15 dengan menggunakan komputasi menggunakan bahasa pemrograman maka di dapatkan tingkat hibriditas (H) yang optimum dengan konsumsi bahan bakar sebagai *constraint* adalah pada $H = 0,55$. Hal ini

berarti penggunaan daya motor listrik 55% dan penggunaan daya motor bakar 45%.

Untuk verifikasi hasil, maka dilakukan investigasi BSFC dari karakteristik motor bakar. Karena parameter irit atau tidak bahan bakar dapat dilihat dari BSFC.



Gambar 4.16. Grafik *Engine Mapping*.

Dari grafik pada gambar 4.16 yang diperoleh dari pengujian karakteristik motor bakar, pada putaran 2450 rpm sistem mempunyai BSFC yang lebih baik jika dibandingkan dengan putaran 2310 rpm.

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 4.13.

Tabel 4.13. Hasil Rata-rata Pengujian Sistem Hibrid Pada Torsi 2,5 N.m.

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	V ML (Volt)	A ML (Ampere)	Waktu (Detik)	Daya Poros Total (kW)
3240	3,5	126	0,5	20,84	1,187
3240	3,5	129	0,8	22,58	1,187
3240	3,5	131,4	1,6	23,72	1,187
3240	3,5	134,1	3,2	26,56	1,187
3240	3,5	138	5,1	31,57	1,187
3240	3,5	141	7,1	35,17	1,187
3240	3,5	147	10	0	1,187

Hasil perhitungan daya poros motor listrik, daya poros motor bakar, hibriditas, dan konsumsi bahan bakar rata-rata dari ketiga pengujian ditunjukkan dalam tabel 4.14.

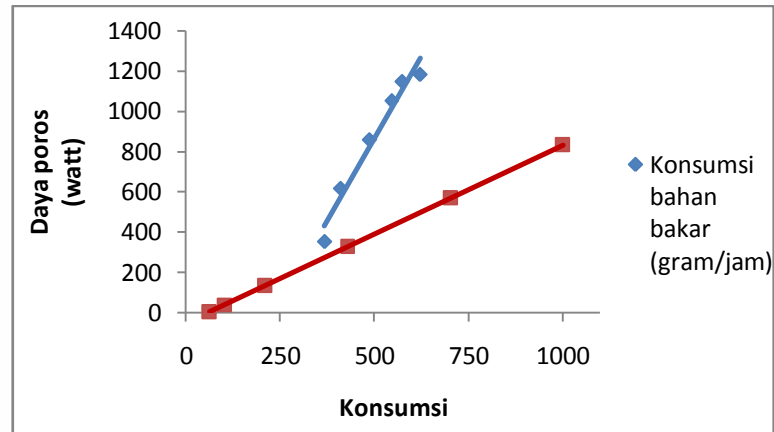
Tabel 4.14. Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik, Motor Bakar, Hibriditas, Konsumsi Daya Motor Listrik dan Konsumsi Bahan Bakar.

Daya motor listrik (kW)	Daya motor bakar (kW)	Hibriditas	Konsumsi bahan bakar (kg/h)	Konsumsi listrik (kW)	BSFC (kg/kWh)
0,005	1,182	0,00	0,622	0,063	0,524
0,040	1,146	0,03	0,574	0,103	0,484
0,135	1,052	0,11	0,546	0,210	0,460
0,328	0,859	0,28	0,488	0,429	0,411
0,570	0,617	0,48	0,411	0,704	0,346
0,832	0,355	0,70	0,368	1,001	0,310
1,187	0	1	0	1,470	0

Pada tabel 4.15 ditampilkan konsumsi bahan bakar dan konsumsi listrik serta daya porosnya.

Tabel 4.15. Konsumsi Listrik dan Bahan Bakar Terhadap Daya Poros.

Konsumsi listrik (Watt)	Daya motor listrik (Watt)	Konsumsi bahan bakar (gram/jam)	Daya motor bakar (Watt)
63	5,0	622	1181,9
103,2	40,4	574	1146,5
210,24	134,8	546	1052,1
429,12	327,9	488	859,0
703,8	570,2	411	616,8
1001,1	832,4	368	354,5



Gambar 4.17. Grafik Konsumsi Bahan Bakar dan Listrik Vs Daya Poros.

Dari grafik hubungan Konsumsi listrik dan bahan bakar vs Daya Poros pada gambar 4.17, maka persamaan balans energi:

$$P_{Tot} = (0,882 P_L - 50,59) + (3,287F_C - 780,4)$$

Dengan :

P_{Tot} = daya poros total (watt).

P_L = konsumsi listrik (watt).

F_C = konsumsi bahan bakar (gram/jam).

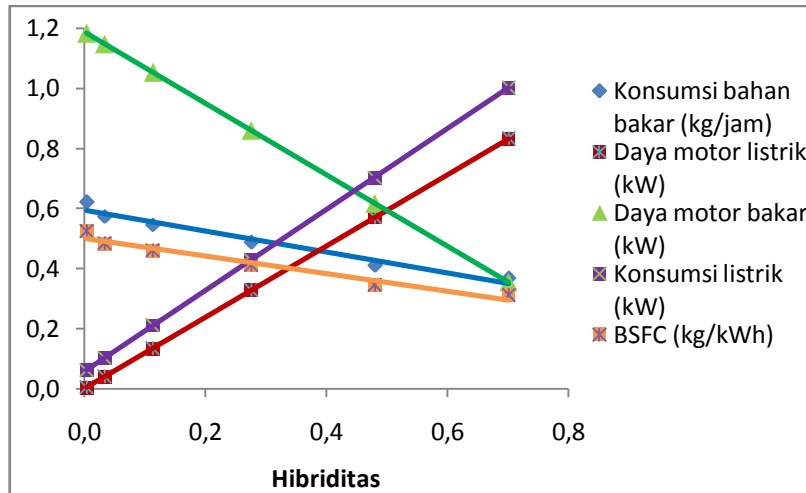
Sehingga hibriditas (H) dinyatakan dengan :

$$H = \frac{0,882 P_L - 50,59}{(0,882 P_L - 50,59) + (3,287 F_C - 780,4)}$$

Untuk mencari titik hibriditas yang optimum sistem pada putaran 3240 rpm dengan torsi 3,5 maka dilakukan pengamatan grafik pada gambar 4.18.

Tabel 4.16. Hibriditas Terhadap Konsumsi Listrik dan Bahan Bakar.

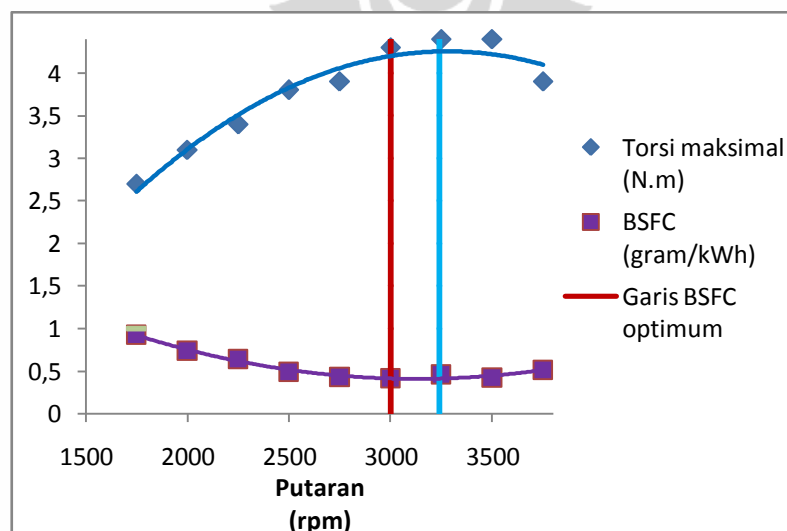
Hibriditas	Konsumsi bahan bakar (kg/jam)	Konsumsi listrik (kW)	Daya motor bakar (kW)	Daya motor listrik (kW)	BSFC (kg/kW.h)
0,00	0,622	0,063	1,182	0,005	0,524
0,03	0,574	0,103	1,146	0,040	0,484
0,11	0,546	0,210	1,052	0,135	0,460
0,28	0,488	0,429	0,859	0,328	0,411
0,48	0,411	0,704	0,617	0,570	0,346
0,70	0,368	1,001	0,355	0,832	0,310



Gambar 4.18. Peta Sistem Hibrid Pada Putaran 3240 Torsi 3,5.

Dalam penentuan hibriditas yang optimum dapat dilihat BSFC (Fuhs, A.E., 2009). Dari grafik pada gambar 4.18 dengan menggunakan komputasi menggunakan bahasa pemrograman maka di dapatkan tingkat hibriditas (H) yang optimum pada putaran 3240 rpm dan torsi 3,5 N.m dengan konsumsi listrik sebagai *constraint* adalah pada $H = 0,27$. Hal ini berarti penggunaan daya motor listrik 27% dan penggunaan daya motor bakar 73%.

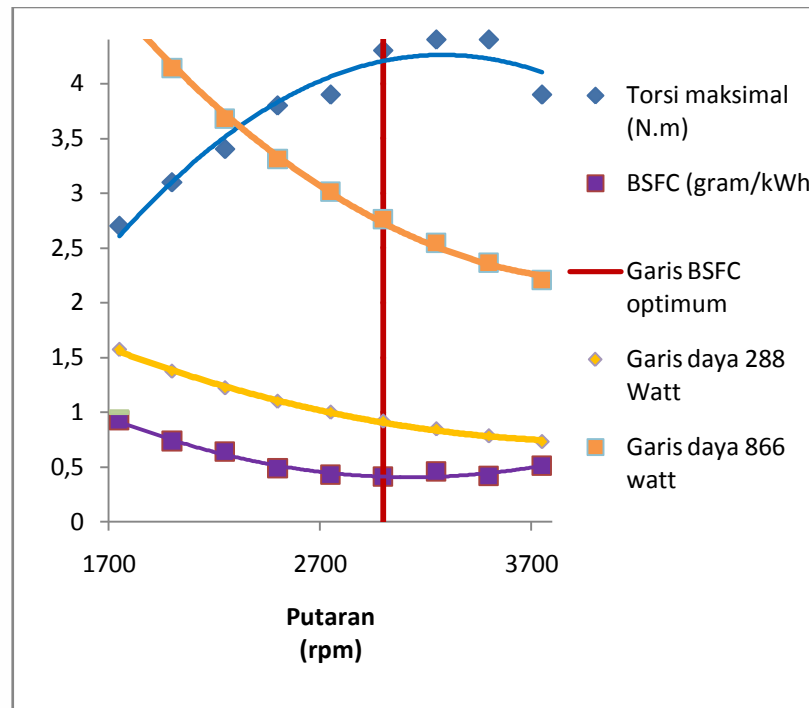
Untuk verifikasi hasil, maka dilakukan investigasi BSFC dari karakteristik motor bakar. Karena parameter irit atau boros bahan bakar dapat dilihat dari BSFC.



Gambar 4.19. Grafik Engine Mapping.

Dari grafik pada gambar 4.19 yang diperoleh dari pengujian karakteristik motor bakar, pada putaran 3240 rpm sistem mempunyai BSFC relatif baik.

4.5. ANALISA PENGUJIAN SECARA KESELURUHAN



Gambar 4.20. Penentuan Daya Dengan BSFC Minimum.

Untuk perancangan sistem dengan daya total 641 watt dengan hibriditas 0,55 dengan daya motor bakar 288 watt, maka agar sistem tersebut mempunyai konsumsi bahan bakar yang minimal perlu dibuat peta dengan berdasarkan karakteristik motor bakar. Dengan menggunakan peta tersebut, maka daya 288 watt yang mempunyai konsumsi bahan bakar yang paling optimal adalah pada torsi 1 N.m pada putaran 3000 rpm.

Pada perancangan sistem pada daya total 641 watt dengan hibriditas 0,27 dimana daya motor bakar adalah 866 watt, maka sistem ini akan optimum dengan putaran motor bakar 3000 rpm pada torsi 2,7 N.m. Untuk selanjutnya perancangan dilakukan menggunakan cara yang sama.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian, mulai dari karakteristik motor bensin, motor listrik dan sistem gabungan antara motor listrik dan motor bakar, dengan daya nominal motor bakar 2,8 HP dan daya nominal motor listrik 1,5 kW dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

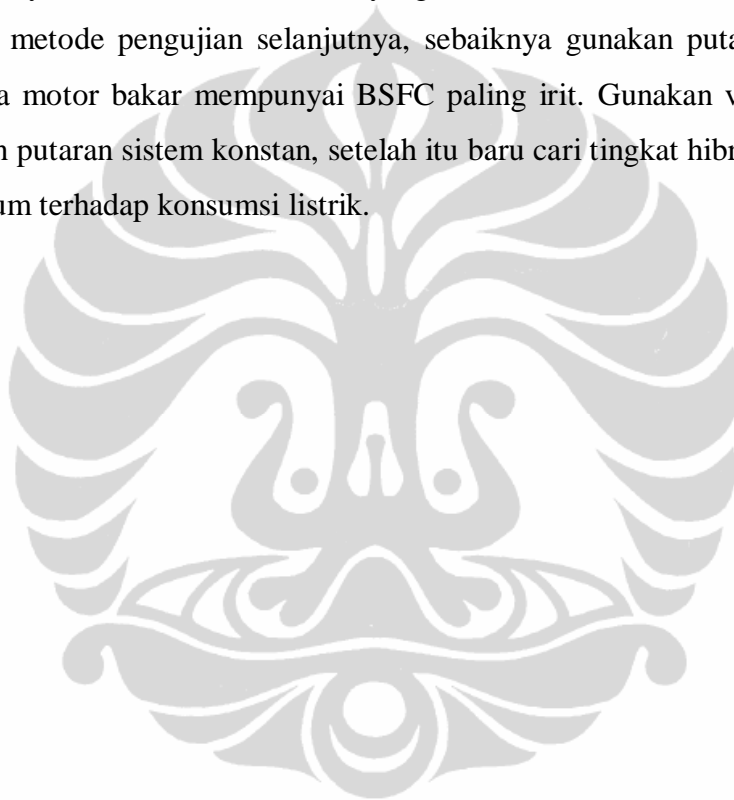
1. Karakter konsumsi bahan bakar spesifik pada putaran rendah dengan daya rendah cenderung mempunyai BSFC yang tinggi. Motor bakar yang digunakan mempunyai BSFC yang baik pada putaran 3000 rpm.
2. Pada torsi 1,5 N.m, hibriditas yang optimum adalah 0,91.
3. Pada torsi 2,5 N.m, hibriditas, konsumsi bahan bakar dan energi listrik yang optimum adalah pada hibriditas 0,55.
4. Pada torsi 2,5 N.m, hibriditas, konsumsi bahan bakar dan energi listrik yang optimum adalah pada hibriditas 0,27.
5. Perancangan sistem penggerak hibrid pada berbagai tingkat beban harus memperhatikan *engine map*. Hal ini agar sistem mempunyai konsumsi bahan bakar yang optimal.
6. Untuk mendapatkan hibriditas yang optimum sangat dipengaruhi oleh BSFC dan efisiensi motor listrik.

5.2. SARAN-SARAN

Selama proses eksperimen dari mulai pengerjaan pembuatan sampai dengan perakitan apparatus terdapat sedikit perubahan rencana dari rencana semula menggunakan generator set karakteristik motor bakar yang dipakai kurang maksimal. Oleh karena itu untuk penelitian selanjutnya sebaiknya perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

1. Pengujian sebaiknya menggunakan motor bakar yang mempunyai torsi yang tinggi. Hal ini biasanya terdapat pada motor bakar dengan putaran rendah.

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 mengatasi hal ini.
3. Gunakan jenis penerus daya dan kopling yang kuat karena gabungan daya mempunyai impak yang besar sebanding dengan beban torsi.
4. Dalam pengujian selalu memperhatikan engine map agar sistem pasti mempunyai konsumsi bahan bakar yang irit.
5. Untuk metode pengujian selanjutnya, sebaiknya gunakan putaran sistem dimana motor bakar mempunyai BSFC paling irit. Gunakan variasi torsi dengan putaran sistem konstan, setelah itu baru cari tingkat hibriditas yang optimum terhadap konsumsi listrik.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] **Ehsani, Mehrdad et.al.**, “Modern Electric, Hybrid Electric, Fuel Cell Vehicles”, CRC Press, Newyork, 2010.
- [2] **Bishop, J., Nedungadi., et.al.**, “An engine start/stop system for improved economy”, SAE Paper No. 2007-01-1777, 2007.
- [3] **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.
- [4] **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.
- [5] **Fuhs, A.**, “Hybrid Vehicle and The Future of Personal Transportation”, CRC Press, New York, 2009.
- [6] **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.
- [7] **Husain, I.**, “Electric and Hybrid Vehicle Design Fundamental”, CRC Press, New York, 2005.
- [8] **Listijorini, E., & moore.**, “Pengembangan Teknologi Pengendali Switching Pada Kendaraan Hybrid Roda Dua”, Seminar Nasional Pascasarjana X – ITS, Surabaya 4 Agustus 2010.
- [9] **Koestoer., R. A.**, “Pengukuran Teknik”, 1 November 2004.
- [9] **Morris, Alan S.**, "Measurement and Instrumentation Principles", Butterworth Heinemann, 2001.
- [10] **Sularso, Suga, K.**, “Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin” 2002.
- [11] **Khurmi, R., et al.**, “Theory of Machines”, S. Chand & Co. Ltd., New Dehli 2005.
- [12] **Sugiarto, B.**, “Motor Pembakaran Dalam”, Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2005.
- [13] **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.

Lampiran 1 : Tabel Hasil Pengujian Motor Bakar

Tabel hasil pengujian pertama daya dan torsi motor bakar

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	Waktu (detik)
1750	2,8	30,12
2000	3,3	28,64
2250	3,4	27,31
2500	3,7	26,19
2750	4,1	25,75
3000	4,2	24,34
3250	4,5	21,09
3500	4,4	18,45
3750	3,8	16,66

Tabel hasil pengujian kedua daya dan torsi motor bakar

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	Waktu (detik)
1750	2,6	25,8
2000	3,2	24,63
2250	3,2	22,39
2500	3,8	27,99
2750	4	31,25
3000	4,3	22,98
3250	4,4	12,58
3500	4,4	18,62
3750	3,7	15,07

Tabel hasil pengujian ketiga daya dan torsi motor bakar

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	Waktu (detik)
1750	2,7	29,16
2000	2,8	28,24
2250	3,6	26,14
2500	3,9	25,98
2750	3,6	24,12
3000	4,4	22,34
3250	4,3	22,76
3500	4,4	20,65
3750	4,2	18,13

Lampiran 2 : Tabel Hasil Pengujian Penggerak Hibrid Pada Torsi 1,5

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

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	V beban (Volt)	I beban (Ampere)	V motor listrik (Volt)	I motor listrik (Ampere)	Waktu (Detik)	Keterangan
2310	1,5	156	0	90,8	0,1	42,12	Eksitasi 51,5
2310	1,5	156	1	94,5	1,1	47,42	
2310	1,5	156	1	100	3,8	55,03	
2310	1,5	156	1	102	5	101,51	

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

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	V beban (Volt)	I beban (Ampere)	V motor listrik (Volt)	I motor listrik (Ampere)	Waktu (Detik)	Keterangan
2310	1,5	156	0	90	0,1	42,47	Eksitasi 51,5
2310	1,5	156	1	92,8	1	44,04	
2310	1,5	156	1	99,2	3,9	54,05	
2310	1,5	156	1	101	5,1	102,36	

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

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	V beban (Volt)	I beban (Ampere)	V motor listrik (Volt)	I motor listrik (Ampere)	Waktu (Detik)	Keterangan
2310	1,5	156	0	89,2	0,1	42,47	Eksitasi 51,5
2310	1,5	156	1	93,5	0,9	44,04	
2310	1,5	156	1	97,8	4	54,05	
2310	1,5	156	1	101,2	5,2	102,36	

Lampiran 3 : Tabel Hasil Pengujian Penggerak Hibrid Pada Torsi 2,5

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

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	V beban (Volt)	I beban (Ampere)	V motor listrik (Volt)	I motor listrik (Ampere)	Waktu (Detik)	Keterangan
2450	2,5	162	2,3	90	0	32,04	Eksitasi 51,5
2450	2,5	162	2,3	96	1,3	37,52	
2450	2,5	162	2,3	102	4,5	45,46	
2450	2,5	162	2,3	105	6,5	59,32	

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

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	V beban (Volt)	I beban (Ampere)	V motor listrik (Volt)	I motor listrik (Ampere)	Waktu (Detik)	Keterangan
2450	2,5	162	2,3	91,5	0	31,62	Eksitasi 51,5
2450	2,5	162	2,3	102	1,3	34,37	
2450	2,5	162	2,3	109,5	4,2	42,14	
2450	2,5	162	2,3	114	5,9	54,83	

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

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	V beban (Volt)	I beban (Ampere)	V motor listrik (Volt)	I motor listrik (Ampere)	Waktu (Detik)	Keterangan
2450	2,5	162	2,3	98,4	0	36,42	Eksitasi 51,5
2450	2,5	162	2,3	99	1,3	33,59	
2450	2,5	162	2,3	103,5	4,5	45,12	
2450	2,5	162	2,3	105	6,5	58,44	

Lampiran 4 : Tabel Hasil Pengujian Penggerak Hibrid Pada Torsi 3,5

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

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	V beban (Volt)	I beban (Ampere)	V motor listrik (Volt)	I motor listrik (Ampere)	Waktu (Detik)	Keterangan
3240	3,5	222,6	3,4	125,4	0,5	22,41	Eksitasi 51,5
3240	3,5	222,6	3,4	128,8	0,9	24,07	
3240	3,5	222,6	3,4	130,8	1,7	25,72	
3240	3,5	222,6	3,4	133,6	3,2	26,92	
3240	3,5	222,6	3,4	137,5	5,2	32,17	
3240	3,5	222,6	3,4	140,8	7,4	34,77	

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

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	V beban (Volt)	I beban (Ampere)	V motor listrik (Volt)	I motor listrik (Ampere)	Waktu (Detik)	Keterangan
3240	3,5	222,6	3,4	127	0,5	18,24	Eksitasi 51,5
3240	3,5	222,6	3,4	130,4	0,8	20,44	
3240	3,5	222,6	3,4	131,1	1,7	23,28	
3240	3,5	222,6	3,4	134,9	3,1	25,28	
3240	3,5	222,6	3,4	138,5	5	30,05	
3240	3,5	222,6	3,4	141,8	7,3	32,95	

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

Putaran (rpm)	Torsi (N.m)	V beban (Volt)	I beban (Ampere)	V motor listrik (Volt)	I motor listrik (Ampere)	Waktu (Detik)	Keterangan
3240	3,5	222,6	3,4	125,6	0,5	21,87	Eksitasi 51,5
3240	3,5	222,6	3,4	127,8	0,7	23,23	
3240	3,5	222,6	3,4	132,3	1,4	22,16	
3240	3,5	222,6	3,4	133,8	3,3	27,48	
3240	3,5	222,6	3,4	138	5,1	32,49	
3240	3,5	222,6	3,4	140,4	6,6	37,79	

Lampiran 5 : Foto Dokumentasi



Gambar pengujian motor listrik



Gambar sistem transmisi aparatus



Gambar proses kalibrasi

(lanjutan)



Gambar proses pembuatan dudukan pengunci apparatus



Gambar suasana laboratorium

Lampiran 6 : Script Pemrograman Untuk Torsi 1,5 N.m

PEMROGRAMAN UNTUK MENCARI TITIK POTONG TORSI 1,5.

```
<html>
<body>
<script type="text/javascript">
var x0;
x0 = 0.81;
var y0;
y0 = (-0.399*x0) + 0.841;
var y1;
y1 = (0.458*x0)+0.060;

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

while (i<=2500000000 && OK!=1)
{
  x0 = x0+0.000001;
  y0 = (-0.399*x0) + 0.841;
  y1 = (0.458*x0)+0.060;
  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>
```

Lampiran 7 : Script Pemrograman Untuk Torsi 2,5 N.m

PEMROGRAMAN UNTUK MENCARI TITIK POTONG TORSI 2,5.

```
<html>
<body>
<script type="text/javascript">

var x0;
x0 = 0.5;
var y0;
y0 = (0.764*x0) + 0.031;
var y1;
y1 = (-0.289*x0)+0.606;

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

while (i<=250000000 && OK!=1)
{
  x0 = x0+0.000001;
  y0 = (0.764*x0) + 0.031;
  y1 = (-0.289*x0)+0.606;
  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>
```

Lampiran 8 : Script Pemrograman Untuk Torsi 3,5 N.m

PEMROGRAMAN UNTUK Mencari Titik Potong Torsi 3,5.

```
<html>
<body>
<script type="text/javascript">

var x0;
x0 = 0.2;
var y0;
y0 = (-0.293*x0) + 0.501;
var y1;
y1 = (1.345*x0)+0.057;

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

while (i<=250000000 && OK!=1)
{
  x0 = x0+0.000001;
  y0 = (-0.293*x0) + 0.501;
  y1 = (1.345*x0)+0.057;
  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>
```