



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN MODEL SISTEM KONTROL TRAKSI  
KENDARAAN HIBRIDA BERPENGGERAK MOTOR  
LISTRIK YANG TERINTEGRASI**

**TESIS**

**DIDI WIDYA UTAMA  
0906579140**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
DEPOK  
JUNI 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGEMBANGAN MODEL SISTEM KONTROL TRAKSI  
KENDARAAN HIBRIDA BERPENGERAK MOTOR  
LISTRIK YANG TERINTEGRASI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister**

**DIDI WIDYA UTAMA  
0906579140**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN  
SISTEM MANUFaktur DAN OTOMASI  
DEPOK  
JUNI 2011**

**Universitas Indonesia**

Pengembangan model..., Didi Widya Utama, FT UI, 2011.

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis dengan judul:

### **PENGEMBANGAN MODEL SISTEM KONTROL TRAKSI KENDARAAN HIBRIDA BERPENGERAK MOTOR LISTRIK YANG TERINTEGRASI**

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

Nama : Didi Widya Utama

NPM : 0906579140

Tanda Tangan : 

Tanggal : 13 Juni 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Didi Widya Utama

NPM : 0906579140

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Tesis : PENGEMBANGAN MODEL SISTEM KONTROL TRAKSI  
KENDARAAN HIBRIDA BERPENGERAK MOTOR LISTRIK YANG TERINTEGRASI

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. R. Danardono Agus Sumarsono DEA. PE (.....)

Penguji : Prof. Dr. -Ing. Nandy Setiadi Djaya Putra (.....)

Penguji : Prof. Ir. Yulianto Sulistyono Nugroho M.Sc., Ph.D (.....)

Penguji : Dr. Ario Sunar Baskoro S.T., M.T., M.Eng (.....)

Ditetapkan di : Depok.

Tanggal : .....

Universitas Indonesia

## Kata Pengantar

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas pimpinanNya dalam menyelesaikan tesis ini, topik yang saya teliti adalah tentang kendaraan hibrida, yang merupakan sebuah teknologi yang menggabungkan dua buah sumber sistem gerak kendaraan agar kendaraan tersebut dapat memiliki *fuel milage* yang ekonomis. Isu dunia saat ini adalah global warming dan krisis energi terutama di negara kita tercinta Indonesia, selain isu tersebut ada isu lain yakni masalah transportasi kota besar di Indonesia terutama Jakarta yang masih amburadul, macet di sana sini. Harapan saya jika penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi masyarakat maupun pemerintah dalam menangani permasalahan yang ada di negara kita ini.

Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada :

1. Pembimbing saya Dr. Danardono AS, yang telah mengarahkan dan membimbing serta memotivasi sehingga saya bisa selesai tepat waktu dalam menyelesaikan tesis ini.
2. Bapak Yasin, laboran lab Teknologi Mekanik yang sangat luar bisa bekerja membantu saya dalam mewujudkan prototipe kendaraan ini.
3. Universitas Tarumanagara dimana saya bekerja sebagai pemberi beasiswa untuk kuliah S2.
4. Istri saya Cathrine dan anak saya Raffa, yang memberikan support dengan kasihnya sehingga saya bisa bersemangat dalam menyelesaikan tesis ini.
4. Mahasiswa saya S1, Denis Ong yang membantu dalam pembuatan komponen elektronika.
5. Teman-teman saya seangkatan , Riyan, Hindra, Soleh, Nelce, Steven, Zulfan, Erwanto, dkk yang telah memberikan dukungan sehingga saya dapat selesai tepat waktu.
6. Serta pihak-pihak yang tidak disebutkan namun membantu dalam penyelesaian tesis ini lewat saran, motivasi, dan dukungan.

Depok, 13 Juni 2011



Didi Widya Utama  
0906579140

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

---

---

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

Nama : Didi Widya Utama

NPM :0906579140

Program Studi : Teknik Mesin

Depatemen : 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:

**PENGEMBANGAN MODEL SISTEM KONTROL TRAKSI KENDARAAN  
HIBRIDA BERPENGERAK MOTOR LISTRIK YANG TERINTEGRASI**

Beserta perangkat yang ada ( jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti  
Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih  
media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat,  
dan memublikasikan 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 : 13 Juni 2011

Yang Menyatakan



( Didi Widya Utama )

## ABSTRAK

Nama : Didi Widya Utama

Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Pengembangan Model Sistem Kontrol Traksi Kendaraan Hibrida Berpenggerak Motor Listrik yang Terintegrasi

*Hybrid electric vehicle* banyak dikembangkan di negara maju karena memiliki keunggulan yakni dapat menghemat pemakaian bahan bakar hingga dua kali lipat. Kendaraan hibrida adalah kendaraan yang memiliki dua atau lebih sistem propulsi, umumnya adalah penggerak berbahan bakar minyak bumi/sel bahan bakar dan sistem penggerak elektrik. Dalam riset ini telah dilakukan perancangan dan pengujian prototipe kontrol traksi kendaraan hibrida berpenggerak kombinasi serial-paralel mesin bensin berdaya 6,54 kW dan motor listrik 0,5kW. Penggunaan transmisi CVT (*continuous variable transmission*) dan penggerak bertenaga listrik *brushless* terintegrasi sebagai motor dan generator serta melekat pada masing-masing roda belakang memperhalus perpindahan daya ketika beroperasi. Sistem pengisian baterai kendaraan ini berasal dari tiga buah sumber pengisian dengan dua buah jalur tegangan yakni *altenator* berkapasitas pengisian 12 V / 7 Ah, sistem *power take off* berupa *alternator* tambahan yang digerakkan motor bakar untuk mengatasi kekurangan pengisian empat buah baterai disusun seri dengan kapasitas 48 V/ 32 Ah dan sistem *regenerative* berasal dari kedua motor listrik pada saat kendaran bekerja menggunakan motor bakar maupun pada saat pengereman. Pengujian *regenerative* dari motor listrik menghasilkan daya sebesar 199,44 W pada putaran 737 RPM dan pada pengujian jalan mode hibrida dapat menghemat pemakaian bahan bakar hingga 80%.

Kata Kunci : *hybrid electric vehicle, regenerative braking continuous variable transmission.*

## ABSTRACT

Name : Didi Widya Utama

Study Program: Mechanical Engineering

Title : Model Development for Traction Control System on Hybrid Vehicle Driven by Integrated Electric Motor

Hybrid electric vehicle developed in many developed countries because it has the advantage that can save fuel consumption more than doubled. Hybrid electric vehicles have two or more propulsion systems, generally is driven by internal combustion engine / fuel cell and electric motor. In this research design and testing of a prototype hybrid electric vehicle traction control having a serial-parallel configuration by combining of gasoline engine power 6,54 kW and 0,5 kW electric motor. The use of transmission CVT (continuous variable transmission) and electric-powered drive brushless motor and generator are integrated as well as attached to each rear wheel is refined the displacement power when operating. Vehicle battery charging system is derived from three sources of charge with two lines namely voltage alternator with charging capacity of 12 V / 7 Ah, the power take-off in the form of additional motor driven alternator to overcome the deficiency charging of four batteries in series connection with a capacity of 48 V / 32 Ah and regenerative system comes from two electric motors at work using a motor vehicle fuel or when braking. Tests of the regenerative electric motor to produce power equal to 199,44 W at 737 rpm and for test drive result on Hybrid mode has reduced consumption of fuel up to 80%.

Keyword: hybrid electric vehicle, regenerative braking continuous variable transmission

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	iv
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5.. Metodologi Penelitian .....	4
<b>2. STUDI PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
2.1. Tinjauan Pustaka .....	6
2.1.1 Sistem Kerja <i>Hybrid Electric</i> .....	6
2.2. <i>Test bed</i> Kendaraan Hibrida .....	11
2.3. Perancangan Sistem Kontrol .....	13
2.4. Desain Konsep Prototipe Kendaraan Hibrida. ....	16
2.4.1 Deskripsi Operasi Kendaraan Hibrida .....	16
2.4.2. Parameter kendaraan hibrida .....	18
2.5. Desain Konsep dan Spesifikasi Awal.....	18
2.6. <i>Embodiment Design</i> .....	19
2.6.1. Arsitektur Desain .....	19
2.6.2. Konfigurasi Desain dan Parameter Desain .....	21
2.7. Detail Desain .....	23
<b>3. KOMPONEN SISTEM KONTROL PROTOTIPE KENDARAAN</b>	
<b>HIBRIDA .....</b>	<b>25</b>
3.1. Pemilihan Komponen Sistem Kontrol.....	25
3.2. Komponen Masukan Sistem Kontrol .....	26
3.2.1 <i>Inductive Proximity Sensors</i> .....	26
3.2.2. Sensor Tegangan Listrik .....	27
3.2.3. Sensor Arus Listrik .....	29
3.2.4. Sensor Handel Akselerator .....	31
3.3. Komponen Keluaran Sistem Kontrol .....	31
3.3.1. Motor Listrik.....	31
3.3.1.1 Pengujian Putaran Motor listrik .....	32
3.3.1.2. Pengujian Regeneratif Motor Listrik .....	34
3.3.2. Motor Bakar .....	34
3.3.3. LCD ( <i>Liquid Crystal Display</i> ) .....	36
3.4. Mikrokontroler AVR ATmega 32 .....	38
3.5. Voltage Regulator.....	41

3.6. <i>Switching Circuit</i> .....	42
3.7. Sistem Penyimpanan Energi .....	42
3.8. Sistem <i>Power Take Off</i> .....	43
<b>4. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN MODEL SISTEM KONTROL</b>	
<b>TERINTEGRASI</b> .....	<b>45</b>
4.1. Kondisi Operasi Kendaraan yang Akan Dicapai .....	45
4.2. Konfigurasi Sistem Mekanik .....	45
4.3. Konfigurasi Sistem Elektrik .....	48
4.3.1. Modul <i>Tachometer</i> .....	49
4.3.2. Modul Indikator <i>State of Charge</i> Baterai .....	51
4.3.3. Modul Arus Listrik .....	53
4.3.4. Modul Motor Listrik .....	54
4.3.5. Mikrokontroler Utama .....	55
4.4. Pengujian Sistem Kontrol .....	56
4.4.1. Pengujian Mode Operasi Model Sistem Kontrol .....	57
4.4.2. Pengujian Putaran Motor Listrik .....	58
4.4.3. Pengujian Respon Motor Listrik Terhadap Putaran .....	59
4.4.4. Pengujian Statis Performa Kendaraan Hibrida .....	60
4.4.5. Pengujian Jalan Performa Kendaraan Hibrida .....	61
4.5. Analisa dan Pembahasan .....	63
4.5.1. Analisa Hasil Pengujian Motor Listrik .....	63
4.5.2. Analisa Hasil Pengujian Statis .....	65
4.5.3. Analisa Hasil Pengujian Jalan .....	66
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>68</b>
5.1. Kesimpulan .....	68
5.2. Saran .....	68
<b>DAFTAR REFERENSI</b> .....	<b>69</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Grafik Produksi Minyak Bumi, Konsumsi dan Ekspor-impor.....	2
Gambar 1.2 Diagram Alir Perancangan Sistem Kontrol.....	5
Gambar 2.1 Komponen Kendaraan Hibrida .....	6
Gambar 2.2 <i>Series Hybrid Electric Vehicle System</i> .....	7
Gambar 2.3 <i>Parallel Hybrid Electric Vehicle System</i> .....	8
Gambar 2.4 <i>Split Parallel Hybrid Electric Vehicle System</i> .....	8
Gambar 2.5 <i>Basic Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle System</i> .....	9
Gambar 2.6 <i>Series-Parallel Hybrid Electric Toyota Prius</i> .....	10
Gambar 2.7 Penggerak Seri-Paralel Kendaraan Hibrida yang Dikembangkan ....	10
Gambar 2.8 Skema Pengujian <i>Test Bed</i> [6] .....	12
Gambar 2.9 <i>Test Bed</i> Kendaraan Hibrida [6].....	12
Gambar 2.10 Diagram Alir Perancangan Sebuah Produk.....	14
Gambar 2.11 Arsitektur Produk Kendaraan Hibrida.....	20
Gambar 2.12 Motor Listrik .....	21
Gambar 2.13 Motor Bakar Bertransmisi Sabuk Variabel Kontinyu .....	22
Gambar 2.14 Konfigurasi Desain Mekanik Prototipe Kendaraan Hibrida .....	23
Gambar 2.15 Gambar Instruksi Perakitan Kendaraan Hibrida .....	24
Gambar 3. 1 <i>Inductive Proximity Sensor</i> .....	26
Gambar 3. 2 Diagram Blok Sensor Induktif .....	27
Gambar 3. 3 <i>Wiring Diagram</i> Sensor Induktif .....	27
Gambar 3. 4 Skema Rangkaian <i>Voltage Divider</i> .....	28
Gambar 3. 5 Modul Sensor Tegangan .....	28
Gambar 3. 6 IC Hall ACS 712 <i>Sensor Current</i> .....	29
Gambar 3. 7 Diagram Blok Sensor Arus Listrik ACS 712.....	29
Gambar 3. 8 <i>Pin Out Diagram</i> ACS 712 .....	30
Gambar 3. 9 Grafik Karakteristik Sensing ACS 712 .....	30
Gambar 3. 10 Modul Sensor Arus Ter-rakit .....	31
Gambar 3. 11 Handel Akselerator.....	31
Gambar 3. 12 Motor Listrik dan <i>Motor Driver</i> .....	32

Gambar 3. 13 <i>Test Bed</i> Pengujian Motor Listrik .....	32
Gambar 3. 14 Grafik Pengujian Motor Listrik .....	33
Gambar 3. 15 Grafik Hasil Pengujian Regeneratif Motor Listrik.....	34
Gambar 3. 16 Motor Bakar Yamaha Mio .....	36
Gambar 3. 17 <i>Liquid Crystal Display</i> .....	36
Gambar 3. 18 Diagram Blok ATmega32.....	39
Gambar 3. 19 Konfigurasi Pin ATmega 32 .....	40
Gambar 3. 20 Diagram Blok LM7805 .....	41
Gambar 3. 21 Skema <i>Switching Circuit</i> .....	42
Gambar 3. 22 Baterai Incoe NS 40 .....	42
Gambar 3. 23 Posisi Pemasangan <i>Power Take Off</i> .....	43
Gambar 3. 24 Grafik Pengujian Pengisian Baterai oleh <i>Power Take Off</i> .....	44
Gambar 4. 1 Konfigurasi Sistem Mekanik dan Elektrik Yang Dikembangkan...	46
Gambar 4. 2 Model 3Dimensi Prototipe Kendaraan Hibrida.....	47
Gambar 4. 3 Prototipe Kendaraan Hibrida yang Dibangun .....	48
Gambar 4. 4 Diagram Blok Model Sistem Kontrol Terintegrasi.....	49
Gambar 4. 5 Pemasangan Sensor Induktif .....	50
Gambar 4. 6 Diagram Alir Pemrograman Modul <i>Tachometer</i> .....	50
Gambar 4. 7 Diagram Alir Pemrograman Modul <i>State of Charge</i> Baterai.....	53
Gambar 4. 8 Diagram Alir Modul Sensor Arus Listrik .....	54
Gambar 4. 9 Diagram Alir Program Utama .....	55
Gambar 4. 10 Diagram Alir Pemrograman Mode Motor Listrik(kiri) dan Mode Motor Bakar(kanan) .....	56
Gambar 4. 11 Gambar Profil Topografi Jalan Raya UI .....	57
Gambar 4. 12 Grafik Hasil Pengujian Kedua Motor Listrik.....	59
Gambar 4. 13 Grafik Arus Listrik Kedua Motor Terhadap Putaran .....	60
Gambar 4. 14 Grafik Refeneratif Kedua Motor Listrik Terhadap Putaran .....	60
Gambar 4. 15 Grafik Hasil Pengujian Statis Kendaraan Hibrida .....	61
Gambar 4. 16 Grafik Hasil Pengujian Jalan Kendaraan Hibrida Mode 1 .....	62
Gambar 4. 17 Grafik Hasil Pengujian Jalan Kendaraan Hibrida Mode 2.....	62
Gambar 4. 18 Grafik Hasil Pengujian Jalan Kendaraan Hibrida Mode 3.....	63
Gambar 4. 19 Grafik Pendekatan Motode Regresi .....	64

Gambar 4. 20 Grafik Nilai PWM Hasil Perhitungan Terhadap Putaran yang  
Dihasilkan..... 65



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hasil Pengujian Kontrol Sistem pada <i>Test Bed</i> .....	13
Tabel 2. 2 Spesifikasi Prototipe Kendaraan Hibrida di DTM UI [7] .....	17
Tabel 3. 1 Hasil Pengujian Motor Listrik .....	33
Tabel 3. 2 Hasil Pengujian Regeneratif Motor Listrik.....	34
Tabel 3. 3 Spesifikasi Motor Bakar.....	35
Tabel 3. 4 <i>Pin Out Liquid Crystal Display</i> .....	36
Tabel 3. 5 Pengujian Pengisian Baterai oleh <i>Power Take Off</i> .....	43
Tabel 4. 1 Kondisi Operasi Kendaraan .....	45
Tabel 4. 2 Kondisi <i>State of Charge</i> Baterai .....	51
Tabel 4. 3 Kondisi <i>State of Charge</i> Baterai .....	52
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Operasi Sistem Kontrol .....	58
Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kedua Motor Listrik Terhadap Tegangan Sinyal .....	58
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Regeneratif Kedua Motor Listrik .....	59
Tabel 4. 7 Tabel Nilai PWM Hasil Perhitungan dan Putaran Teoritis.....	64
Tabel 4. 8 Tabel Perbandingan Mode Pengujian .....	67

# BAB 1

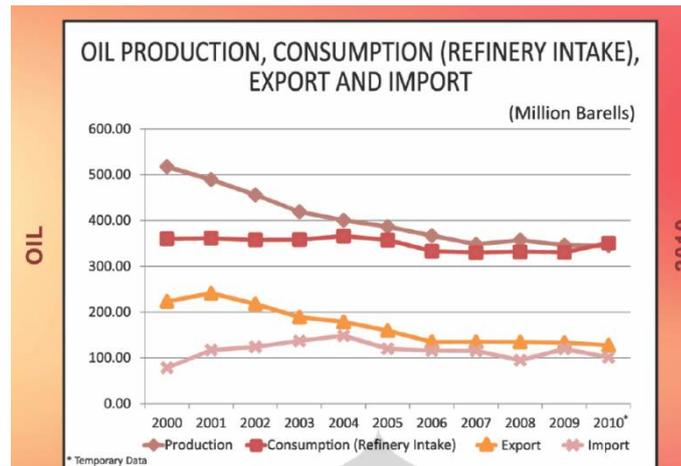
## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Semakin bertumbuhnya perekonomian sebuah kota maka kebutuhan akan transportasi bagi penduduknya akan semakin bertumbuh pula. Alat transportasi yang paling populer dijumpai di kota besar saat ini adalah mobil berpengerak motor bakar yang menggunakan bahan bakar fosil. Sektor transportasi menyumbang 70-80% penyebab utama dari pencemaran udara di kota besar seperti Jakarta, sektor ini juga menggunakan 99.94% bahan bakar minyak bumi, dimana bahan bakar fosil mengakibatkan pencemaran udara yang mengganggu kesehatan, komponen hidrokarbon dari gas buang kendaraan bermotor, seperti *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH) pada partikel diesel, diketahui sebagai penyebab kanker, demikian juga benzena dan 1,3 butadiene. Gas CO dapat memperburuk penyakit jantung dengan cara mengganggu kapasitas darah dalam mengangkut oksigen. Profil kesehatan di DKI Jakarta pada 2004 menunjukkan sekitar 46 persen penyakit gangguan pernapasan terkait dengan pencemaran udara (ISPA 43 persen, iritasi mata 1,7 persen, dan asma 1,4 persen), serta sekitar 32 persen kematian ada kemungkinan terkait dengan pencemaran udara (penyakit jantung dan paru-paru 28,3 persen dan pneumonia 3,7 persen) [1].

Jumlah kendaraan bermotor dengan penggerak motor bakar mendominasi kendaraan yang ada di Indonesia dan jumlah ini meningkat sekitar 10 % setiap tahunnya. Tercatat jumlah kendaraan bermotor tahun 2009 didominasi oleh kendaraan mobil penumpang sebesar 10,3 jt dari total sejumlah lebih dari 70 jt kendaraan bermotor di Indonesia termasuk sepeda motor [2].

Hal ini akan mempengaruhi situasi ketahanan energi nasional, terlihat dari data produksi dari minyak Indonesia semakin tahun menurun dan pada tahun 2009 hampir mendekati jumlah konsumsinya artinya bahwa cadangan minyak Indonesia semakin menurun, sehingga jika jumlah konsumsi minyak bumi lebih tinggi dari jumlah produksinya maka bukan tidak mungkin Indonesia akan melakukan import minyak bumi untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri [3].



Gambar 1.1 Grafik Produksi Minyak Bumi, Konsumsi dan Ekspor-impor

Kendaraan berpenggerak motor bakar mempunyai tingkat efisiensi yang rendah sekitar 15-20% hanya dipergunakan untuk menggerakkan kendaraan tersebut, untuk itu maka perlu diupayakan usaha untuk meningkatkan efisiensi penggunaan enersi pada kendaraan motor bakar[4].

Kendaraan listrik banyak dikembangkan di berbagai negara termasuk Indonesia untuk mengurangi pemakaian bahan bakar minyak bumi, kendaraan elektrik mempunyai tingkat efisiensi tinggi sehingga dapat menjadi solusi dari masalah energi, namun kendaraan elektrik mempunyai beberapa keterbatasan yakni jarak tempuhnya yang pendek karena keterbatasan pada kapasitas baterai, lamanya waktu pengisian baterai yang relatif lama, stasiun pengisian yang masih terbatas sehingga infrastruktur penunjang menuntut biaya investasi yang tinggi.

Kendaraan yang menggunakan lebih dari satu macam sistem penggerak disebut *Hybrid* dan sudah mulai dikembangkan dan diproduksi masal oleh banyak produsen mobil, bahkan beberapa negara memberikan insentif pajak kepemilikan kendaraan tersebut. Kendaraan hybrid merupakan salah satu solusi untuk menekan penggunaan bahan bakar karena sistem ini mengkombinasikan sistem penggerak motor bakar dan motor listrik, yang dapat meningkatkan jarak tempuh kendaraan. Keuntungan dari kendaraan penggerak energi listrik yakni penggunaan energi yang efisien tetapi memiliki kelemahan yakni jarak tempuh yang pendek, tetapi kendaraan berpenggerak motor bakar dapat mengatasi problem jarak tempuh

tersebut, tetapi dengan konsekuensi efisiensi konsumsi bahan bakar yang rendah pada kecepatan rendah. Untuk itu kendaraan sistem hibrida menggabungkan kedua sistem tersebut sehingga dicapai efisiensi dan jarak tempuh kendaraan yang optimal.

Kendaraan hybrid yang sudah ada di pasaran memiliki harga yang relatif tinggi jauh melebihi harga mobil berpengerak motor bakar, untuk itu perlu dikembangkan sebuah prototipe kendaraan hibrida yang mempunyai harga yang murah dan mudah dikembangkan sehingga dapat membantu pemerintah menekan pemakaian bahan bakar minyak bumi dan dapat diproduksi di Indonesia sehingga memperkuat kemandirian bangsa.

Sebuah faktor yang penting dalam merancang kendaraan hibrida ini adalah sistem kontrol traksi dan sistem yang mengatur jaringan listrik dari kendaraan ini. Mikrokontroler dibutuhkan untuk mengontrol mekanisme perpindahan kedua energi tersebut dari sensor-sensor inputan yang menunjukkan keadaan kendaraan tersebut, seperti putaran mesin, kecepatan kendaraan, tingkat kemiringan kendaraan, sistem pengereman regeneratif. Untuk keperluan tersebut maka dibutuhkan penelitian untuk melakukan rancangbangun dan pengujian sistem kontrol traksi dan energi, sehingga diperoleh hasil yang optimal.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Penggunaan mikrokontroler untuk melakukan kontrol terhadap traksi kendaraan perlu dilakukan. Dalam penelitian ini akan dikembangkan sebuah sistem kontrol traksi untuk kendaraan *hybrid electric* dengan menggunakan mikrokontroler sehingga setiap kombinasi masukan dari sensor akan menghasilkan keluaran yang digunakan untuk mengatur pengoperasian motor listrik dan motor bakar serta pengaturan untuk pengisian baterai melalui *power take off* dan regeneratif. Desain sistem kontrol ini sangat penting karena akan mempengaruhi tingkat efisiensi bahan bakar yang dipakai.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan model sistem kontrol traksi dan pengisian baterai regeneratif yang terintegrasi untuk prototipe kendaraan hibrida sehingga dapat diterapkan untuk produksi massal dengan biaya

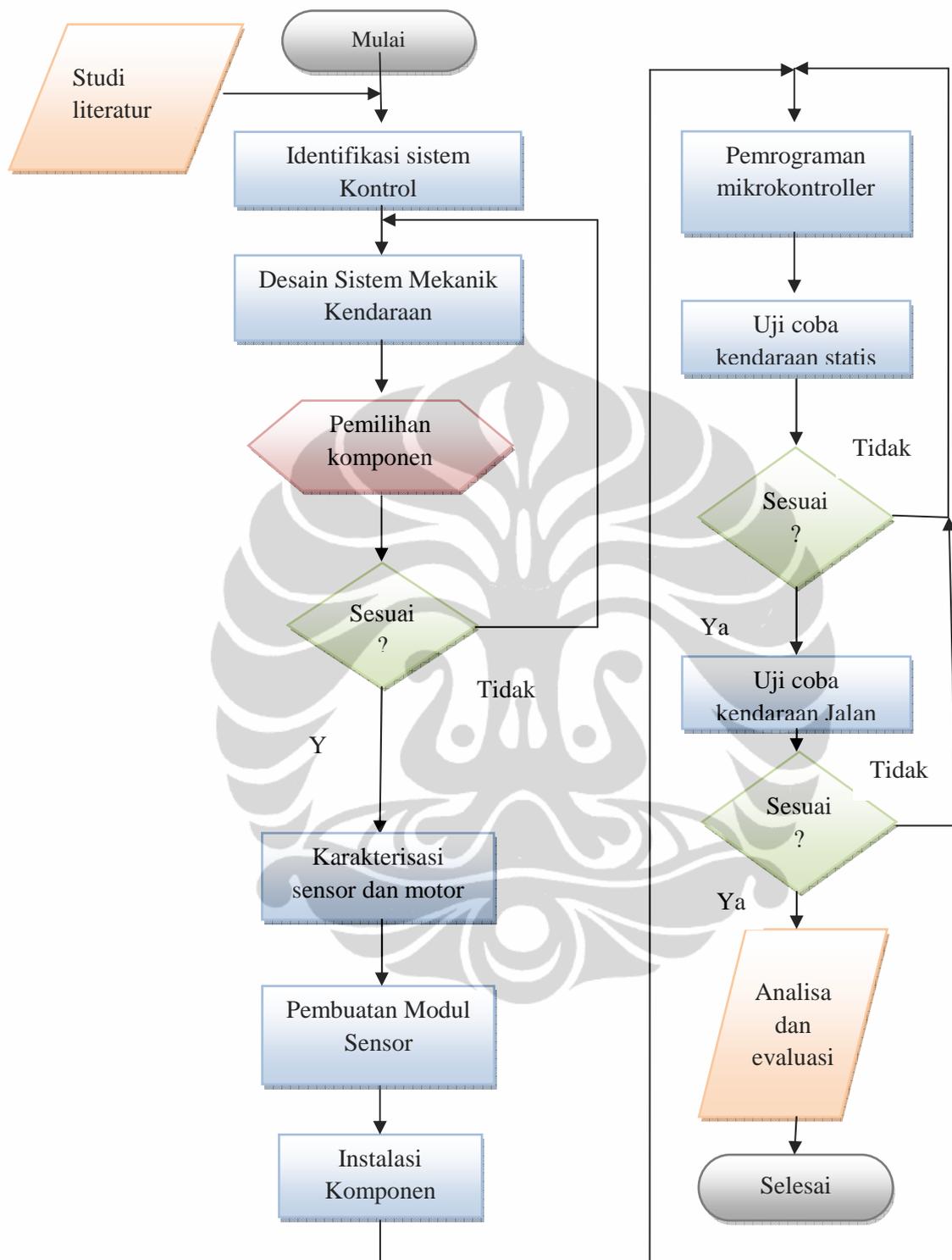
yang rendah serta memberdayakan komponen lokal yang mudah didapat di pasaran, sehingga dapat memicu peneliti lain untuk mengembangkan dan menerapkan teknologi hibrida pada kendaraan di Indonesia

#### **1.4. Batasan Masalah**

Sistem kontrol kendaraan hibrida merupakan sebuah sistem yang rumit karena megadopsi kecerdasan buatan yang digunakan untuk menentukan pemilihan sistem propulsi yang digunakan sehingga tercapai tingkat yang optimal. Untuk itu penelitian ini perlu dibatasi hanya pada penentuan jenis masukan, keluaran pada mikrokontroller dan pemrograman pada mikrokontroller. Parameter yang digunakan untuk menentukan pemrograman dilakukan dengan pengujian kendaraan jalan. Parameter tersebut adalah : putaran mesin, beban kendaraan yang direpresentasikan oleh arus listrik motor , kecepatan roda. Penelitian ini tidak membahas konstruksi dari kendaraan dan kontrol untuk membedakan putaran roda pada saat berbelok dan sinkronisasi kedua motor listrik.

#### **1.5. Metodologi Penelitian**

Tahapan penelitian ini dibagi secara sistematis yakni pada tahap awal yaitu melakukan identifikasi sistem kontrol yang akan digunakan yang diperoleh dari studi literatur berupa buku literatur, jurnal ilmiah terkait dan pencarian lewat artikel terkait di internet. Setelah itu pada tahap kedua melakukan pemilihan komponen yang akan dipakai, dan modifikasi desain pada rangka kendaraan hybrid yang ada di DTM UI sehingga setiap komponen yang dipilih dapat dipasang pada rangka tersebut. Dilanjutkan dengan menguji karakteristik dari motor listrik dan sensor- sensor yang akan dipakai, lalu detail desain akan dibuat berupa gambar kerja. Selanjutnya tahap ketiga adalah melakukan fabrikasi dari desain modifikasi prototipe kendaraan hybrid. Tahap terakhir adalah melakukan pemrograman logika dari sistem kontrol prototipe kendaraan *hibrida* ini, adapun diagram alir dari metodologi ini tergambar dibawah ini:



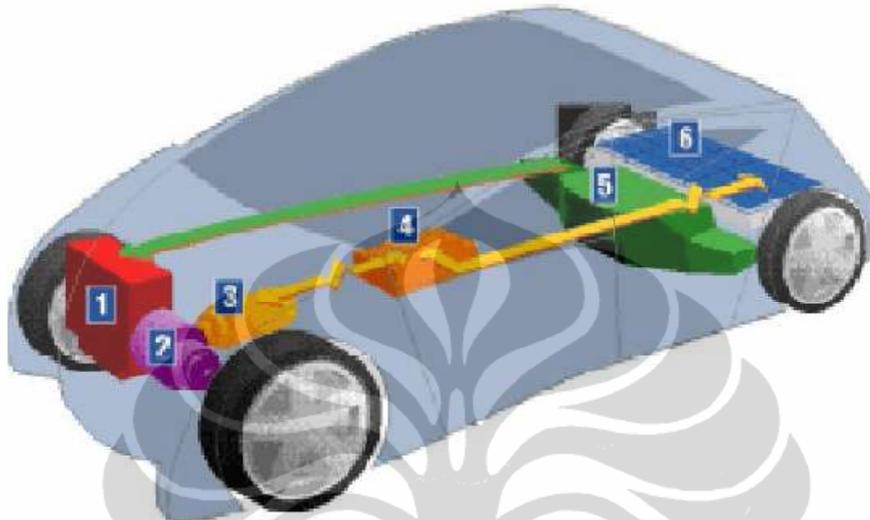
Gambar 1.2 Diagram Alir Perancangan Sistem Kontrol

## BAB 2

### STUDI PUSTAKA

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

##### 2.1.1 Sistem Kerja *Hybrid Electric*



Gambar 2.1 Komponen Kendaraan Hibrida

Kendaraan *hybrid electric* mengkombinasikan fungsi dari motor bakar (1) dan motor listrik (3). Kedua sumber daya tersebut ditransmisikan ke roda dengan sebuah transmisi (2). Sebuah kontrol energi yang cerdas (4) dibutuhkan untuk mengatur kapan kendaraan tersebut bekerja menggunakan motor elektrik maupun motor bakar, dan bahkan mengontrol sistem tersebut melakukan penyimpanan energi listrik pada baterai (6). Motor listrik digunakan pada pemakaian kecepatan rendah atau untuk daya tambahan pada saat akselerasi maupun pada jalanan berelevasi (tanjakan). Ketika pengereman, sistem *hybrid* menggunakan elektrik motor (3) sebagai generator untuk menghasilkan energi listrik yang kemudian disimpan pada baterai (6). Tangki bahan bakar (5) digunakan untuk menyediakan kebutuhan bahan bakar untuk motor bakar. Kelebihan dari sistem *hybrid* ini adalah tidak perlu dilakukan pengisian baterai dari sumber lain, apabila cadangan energi listrik berkurang maka motor bakar akan beroperasi untuk melakukan pengisian baterai.

Sistem *hybrid* terdiri dari 3 macam konfigurasi yakni:

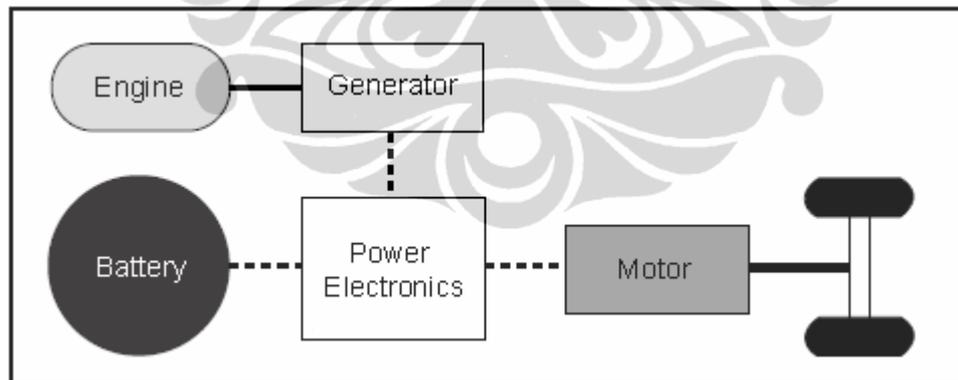
- a. Sistem konfigurasi seri

b. Sistem konfigurasi parallel

c. Sistem konfigurasi seri-parallel

**a. Konfigurasi hybrid seri**

Pada konfigurasi seri, motor listrik satu-satunya penggerak roda. Motor listrik mendapatkan pasokan enersi listrik dari baterai maupun generator yang digerakkan oleh motor bakar. Sebuah kontroller mengatur besaran daya yang digunakan untuk mensupply motor listrik maupun untuk melakukan pengisian battery. Pengisian battery selain dilakukan melalui generator juga dihasilkan dari enersi yang hilang saat pengereman (*regenerative braking*). Konfigurasi ini sederhana karena motor listrik digunakan untuk menggerakkan roda dan tidak dibutuhkan penerus daya dan transmisi, karena motor listrik dapat dikontrol *multispeed*. Motor bakar dapat dioperasikan mendekati tingkat efisiensi optimal, karena hanya digunakan untuk menggerakkan generator saja. Konfigurasi seri ini membutuhkan biaya yang tinggi karena untuk mencapai tingkat efisiensi tinggi dibutuhkan serangkaian baterai dan generator yang besar. Sistem ini cocok digunakan pada kondisi stop and go driving dan tidak cocok untuk high speed driving. Umumnya sistem ini diterapkan pada kendaraan besar seperti truk dan bus yang beroperasi pada kondisi perkotaan.

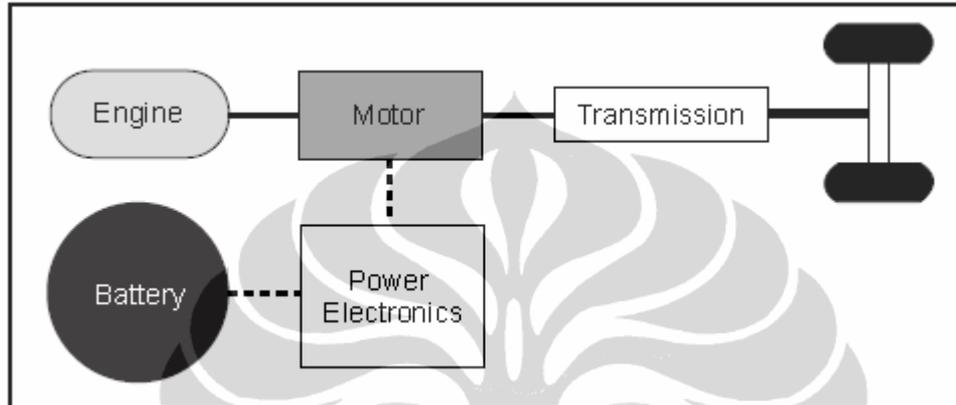


Gambar 2.2 *Series Hybrid Electric Vehicle System*

**b. Konfigurasi *hybrid parallel***

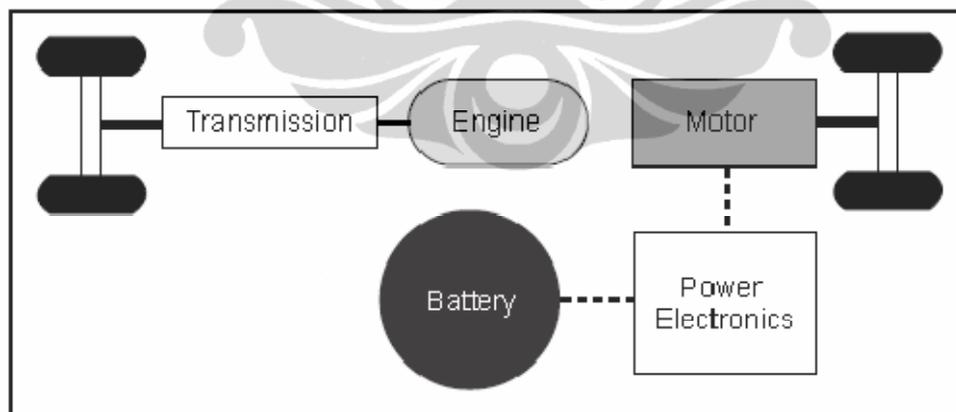
Pada *parallel hybrid*, kedua motor listrik maupun motor bakar menggerakkan roda. Karenanya sistem ini lebih kompleks dalam mengintegrasikan kedua sumber enersi tersebut. Pada parallel hybrid kapasitas motor bakar lebih kecil dan kapasitas battery juga lebih kecil, untuk pengisian baterai digunakan

sistem *regenerative braking* dan selama motor bakar bekerja pada kecepatan sedang dan tinggi maka motor listrik bekerja sebagai dinamo untuk melakukan pengisian battery. Konfigurasi ini dapat memperoleh efisiensi tinggi pada saat kondisi stop and go driving karena pada saat kondisi ini penggerak kendaraan yang digunakan adalah motor listrik dan pada saat kecepatan menengah dan tinggi, motor bakar berperan untuk menggerakkan kendaraan.



Gambar 2.3 *Parallel Hybrid Electric Vehicle System*

Turunan dari *parallel hybrid* adalah *split parallel hybrid* yakni penggerak dibagi dua, yaitu dua buah roda digerakkan dengan motor listrik dan dua roda selanjutnya digerakkan oleh motor bakar. Terlihat pada gambar dibawah ini :

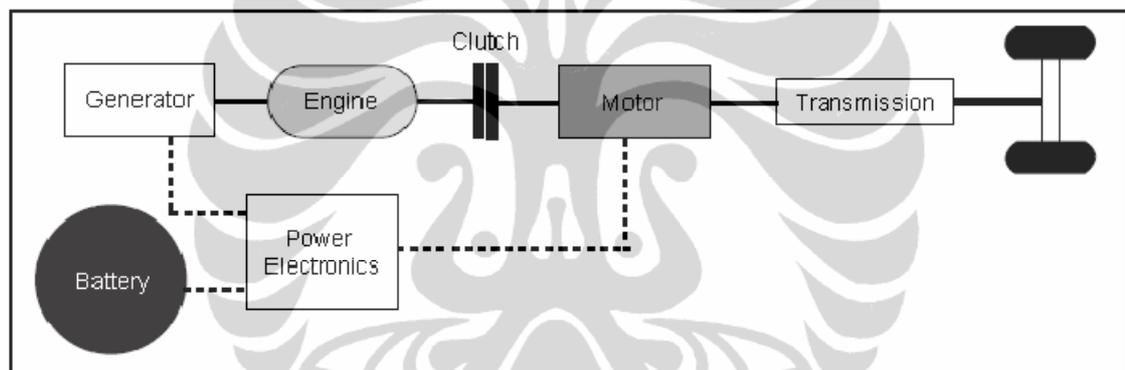


Gambar 2.4 *Split Parallel Hybrid Electric Vehicle System*

Pada jenis ini kendaraan menjadi penggerak roda empat, sistem kontrol harus mengontrol kedua roda untuk melakukan regenerative braking ketika dua roda yang lainnya menggerakkan kendaraan.

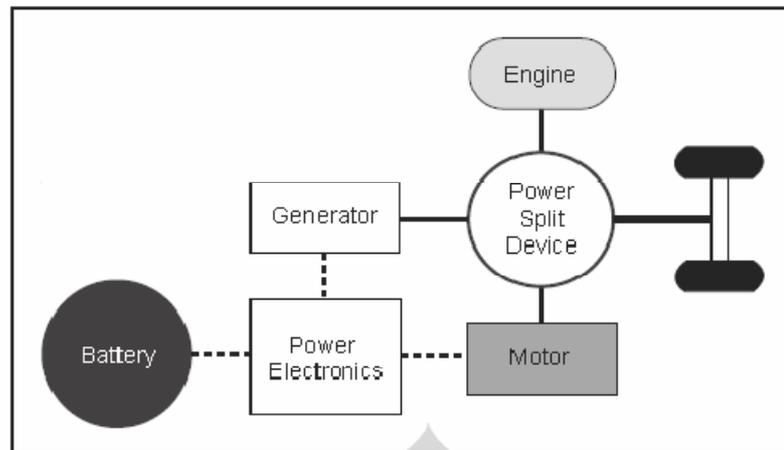
### c. Konfigurasi *series-parallel hybrid*

Konfigurasi ini mirip dengan konfigurasi parallel pada umumnya, perbedaan dari sistem ini adalah motor bakar dapat secara efektif diputuskan dari roda melalui sebuah mekanisme kopling, sehingga beroperasi sepenuhnya sebagai penggerak generator. Pada kecepatan rendah motor bakar digunakan hanya untuk menggerakkan generator, kendaraan hanya berpengerak motor listrik, pada kecepatan tinggi motor bakar mengambil alih secara penuh tugas motor listrik untuk menggerakkan kendaraan. Karena itu ketidakefisienan motor listrik akibat konversi antara mekanikal dan elektrikal dapat dieliminasi.



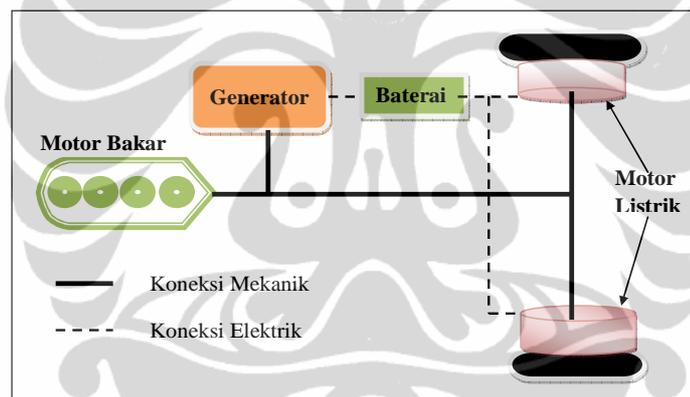
Gambar 2.5 *Basic Series-Parallel Hybrid Electric Vehicle System*

Pada kendaraan Toyota Prius terdapat sebuah komponen yang dinamakan *power split device* yang bertugas mengatur kapan motor listrik dan motor bakar bekerja untuk mencapai tingkat efisiensi yang maksimal. Terlihat gambar dibawah adalah konfigurasi *series-parallel hybrid* Toyota prius.



Gambar 2. 6 *Series-Parallel Hybrid Electric* Toyota Prius

Pada perancangan sistem kontrol kendaraan *hybrid* ini dikembangkan dengan menggunakan konfigurasi *series-parallel*.



Gambar 2.7 Penggerak Seri-Paralel Kendaraan Hibrida yang Dikembangkan

Tercapainya sistem kontrol untuk kendaraan hibrida meliputi 3 bagian yakni :

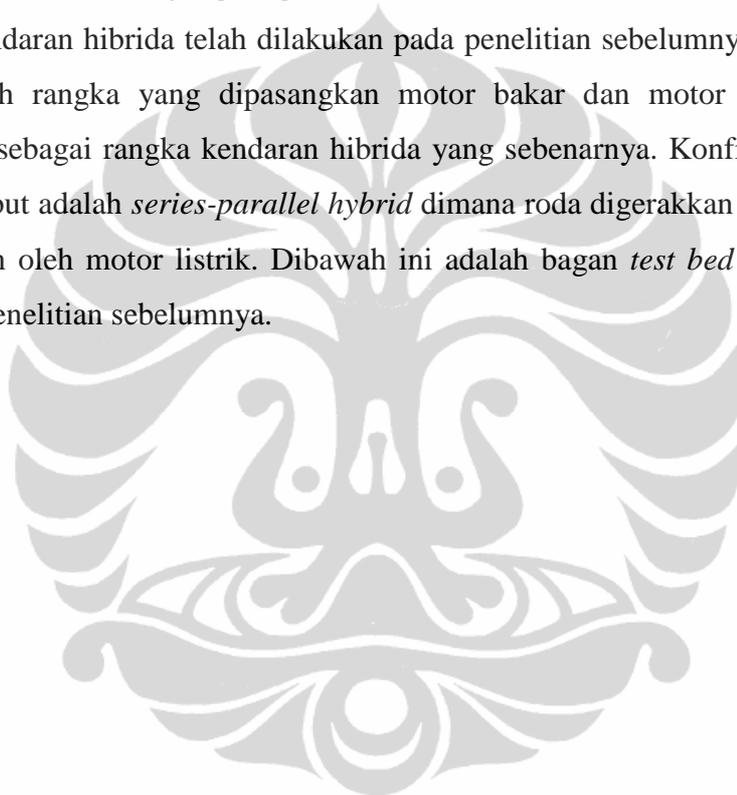
- Menyediakan performa dinamis pada kendaraan
- Mendapatkan konsumsi bahan bakar yang ideal dan emisi gas buang yang rendah
- Menjaga *State of Charge* baterai pada daerah optimum, mempertahankan jarak tempuh kendaraan tanpa melakukan pengisian baterai secara *plug in*.

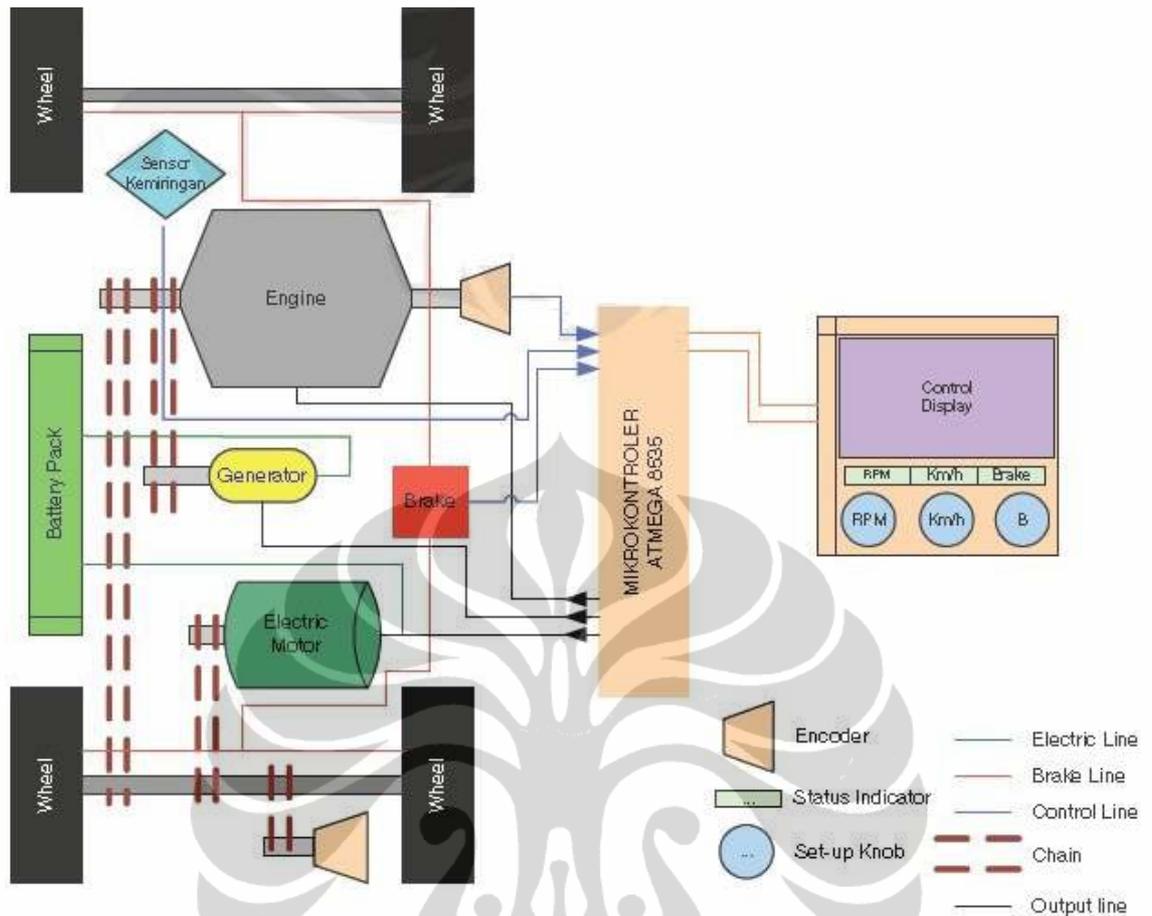
Dari ketiga tujuan sebuah sistem kontrol haruslah mempunyai parameter masukan dan keluaran sehingga sebuah sistem kontrol dapat bekerja berdasarkan keadaan kendaraan secara online. Penggunaan motor bakar bertransmisi

CVT(Continuous Variable Transmission) secara simulasi terbukti dapat menghemat pemakaian bahan bakar tetapi tidak dapat mempertahankan State of Charge baterai pada saat berkendara[5]. Untuk mengatasi hal ini perlu ditambahkan sistem pengisian baterai pada saat kendaraan menggunakan motor bakar sehingga kekurangan enersi pada saat putaran motor bakar rendah dapat diatasi.

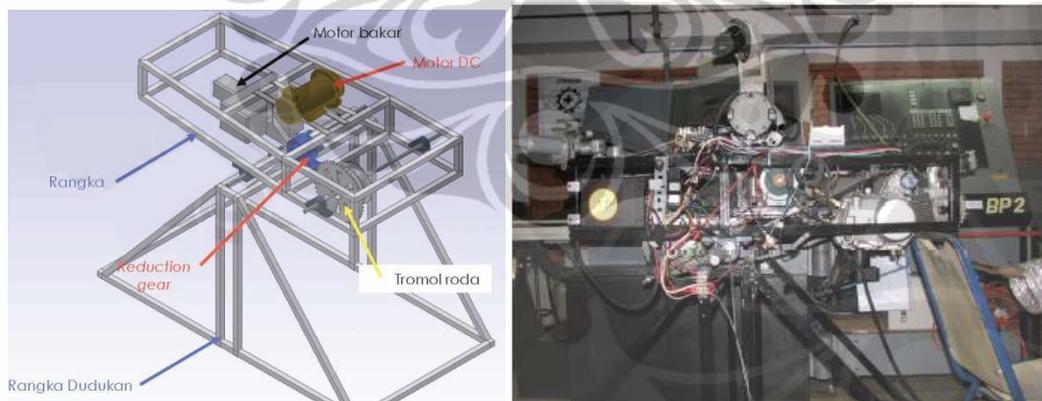
## **2.2. Test bed Kendaraan Hibrida**

Sebuah *test bed* yang digunakan untuk mensimulasi hasil keluaran kontroller kendaran hibrida telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. *Test bed* berupa sebuah rangka yang dipasangkan motor bakar dan motor listrik dan dikondisikan sebagai rangka kendaran hibrida yang sebenarnya. Konfigurasi dari *test bed* tersebut adalah *series-parallel hybrid* dimana roda digerakkan oleh motor bakar maupun oleh motor listrik. Dibawah ini adalah bagan *test bed* yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya.





Gambar 2. 8 Skema Pengujian *Test Bed* [6]



Gambar 2. 9 *Test Bed* Kendaraan Hibrida [6]

Pada *testbed* ini menggunakan motor listrik sebagai penggerak, yang dihubungkan dengan mekanisme rantai menuju roda, dan parameter masukan berupa :

- Putaran mesin
- Putaran roda
- Posisi sudut kemiringan *testbed*

Dari parameter tersebut dapat dilakukan beberapa mode simulasi *driving condition* dengan hasil yang baik. Dibawah ini adalah tabel masukan dan keluaran dari kinerja *testbed*.

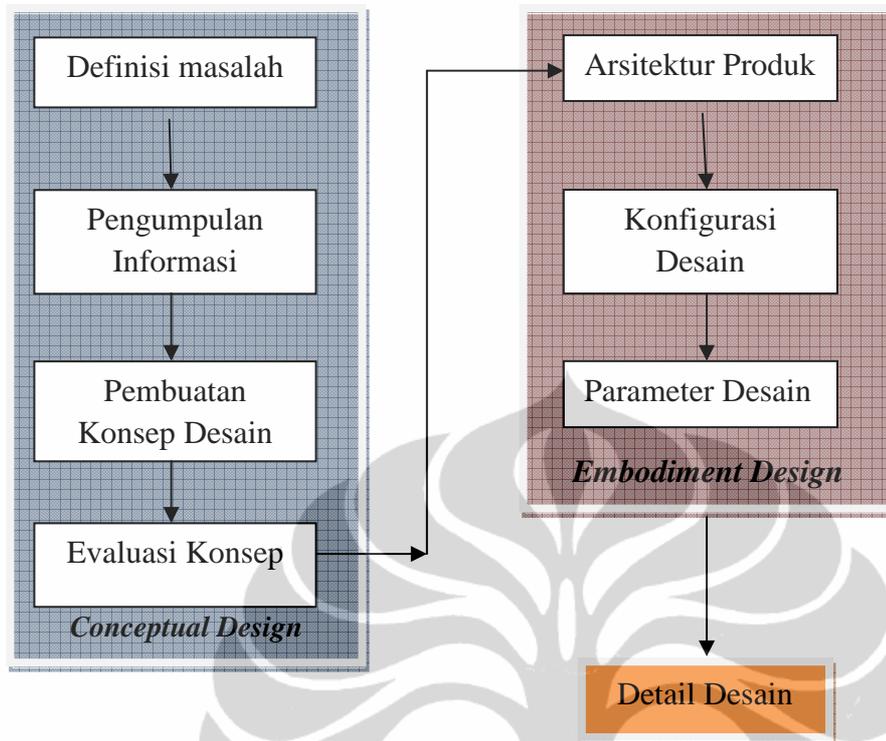
Tabel 2. 1 Hasil Pengujian Kontrol Sistem pada *Test Bed*

Mode	Kecepatan (km/h)	Putaran mesin (put/min)	Output aktuator
<i>Start - off</i>	0-10	0	Motor DC
<i>Normal driving 1</i>	10-50	<800	Motor bakar
<i>Normal driving 2</i>	10-50	800-1500 (torsional)	Motor bakar dan Motor DC
<i>Cruising</i>	>50	~	Motor bakar
<i>Decelartion</i>	<i>Decelerate (brake)</i>	<i>Decelerated</i>	<i>Charging</i>

Pada pengujian test bed beberapa kondisi pengemudian dapat dilakukan namun masih belum dapat mengkondisikan keadaan pengemudian yang sebenarnya, seperti halnya bobot kendaraan, momentum, dan kondisi jalan yang sebenarnya. Maka perlu dibuat sebuah prototipe kendaraan *hybrid* untuk dapat mensimulasikan lebih baik lagi.

### 2.3. Perancangan Sistem Kontrol

Pada perancangan prototipe kendaraan hibrida dilakukan menggunakan metodologi perancangan pada umumnya yakni dari mulai desain konsep yang terdiri dari pemilihan sistem hybrid sampai dengan detail desain. Setiap proses perancangan haruslah dilakukan dengan baik sehingga desain mampu untuk dilakukan manufaktur dan perakitan dengan baik. Dibawah ini adalah diagram alir untuk perancangan dari sebuah produk :



Gambar 2. 10 Diagram Alir Perancangan Sebuah Produk

Pada fase *conceptual design* terdapat proses pemilihan beberapa alternatif solusi yang mungkin melalui sebuah penilaian yang akan memperkecil lingkup dari solusi yang akhirnya diperoleh solusi terbaik yang memenuhi kebutuhan dan keinginan. Pada fase ini dibagi beberapa tahapan yakni:

- Definisi masalah:

Pada tahap ini beberapa masalah yang timbul diidentifikasi sehingga dapat didefinisikan dalam pernyataan yang menjelaskan pencapaian sebuah desain. Didalamnya melibatkan spesifikasi yang akan dicapai, batasan – batasan dan analisa dari produk.

- Pengumpulan informasi:

Dalam melakukan perancangan sebuah produk perlu mencari informasi yang mendukung dari produk tersebut agar rancangannya menjadi tepat sasaran, beberapa informasi yang dapat dicari adalah literatur penelitian yang telah ada sebelumnya, produk yang pernah dibuat, informasi standar, informasi tentang

teknologi yang dapat diterapkan dalam perancangan sehingga hasil rancangan dapat tepat guna.

- Pengembangan konsep desain:

Beberapa alternatif konsep dibuat berdasarkan penyelesaian dari permasalahan yang telah dirumuskan

- Evaluasi konsep:

Setiap konsep dipilih berdasarkan penilaian dengan memperhitungkan terpenuhinya kebutuhan dari spesifikasi, kemampuan untuk dilakukan manufaktur dan terpenuhinya keinginan dari desainer maupun pelanggan. Setiap konsep dievaluasi sehingga muncul konsep yang paling baik.

Fase *embodiment design* dilakukan setelah sebuah konsep ditemukan dan dipilih. Pada fase ini merupakan perwujudan dari konsep yang memperhatikan segi fungsi seperti kekuatan, jenis material, dimensi, bentuk, dan kesesuaian dari tata letak dan ruang serta hubungan antara setiap fungsinya. Didalam fase ini terdapat pula tahapan – tahapan sebagai berikut:

- Arsitektur Desain

Sejumlah komponen digambarkan menjadi modul-modul yang mempunyai tugas dan fungsi tertentu yang tergabung menjadi satu dan saling berhubungan yang karakteristik hubungannya haruslah didefinisikan sehingga masing-masing modul dapat bekerja dengan optimal dan akhirnya keseluruhan modul menjadi sebuah sistem desain.

- Konfigurasi Desain

Menentukan beberapa fitur yang akan digunakan dan bagaimana fitur – fitur tersebut tersusun sehingga dapat diperiksa terhadap batasan ruang dan fungsinya dan dapat dilakukan simulasi dan pemodelan pada tahap ini.

- Desain Parameter

Parameter desain ditentukan pada tahap ini antarlain dimensi yang pasti dari part, material yang digunakan, proses manufakturnya, dan mencocokkan kesesuaian antara part dengan rakitannya.

Fase *Detail Design* merupakan final dari sebuah desain yakni berupa gambar model komputer 3Dimensi sehingga dari gambar tersebut tertera jelas hubungan antar komponen yang telah divalidasi dan dilakukan simulasi yang memastikan setiap *part* bekerja sesuai dengan fungsinya. Dari *detail design* muncul gambar kerja dari tiap – tiap part beserta informasi manufakturnya seperti toleransi, dimensi, tekstur permukaan, jenis material, *part* standar dan *part* yang dilakukan pembelian harus jelas terdokumentasi. Selain itu terdapat pula instruksi untuk perakitan dan *review* dari design. Ketiga fase ini adalah dasar dari sebuah proses desain yang tentunya masih ada faktor lain yang mempengaruhi desain itu sendiri seperti aspek bisnis, aspek manufaktur dan perakitan, pemasaran, pemeliharaan dan bagaimana produk itu berdampak terhadap lingkungan. Kesemua aspek tersebut dapat mempengaruhi sebuah desain yang tentunya akan terus mengalami perbaikan secara kontinyu agar sebuah produk menjadi semakin sempurna.

#### **2.4. Desain Konsep Prototipe Kendaraan Hibrida.**

##### **2.4.1 Deskripsi Operasi Kendaraan Hibrida**

Sistem kontrol dibutuhkan untuk melakukan kontrol dari sebuah kendaraan hibrida yang bertugas untuk mengambil keputusan berdasarkan kecerdasan buatan yang diprogramkan kedalamnya, keputusan yang diambil oleh mikrokontroller berdasarkan parameter masukan yang ada dan diproses sehingga menghasilkan keputusan yang berupa parameter keluaran yang sesuai dengan kondisi kecepatan kendaraan, perilaku pengemudi dan profil jalan yang dilalui.

Beberapa prototipe kendaraan hibrida telah dibangun di lingkungan DTM UI dengan spesifikasi dan karakteristik yang bermacam-macam dengan tujuan untuk mendapatkan hasil dari sebuah sistem hibrida yang optimal dan dapat diterapkan pada produksi massal dengan biaya yang murah dan menggunakan komponen lokal sebanyak mungkin. Di bawah ini adalah tabel spesifikasi kendaraan hibrida yang telah dibangun di lingkungan DTM UI:

Tabel 2. 2 Spesifikasi Prototipe Kendaraan Hibrida di DTM UI [7]

PROTOTYPE (Mass Weight) kgf (L × H × W) mm (Wheel-base) mm	Spark Ignition Engine (Volume) (Max speed) (Gears speed)	Electric Motor (Voltage/Power) (Hybrid type) (Speed control) (Battery type)	Suspension (Front suspension) (Rear suspension) (Lateral arm) (Wheel rim diam.)	Brakes Mechanism (Front brake) (Rear brake) (Master cylinder)
I (35) (1400 × 810 × 770) (1010)	2 stroke (30 cm <sup>3</sup> ) (30 km/h) (6 speeds)	n/a	(Fixed rigid) (Fixed rigid) (n/a) (12 in)	Mechanical (n/a) (Single disk brake) (n/a)
II (140) (1850 × 1000 × 940) (1280)	SOHC 4 stroke (97.1 cm <sup>3</sup> ) (40 km/h) (4 speeds)	PMDC (24 Volt/0.45 kW) (Parallel) (PWM) (Acid sulfate)	(Double Wishbone) (Multilink) (yes) (14 in)	Hydraulic (n/a) (Disk brake) (Single)
III (170) (1850 × 1000 × 940) (1280)	SOHC 4 stroke (97.1 cm <sup>3</sup> ) (60 km/h) (4 speeds)	PMDC (24 Volt/0.45 kW) (Serial-Parallel) (PWM) (Acid sulfate)	(Double Wishbone) (Multilink) (yes) (14 in)	Hydraulic (Disk brake) (Disk brake) (Tandem)
IV (45) (1300 × 650 × 600) (900)	2 stroke (49 cm <sup>3</sup> ) (30 km/h) (1 speed)	AC Universal (220 Volt/0.35 kW) (Parallel) (Thyristor) (Acid sulfate)	(Fixed rigid) (Fixed rigid) (n/a) (12 in)	Mechanical (n/a) (Disk brake) (n/a)
V (280) (2200 × 1620 × 940) (1280)	SOHC 4 stroke (124.9 cm <sup>3</sup> ) (n/a) (CVT)	PMDC (48 Volt/4 kW) (Serial-Parallel) (PWM) (Acid sulfate)	(Double Wishbone) (Multilink) (yes) (14 in)	Hydraulic (Disk brake) (Disk brake) (Tandem)

Dari spesifikasi karakteristik diatas terlihat bahwa hanya ada dua kendaraan yang menggunakan tipe seri-parallel dengan motor listrik yang ditransmisikan ke roda dengan transmisi sabuk maupun rantai. Jenis transmisi motor bakar menggunakan semi otomatis yang memiliki kelayakan pada pergantian jenis propulsi dari motor listrik ke motor bakar akan mengalami penurunan putaran sejenak, perpindahan gigi akan dilakukan oleh pengemudi yang mana hal ini tidak diharapkan. Dari jenis motor listrik yang dipakai menggunakan transmisi sabuk untuk meneruskan daya ke dua buah roda belakang yang mana transmisi sabuk mempunyai nilai efisiensi pada gesekan sabuknya dan konstruksi pemindah daya menjadi lebih rumit. Beberapa rumusan masalah maka dapat disimpulkan bahwa untuk mengurangi ketidaknyamanan dan agar sistem bisa bekerja secara otomatis maka penggunaan motor bakar yang bertransmisi otomatis dinilai penting guna tercapainya hibriditas kendaraan yang lebih sempurna. Transmisi daya motor listrik ke roda biasanya menimbulkan ketidakefisienan dalam operasi, maka perlu digantikan dengan motor listrik yang langsung tanpa menggunakan transmisi sabuk atau sistem transmisi dirubah sehingga tidak terjadi slip pada pengoperasiannya.

#### 2.4.2. Parameter kendaraan hibrida

Kendaraan hibrida yang akan dibangun memiliki parameter antara lain parameter masukan yang berupa:

- Kecepatan putaran mesin
- Kecepatan kendaraan
- Kemiringan kendaraan
- Akselerasi dan deselerasi kendaraan

dan parameter keluarannya adalah:

- Pada saat kendaraan mulai berjalan maka motor listrik saja yang akan beroperasi.
- Pada saat kendaraan berjalan normal dan dengan kecepatan tertentu maka sistem propulsi berpindah dari motor listrik ke motor bakar.
- Pada saat tegangan baterai berkurang maka mesin motor bakar akan beroperasi menggerakkan alternator sebagai power take off untuk mengisi baterai.
- Pada saat akselerasi dengan posisi bukaan gas dibuka penuh maka motor listrik dan motor bakar akan beroperasi bersamaan.
- Pada saat kendaraan menaiki tanjakan dengan posisi tertentu maka kedua sistem propulsi beroperasi secara bersamaan.
- Pada saat kendaraan menuruni turunan atau mengalami pengereman/deselerasi maka fungsi dari *regenerative* beroperasi untuk mengisi baterai.
- Mesin motor bakar melakukan *cutoff* saat kendaraan berhenti.

Dari rumusan masalah yang ada maka dapat digunakan untuk melakukan desain konsep dari prototipe kendaraan hibrida.

#### 2.5. Desain Konsep dan Spesifikasi Awal

Sistem kontrol kendaraan ini dirancang untuk mengakomodasi sistem hybrid secara seri – parallel pada sistem ini kedua propulsi berada dalam satu satu transmisi roda. Sistem kontrol prototipe kendaraan *hybrid* ini perlu mengakomodasi beberapa masalah yang sudah dirumuskan untuk itu sistem kontrol dari kendaraan ini bertugas untuk mengatur setiap parameter masukan

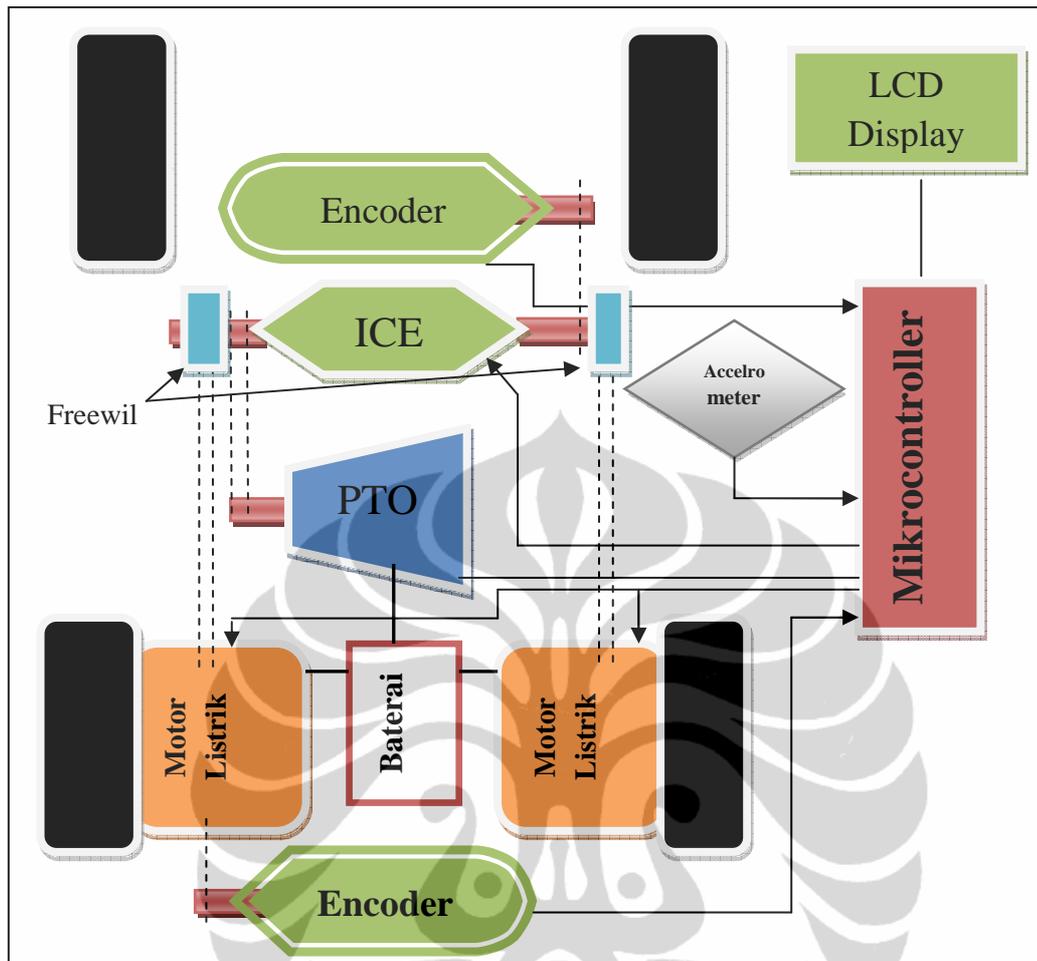
yang berupa sensor. Setiap sensor mengakomodasi setiap parameter yakni untuk parameter putaran mesin diperoleh dari sensor encoder yang digerakkan oleh poros engkol mesin, parameter kecepatan kendaraan diakomodasi oleh encoder yang digerakkan oleh putaran roda, dan sensor untuk mendeteksi akselerasi dan deselerasi kendaraan diakomodasi oleh sensor akselerometer yang ditempatkan pada posisi tengah kendaraan. Sedangkan untuk posisi kemiringan kendaraan dipakai sensor akselerometer yang dikompensasi terhadap akselerasi maupun deselerasi dari kendaraan. Untuk mengetahui secara visual setiap mode operasi yang sedang beroperasi pada kendaraan ini perlu dipasang sebuah monitor LCD yang mengindikasikan mode yang beroperasi tersebut. Untuk mengeliminasi sistem transmisi pada motor listrik maka dipilih motor listrik yang terintegrasi dengan roda dan agar peralihan antara kedua propulsi berjalan dengan halus maka dipilih motor bakar yang bertransmisi kontinu variabel. Motor bakar yang dipilih menggunakan motor bakar sepeda motor yang telah terintegrasi sistem pengisian baterainya tetapi hal ini tidak mencukupi karena baterai yang digunakan mempunyai kapasitas yang lebih besar dari pada kapasitas pengisiannya, untuk itu perlu ditambahkan sebuah *power take off* (PTO) guna memenuhi kekurangan pengisian baterai berupa sebuah alternator.

## **2.6. Embodiment Design**

Perwujudan dari desain konsep dibagi menjadi beberapa tahap yakni:

### **2.6.1. Arsitektur Desain**

Tahap ini disusun sebuah arsitektur produk untuk sistem kontrol prototipe kendaraan hibrida terlihat seperti gambar ini:



Gambar 2. 11 Arsitektur Produk Kendaraan Hibrida

Pada sistem kontrol prototipe kendaraan hibrida sebuah mikrokontroller akan berfungsi sebagai pengatur dan pengambil keputusan berdasarkan parameter masukan dan mengeluarkan parameter keluaran pada sisi keluaran dari mikrokontroller. Adapun yang menjadi dasar pengambilan keputusan tersebut sudah diprogram sebelumnya menggunakan sebuah *personal computer* yang dihubungkan pada mikrokontroller melalui RS232 atau *port serial*.

Untuk menampilkan parameter masukan dari sensor digunakan sebuah layar monitor berupa LCD(liquid crystal display) dan beberapa buah lampu LED (Light Emmiting Diode). Dua buah encoder digunakan untuk mengetahui putaran roda sehingga dapat diketahui kecepatan kendaraan, dan putaran mesin. Sebuah PTO(*Power Take Off*) digunakan untuk mensuplai kebutuhan energi listrik yang kurang dari pembangkit listrik dari motor bakar. Baterai digunakan untuk menyimpan energi listrik. Motor listrik dan *Internal Combution Engine*(ICE)

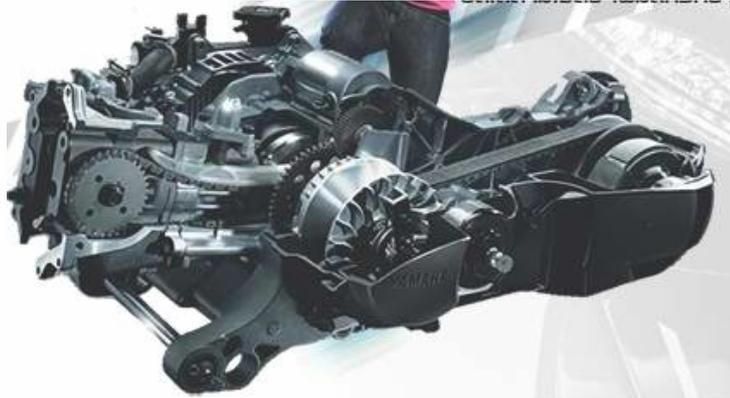
merupakan dua buah propulsi utama untuk prototipe kendaraan hibrida ini. Agar sistem kontrol untuk kendaraan ini dapat diterapkan perlu membuat sebuah model eksperimental dengan sistem *hybrid seri-parallel* seperti skema diatas. Rangka kendaraan ini diambil dari rangka kendaraan hibrida generasi ke 5 di DTM UI dan dilakukan modifikasi pada bagian penggerak roda belakang. Dua buah motor listrik yang terintegrasi dengan roda disambung dengan sproket rantai yang digerakkan oleh motor bakar sehingga konfigurasi ini membentuk sistem seri-parallel.

#### 2.6.2. Konfigurasi Desain dan Parameter Desain

Pada tahap ini dilakukan penentuan dimensi dan tata letak ruang dari komponen mekanik yang telah dipilih agar semua komponen dapat dipasangkan pada rangka kendaraan yang ada di DTM UI. Komponen yang dipilih merupakan komponen yang ada di pasaran dan mudah didapat antara lain motor listrik, motor bakar kendaraan roda dua bertransmisi sabuk variabel, sistem transmisi rantai, kopling freewill, sistem pengereman cakram sepeda motor, suspensi sepeda motor. Sistem propulsi berupa motor listrik dan motor bakar seperti terlihat pada gambar dibawah ini:



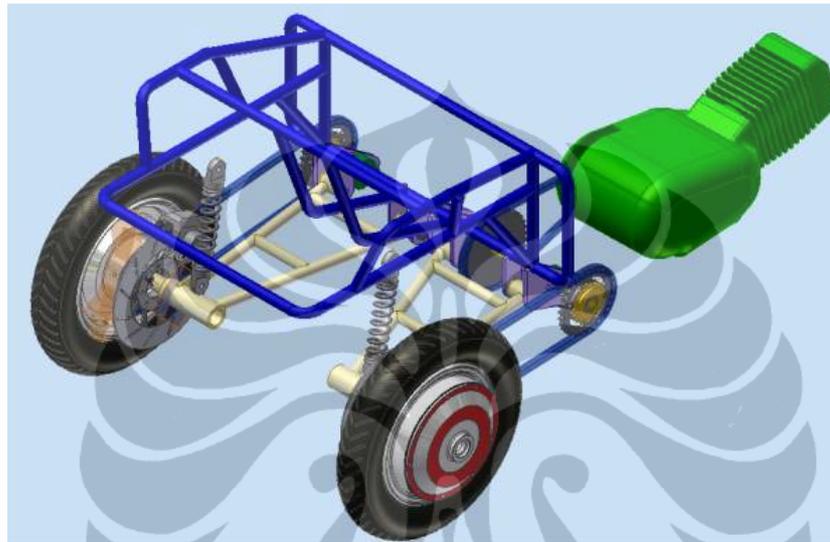
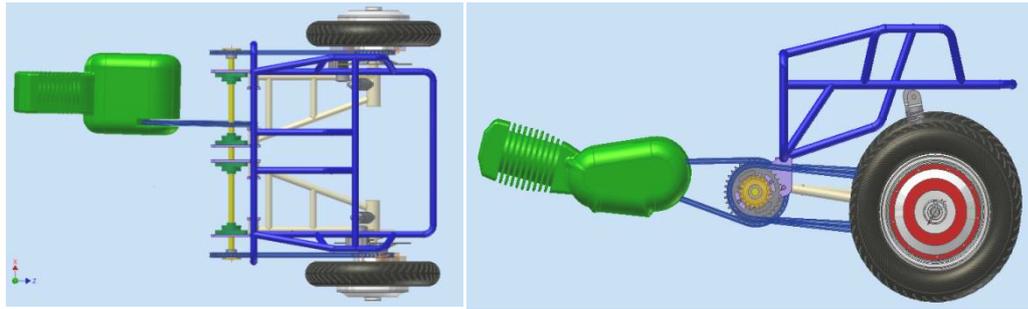
Gambar 2.12 Motor Listrik



Gambar 2. 13 Motor Bakar Bertransmisi Sabuk Variabel Kontinyu

Dua buah motor listrik yang dipakai langsung menggerakkan kedua roda belakang kiri dan kanan jenis motor yang digunakan adalah motor listrik *brussless* AC asinkron, dan sistem propulsi motor bakar ditransmisikan ke roda belakang dengan menggunakan sistem transmisi rantai dan dipasang dua buah koping freewill untuk mengkompensasi perbedaan putaran pada saat kendaraan berbelok. Dari konfigurasi ini maka kendaraan dapat bergerak secara murni dengan mode elektrik maupun mode motor bakar.

Dari komponen yang telah ditentukan dapat diketahui dimensi keseluruhan masing-masing komponen dan dibuatkan model tataletak secara sepasial sehingga terbentuk gambar konfigurasi kendaraan ini seperti terlihat dibawah ini:

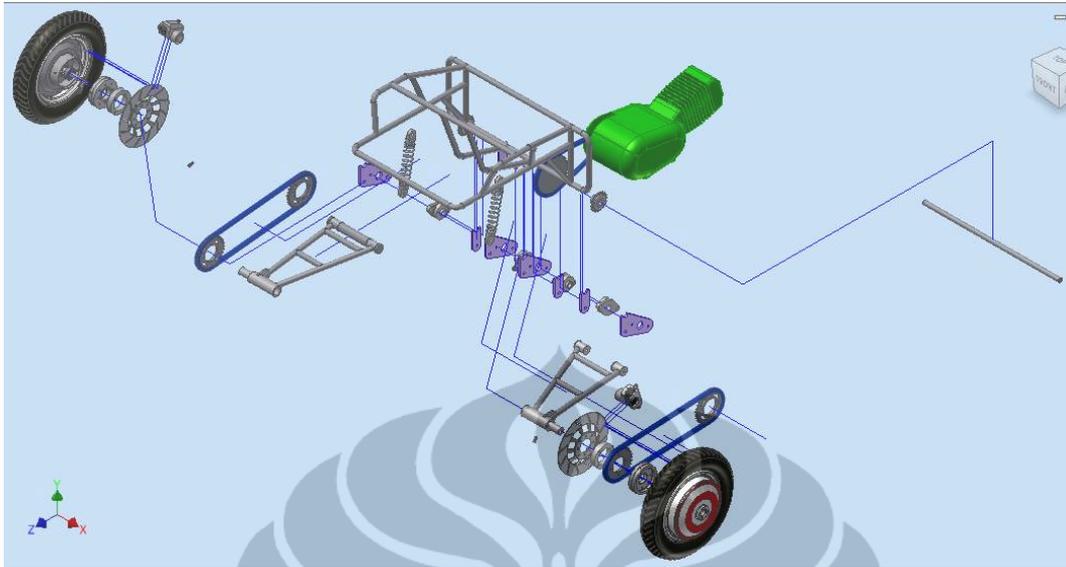


**Gambar 2. 14 Konfigurasi Desain Mekanik Prototipe Kendaraan Hibrida**

Desain konfigurasi ini disesuaikan dengan rangka yang telah ada di DTM UI sehingga hanya memodifikasi bagian belakang roda saja, beberapa komponen yang perlu ditambahkan didesain kemudian pada tahapan detail desain.

### 2.7. Detail Desain

Detail desain merupakan tahap akhir dari perancangan ini, beberapa luaran untuk detail desain adalah gambar kerja lengkap dengan toleransi, kekasaran permukaan, jenis material, data komponen standar yang akan dibeli, *bill of materials*, instruksi perakitan. Dalam pengerjaan detail desain dibantu dengan menggunakan software CAD 3Dimensi Autodesk Inventor. Setelah detail desain maka dilakukan proses manufaktur dari setiap komponen dan dilakukan pembelian beberapa suku cadang standar dan setelah semua komponen tersedia dapat dilakukan perakitan sesuai dengan gambar instruksi perakitan yang telah dibuat. Gambar dibawah menunjukkan gambar instruksi perakitan:



Gambar 2. 15 Gambar Instruksi Perakitan Kendaraan Hibrida

## BAB 3

### KOMPONEN SISTEM KONTROL PROTOTIPE KENDARAAN HIBRIDA

#### 3.1. Pemilihan Komponen Sistem Kontrol

Kendaraan yang memiliki lebih dari satu buah sistem propulsi memerlukan sebuah sistem kontrol yang cerdas sehingga dapat mengatur respon terhadap kondisi beban kendaraan, kondisi jalan dan perilaku pengemudi secara otomatis. Setiap keputusan yang diambil oleh sistem kontrol membutuhkan beberapa parameter masukan yang memadai dan mewakili setiap kemungkinan kondisi sebanyak mungkin sehingga sistem kontrol dapat dikatakan cerdas. Dalam memenuhi setiap kondisi kemungkinan yang ada maka sensor dipakai untuk mengakomodasi setiap kondisi antara lain beberapa sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Untuk mengetahui kondisi motor bakar digunakan sensor putaran mesin yang dipasang pada poros engkol dari motor bakar.
- Untuk mengetahui kecepatan kendaraan digunakan sensor putaran roda yang dikompensasi terhadap diameter roda sehingga diketahui kecepatan kendaraan.
- Untuk mengetahui kondisi beban kendaraan digunakan sensor yang mengukur arus listrik yang mengalir pada motor listrik dan sensor ini juga digunakan untuk mengukur arus pengisian baterai pada saat motor listrik berfungsi sebagai generator (*regenerative*).
- Sensor pengukur tegangan yang berfungsi untuk mengetahui kondisi level baterai

Selain sensor sebagai parameter masukan perlu juga aktuator yang merupakan parameter keluaran yang berfungsi sebagai pengaktuator setiap keputusan yang diambil oleh prosesor.

Beberapa parameter yang digunakan dalam penelitian ini:

- Motor listrik yang merupakan propulsi pertama, parameter motor listrik dapat diatur nilainya sehingga memperoleh kecepatan putaran motor yang variabel.
- Motor bakar yang merupakan sistem propulsi kedua menggunakan mesin sepeda motor bertransmisi CVT (*Continuous Variable Transmission*) merek Yamaha Mio.
- Solenoid starter motor bakar berfungsi untuk mengaktifkan kerja motor bakar.

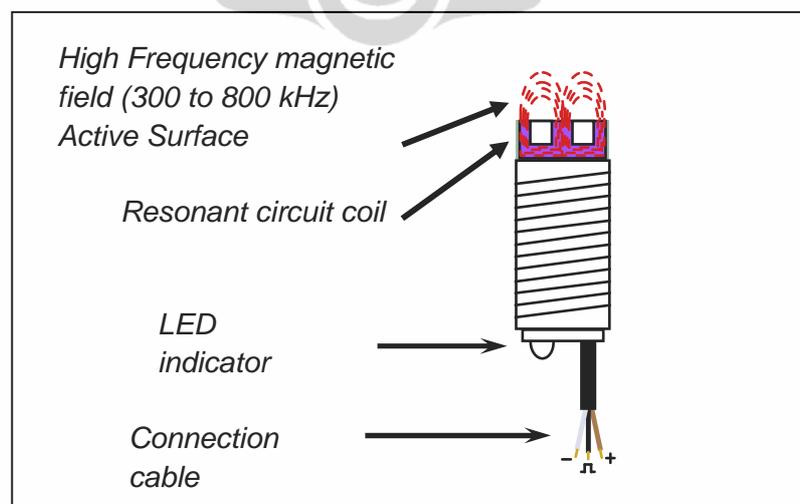
- Relay digunakan untuk memutus dan menyambung kontak arus listrik berfungsi pada kendaraan ini.
- LCD display digunakan untuk mengetahui kondisi kendaraan berupa putaran mesin, kecepatan kendaraan, kondisi beban kendaraan yang diketahui melalui arus yang mengalir pada motor listrik.

Dalam penelitian ini digunakan mikrokontroler untuk mengolah sinyal masukan menjadi sinyal keluaran. Mikrokontroler adalah sebuah alat yang dapat melakukan perhitungan logika, aritmatika sesuai program yang ditulis dalam memori.

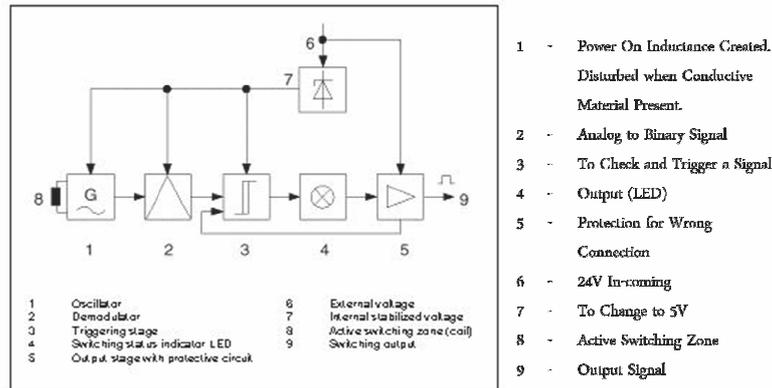
### 3.2. Komponen Masukan Sistem Kontrol

#### 3.2.1 Inductive Proximity Sensors

Sensor ini merupakan sensor yang bekerja berdasarkan adanya perbedaan atau gangguan medan magnetik yang dihasilkan oleh sensor. Medan magnet yang berada tepat di depan sensor diketahui sebagai *active switching zone*. Ketika tegangan di alirkan ke sensor, *oscillator* pada sensor bekerja dan arus mengalir. Jika benda elektik konduktif didekatkan pada *zona active switching*, maka arus eddy dihasilkan, dengan mengambil perubahan sinyal dari *oscillator*. Kemudian sinyal *oscillator* tersebut akan diteruskan menjadi sinyal elektrik. Sensor induktif ini hanya dapat mendeteksi benda logam, sensitifitas dari jarak switching pada sensor tergantung pada jenis material logam yang dideteksi dan besarnya koil penghasil medan magnetik.

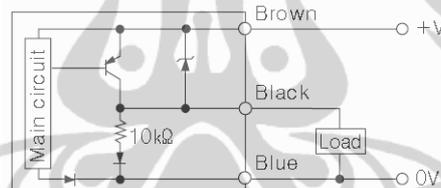


Gambar 3. 1 Inductive Proximity Sensor



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sensor Induktif

Spesifikasi sensor yang digunakan adalah *Inductive Proximity Sensor* Merek Autonics tipe PRL12-5DP dengan tegangan 12 - 24VDC dengan jarak sensing sebesar 5mm. Keluaran sinyal dari sensor ini dilewatkan sebuah resistor untuk menurunkan tegangan sehingga dapat diterima oleh mikrokontroler yang memiliki tegangan masuk sebesar 5 VDC. Dibawah ini adalah gambar *wiring diagram* sensor:

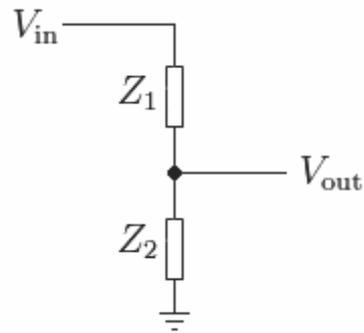


Gambar 3. 3 *Wiring Diagram* Sensor Induktif

untuk menghitung putaran roda nilai pulsa dari sensor tersebut dihitung setiap 1 detik, jumlah ini dibagi dengan jumlah baut yakni 4 buah.

### 3.2.2. Sensor Tegangan Listrik

Sensor tegangan listrik digunakan untuk mengukur tegangan baterai sehingga dapat mengetahui *state of charge* baterai. Sensor ini berupa rangkaian *voltage divider* seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 3. 4 Skema Rangkaian *Voltage Divider*

Dengan rangkaian diatas maka tegangan masukan dibagi sehingga menghasilkan tegangan luaran. Dalam sistem kontrol ini besarnya hambatan dapat dihitung sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot V_{in}$$

Dimana :

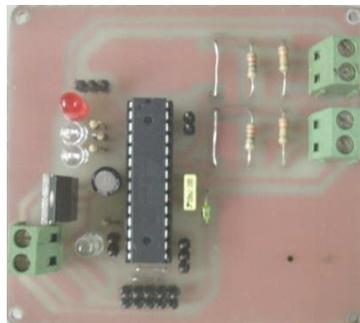
Z2 : Hambatan 2 sebesar 330Ω

Z1 : Hambatan 1 sebesar 3300Ω

Vin : Tegangan masukan standar sebesar 50,8 Volt

Vout : Tegangan Luaran

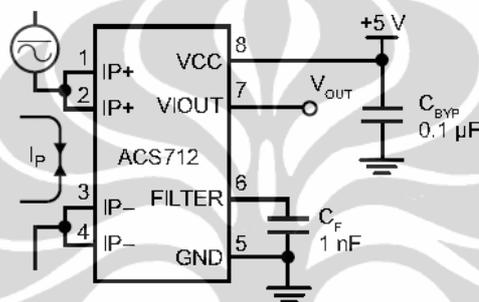
Dari perhitungan rumus diatas maka didapat tegangan Vout sebesar 4,618Volt. Data tegangan tersebut digunakan sebagai masukan pada mikrokontroller untuk memonitor tegangan baterai. sensor tegangan ini dirangkai dalam sebuah modul yang dalam rangkaian modul (gambar 3.5) terdapat mikrokontrol sebagai pemroses sinyal ADC dan sinyal keluaran dalam bentuk biner dikirim ke Mikokontroler utama.



Gambar 3. 5 Modul Sensor Tegangan

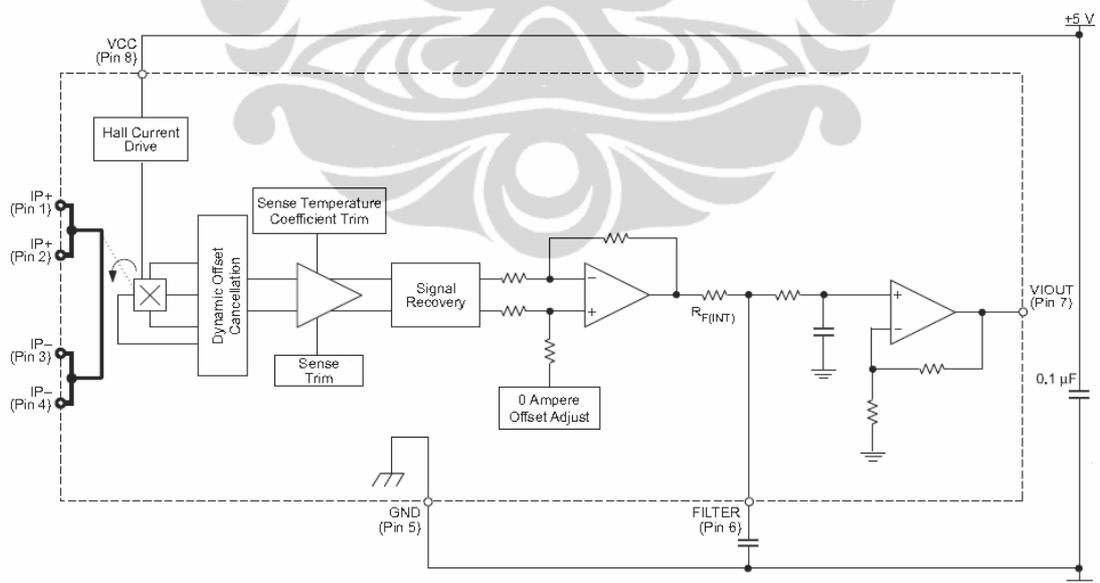
### 3.2.3. Sensor Arus Listrik

Untuk mengetahui beban motor listrik digunakan sensor arus listrik (gambar 3.12.) pada kedua motor listrik. Sensor arus yang digunakan merek Allegro tipe ACS712, sensor ini terdiri dari sebuah chip yang dapat mengukur arus yang mengalir melalui kaki tembaga. Arus yang mengalir tersebut diukur berdasarkan induksi magnet yang terbentuk dan sensing dilakukan melalui IC Hall sebagai transducer yang dikonversi berupa tegangan. Dibawah ini adalah gambar dari IC Hall :



Gambar 3. 6 IC Hall ACS 712 *Sensor Current*

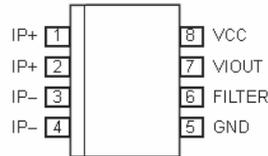
Berikut gambar diagram blok dari sensor arus tersebut:



Gambar 3. 7 Diagram Blok Sensor Arus Listrik ACS 712

Pada instalasinya IC ini mempunyai pin out diagram sebagai berikut:

### Pin-out Diagram

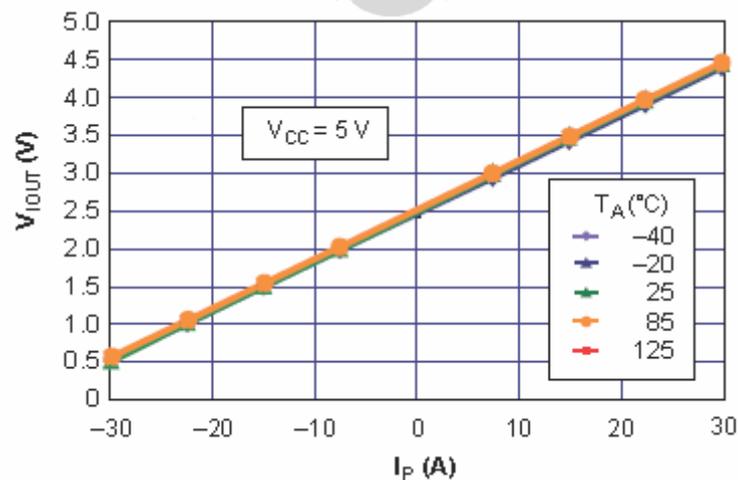


### Terminal List Table

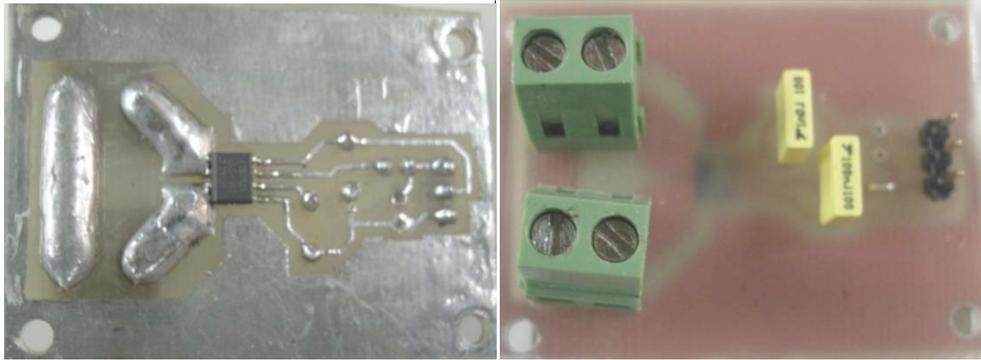
Number	Name	Description
1 and 2	IP+	Terminals for current being sampled; fused internally
3 and 4	IP-	Terminals for current being sampled; fused internally
5	GND	Signal ground terminal
6	FILTER	Terminal for external capacitor that sets bandwidth
7	VIOUT	Analog output signal
8	VCC	Device power supply terminal

Gambar 3. 8 Pin Out Diagram ACS 712

Spesifikasi dari sensor ini mempunyai arus maksimum yang dapat diukur sebesar 30 Ampere AC/DC dengan sensitifity sensor sebesar 66-68mV/Ampere. Dari spesifikasi tersebut maka dapat diketahui besaran nilai tegangan yang dibaca oleh ADC pada mikrokontroler. Nilai tegangan referensi sensor ini pada besaran 2,5 Volt menunjukkan tidak ada arus yang mengalir dan nilai tegangan maksimum pada 4,5 Volt pada 30 Ampere dan nilai tegangan minimum pada 0,5 Volt pada -30 Ampere. Dibawah ini adalah gambar grafik output voltage vs sensed current:



Gambar 3. 9 Grafik Karakteristik Sensing ACS 712



Gambar 3. 10 Modul Sensor Arus Ter-rakit

#### 3.2.4. Sensor Handel Akselerator

Untuk mengontrol kecepatan motor listrik digunakan *magnetic potentiometer* sebagai masukan sinyal pada mikrokontroler. Sensor ini berupa handel akselerator pada sepeda motor listrik yang mempunyai tegangan keluaran antara 0 Volt – 4,5 Volt, tegangan keluaran ini dimasukkan pada *port* ADC mikrokontroler untuk diolah selanjutnya.



Gambar 3. 11 Handel Akselerator

### 3.3. Komponen Keluaran Sistem Kontrol

Prototipe kendaraan hibrida ini menggunakan dua buah propulsi yakni motor listrik dan motor bakar, keduanya merupakan parameter keluaran yang penting dan perlu diketahui karakteristiknya.

#### 3.3.1. Motor Listrik

Motor listrik jenis AC sinkron digunakan dalam kendaraan ini, berdaya 0,5kW / 48 V merek *Trekko*, motor ini dikemas dengan motor drivernya dengan prinsip modulasi frekwensi untuk mengatur putaran motor. Motor driver memperoleh sinyal masukan berupa tegangan dari 0V- 5 V. Motor listrik ini mempunyai bentuk yang melekat terhadap roda, sehingga daya dari motor listrik dapat langsung ditransmisikan ke roda untuk menggerakkan kendaraan.



Gambar 3. 12 Motor Listrik dan *Motor Driver*

### 3.3.1.1 Pengujian Putaran Motor listrik

Untuk mengetahui karakteristik motor maka perlu dilakukan pengujian sehingga dapat membantu dalam melakukan pemrograman. Untuk melakukan pengujian maka Motor listrik dipasang pada sebuah tesbed seperti gambar dibawah ini:

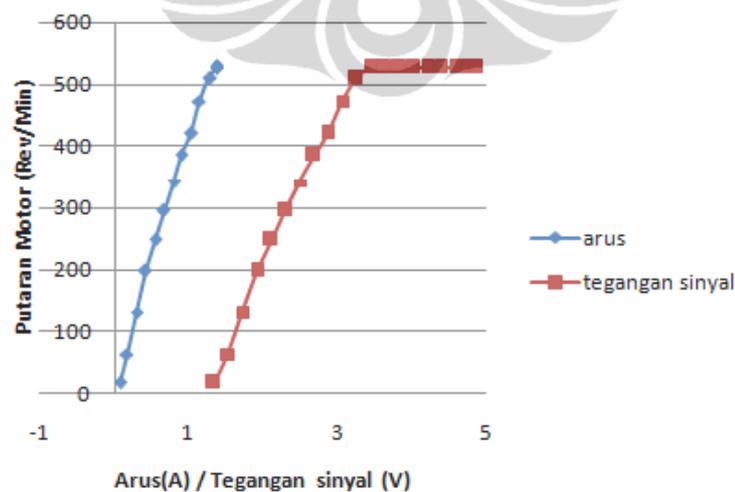


Gambar 3. 13 *Test Bed* Pengujian Motor Listrik

Pada pengujian ini digunakan baterai bertegangan 49,2 V dan sinyal masukan diperoleh dari sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) 8 bit hasil dari mikrokontroller, sinyal ini dikirim ke motor driver dengan interval 10 (skala 0-255) dan diukur arus yang mengalir dengan menggunakan multimeter digital merek sanwa dengan tipe CD800a dan putaran roda diukur dengan menggunakan *Optical Digital Tachometer* merek sanwa tipe SE100. Dibawah ini adalah tabel hasil pengujian:

Tabel 3. 1 Hasil Pengujian Motor Listrik

Nilai PWM (8 bit)	Tegangan sinyal PWM (Volt)	Putaran motor (Put/min)	Arus (Amp)	Kecepatan Kendaraan (Km/h)
70	1.34	17	0,08	1,31
80	1.53	63	0,17	4,86
90	1.72	131	0,3	10,12
100	1.92	198	0,42	15,3
110	2.11	248	0,55	19,16
120	2.3	296	0,66	22,87
130	2.49	343	0,8	26,5
140	2.68	385	0,9	29,75
150	2.87	420	1,03	32,45
160	3.07	472	1,14	36,47
170	3.26	510	1,28	39,41
180	3.44	527	1,37	40,73
190	3.62	527	1,37	40,73
200	3.82	527	1,37	40,73
210	4.02	527	1,37	40,73
220	4.21	527	1,37	40,73
230	4.39	527	1,37	40,73
240	4.59	527	1,37	40,73
250	4.78	527	1,37	40,73
255	4.87	527	1,37	40,73



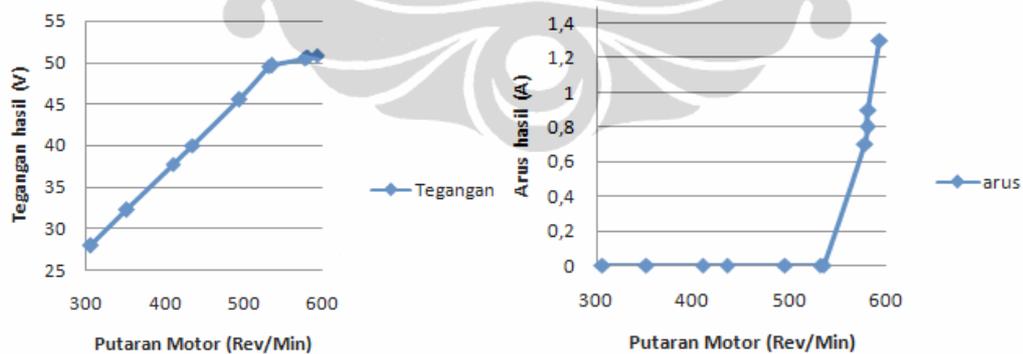
Gambar 3. 14 Grafik Pengujian Motor Listrik

### 3.3.1.2. Pengujian Regeneratif Motor Listrik

Selain digunakan untuk menggerakkan roda, motor listrik ini juga dapat berfungsi sebagai *generator (regenerative)*. Dilakukan juga pengujian *regenerative* terhadap motor listrik ini dengan cara memutar motor dengan roda karet dan disentukan pada permukaan ban, berikut hasil pangujian regeneratif:

Tabel 3. 2 Hasil Pengujian Regeneratif Motor Listrik

Putaran roda (put/min)	Tegangan output (Volt)	Arus (Amp)	Kecepatan kendaraan (Km/h)
306	27.9	0	23,64
352	32.2	0	27,20
410	37.7	0	31,68
435	40	0	33,61
495	45.5	0	38,25
532	49.5	0	41,11
535	49.6	0	41,34
578	50.5	0,7	44,66
580	50.6	0,8	44,82
581	50.7	0,9	44,90
593	50.8	1,3	45,82



Gambar 3. 15 Grafik Hasil Pengujian Regeneratif Motor Listrik

Dari hasil regeneratif di atas motor listrik mampu menghasilkan energi listrik dengan daya sebesar 66,78 Watt pada putaran 593 put/min.

### 3.3.2. Motor Bakar

Propulsi kedua pada prototipe kendaraan ini menggunakan motor bakar bertransmisi *Continuous Variable Transmission (CVT)*, pemilihan ini berdasarkan

pertimbangan bahwa sistem transmisi CVT mempunyai karakteristik yang lebih halus dalam perpindahan rasio transmisi dari mesin otto ke roda. Karakteristik ini diambil manfaatnya sehingga diharapkan mampu bekerja secara halus dalam perpindahan sistem propulsi dari motor listrik ke motor bakar. Jenis motor bakar yang dipakai yakni menggunakan mesin sepeda motor merek Yamaha Mio (gambar 3.18.) dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Spesifikasi Motor Bakar

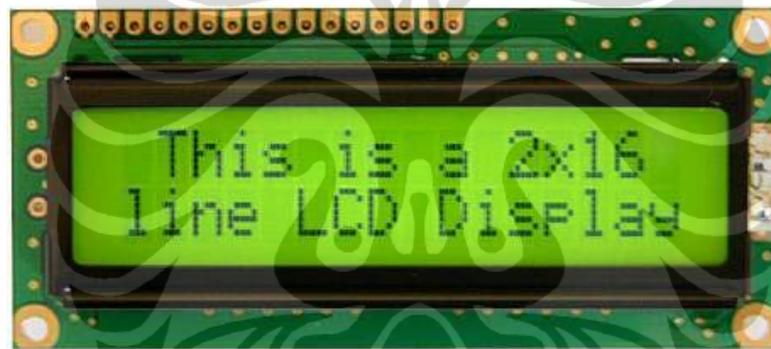
Tipe Mesin	4 langkah SOHC 2 klep – pendingin Udara –EURO2 ready
Diameter Langkah	50,0 x 57,9mm
Volume Silinder	113,7 cc
Susunan Silinder	Tunggal
Perbandingan Kompresi	8,8 : 1
Power Maksimum	6,54 kW (8,9 Ps) / 8000 Rpm
Torsi Maksimum	7,84 N.m (0,88 Kgf.m) / 7000 Rpm
Karburator	NVC 24 x 1 ( Keihin)
Transmisi	V- Belt Otomatis
Kopling	Kering, Sentrifugal Otomatis
Rasio Gigi	2,399 – 0,829
Sistem Starter	Kick & Elektrik



Gambar 3. 16 Motor Bakar Yamaha Mio

### 3.3.3. LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD digunakan sebagai *interface* untuk menampilkan nilai sudut. LCD yang digunakan adalah LCD 16 karakter x 2 baris.

Gambar 3. 17 *Liquid Crystal Display*Tabel 3. 4 *Pin Out Liquid Crystal Display*

No. Pin	Nama	Fungsi
1	<i>Ground</i>	VSS
2	VCC	<i>Power supply +5V</i>
3	VEE	Tegangan untuk pengaturan kontras
4	RS	<i>Register Select</i> 0 = <i>Instruction Register</i> 1 = <i>Data Register</i>

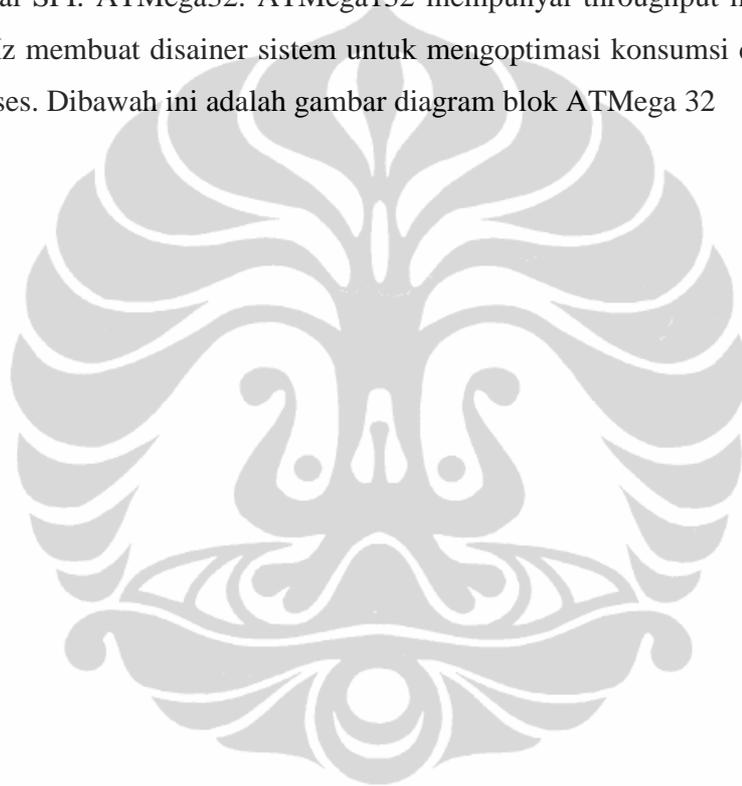
5	R/W	<i>Read/ Write</i> , untuk memilih menulis atau membaca 0 = Tulis ke LCD 1 = Baca dari LCD
6	E	<i>Enable</i> 0 = siap untuk mengakses LCD 1 = <i>disable</i>
7	DB0	LSB, data bus 0
8	DB1	LSB, data bus 1
9	DB2	LSB, data bus 2
10	DB3	LSB, data bus 3
11	DB4	LSB, data bus 4
12	DB5	LSB, data bus 5
13	DB6	LSB, data bus 6
14	DB7	LSB, data bus 7
15	BPL	<i>Back Plane Light</i> /Catu <i>back light</i> positif
16	GND	<i>Ground voltage</i> /Catu <i>back light</i> negatif

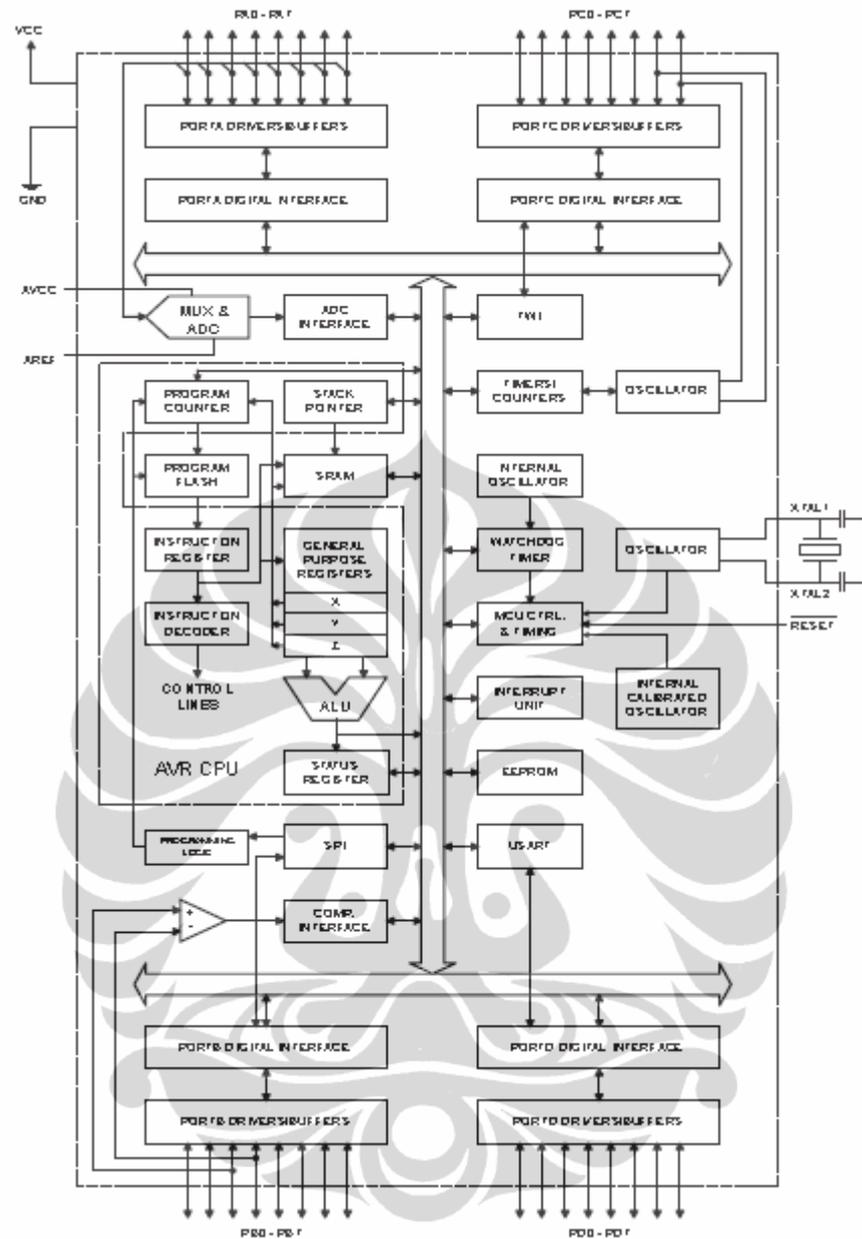
Penjelasan masing-masing pin adalah sebagai berikut :

- VSS / pin 2, pin *ground*.
- VDD / pin 1, Pin *supply* 5 volt.
- VLCD / pin 3, terminal *power supply* untuk men-*drive* LCD. Kontras pada tampilan dapat bervariasi dengan mengubah-ubah VLCD.
- RS / pin 4, merupakan pin *Register Selection Signal*. Bila diberi logika „0“ akan terpilih register instruksi. Dan bila diberi logika „1“, maka akan terpilih register data.
- R/W, merupakan pin *read/write signal*. Bila diberi logika „0“, maka akan terpilih *write*. Dan bila diberi logika „1“, maka akan terpilih *read*.
- E, merupakan sinyal *enable* yang berfungsi mengaktifkan *write/read* data.
- DB0 / pin 7 – DB7 / pin 14, merupakan pin data 4 bit untuk LCD.
- V+BL (pin 15) dan V-BL (pin 16), merupakan pin catu daya untuk *backlight* LCD.

### 3.4. Mikrokontroler AVR ATmega 32

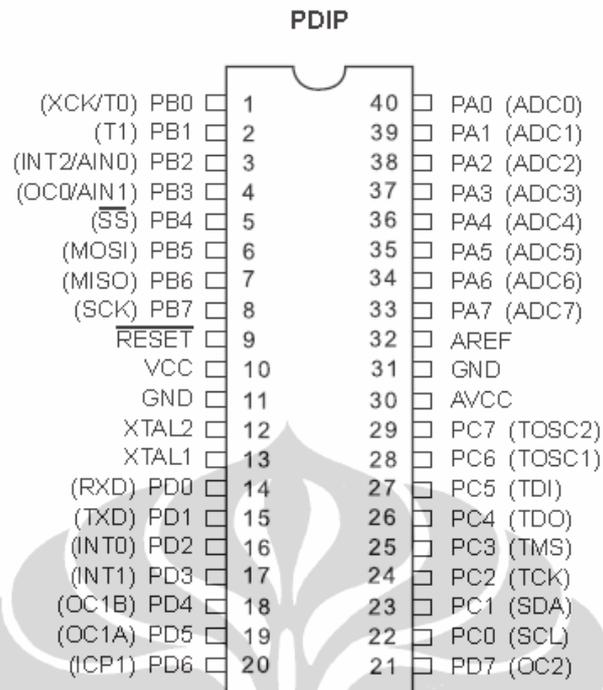
AVR merupakan seri mikrokontroler CMOS 8-bit buatan Atmel, berbasis arsitektur RISC (*Reduced Instruction Set Computer*). Hampir semua instruksi dieksekusi dalam satu siklus clock. AVR mempunyai 32 register general-purpose, timer/counter fleksibel dengan mode compare, interrupt internal dan eksternal, serial UART, programmable Watchdog Timer, dan mode power saving, ADC dan PWM internal. AVR juga mempunyai *In-System Programmable Flash on-chip* yang memungkinkan memori program untuk diprogram ulang dalam sistem menggunakan hubungan serial SPI. ATmega32. ATmega132 mempunyai throughput mendekati 1 MIPS per MHz membuat disainer sistem untuk mengoptimasi konsumsi daya versus kecepatan proses. Dibawah ini adalah gambar diagram blok ATmega 32





Gambar 3. 18 Diagram Blok ATmega32

Untuk dapat dilakukan koneksi sensor dan aktuator ke dalam mikrokontroller perlu adanya pin yang dikoneksikan pada mikrokontroller, dibawah ini merupakan koneksi pin dari mikrokontroller ATmega 32:



Gambar 3. 19 Konfigurasi Pin ATmega 32

Penjelasan pin pada mikrokontroler ATmega 32:

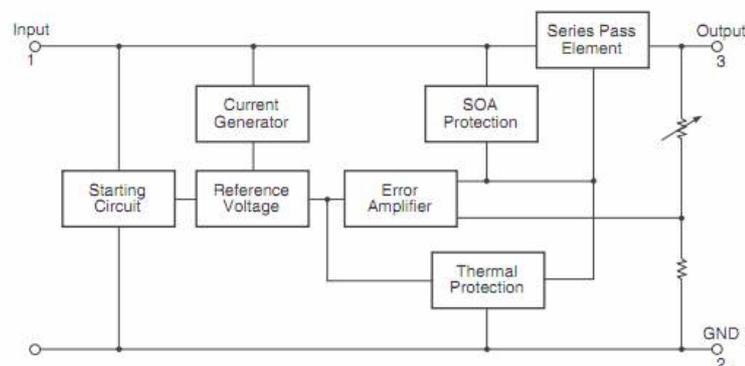
- Vcc Masukan tegangan catu daya
- GND Ground, emang apalagi kalau bukan ground...
- Port A (PA7..PA0) Port A berfungsi sebagai masukan analog ke ADC internal pada mikrokontroler ATmega16, selain itu juga berfungsi sebagai port I/O duaarah 8-bit, jika ADC-nya tidak digunakan. Masing-masing pin menyediakan resistor *pull-up* internal yang bisa diaktifkan untuk masing-masing bit.
- Port B (PB7..PB0) Port B berfungsi sebagai sebagai port I/O dwi-arah 8-bit. Masing-masing pin menyediakan resistor *pull-up* internal yang bisa diaktifkan untuk masing-masing bit.
- PortC(PC7..PC0) Port C berfungsi sebagai sebagai port I/O dwi-arah 8-bit. Masing-masing pin menyediakan resistor *pull-up* internal yang bisa diaktifkan untuk masing-masing bit. Port C juga digunakan sebagai antarmuka JTAG.
- Port D (PD7..PD0) Port D berfungsi sebagai sebagai port I/O dwi-arah 8-bit. Masing-masing pin menyediakan resistor *pull-up* internal yang bisa diaktifkan untuk masing-masing bit.

RESET	Masukan Reset. Level rendah pada pin ini selama lebih dari lama waktu minimum yang ditentukan akan menyebabkan reset, walaupun <i>clock</i> tidak dijalankan.
XTAL1	Masukan ke penguat osilator terbalik ( <i>inverting</i> ) dan masukan ke rangkaian <i>clock</i> internal.
XTAL2	Luaran dari penguat osilator terbalik
AVCC	Merupakan masukan tegangan catu daya untuk Port A
sebagai	ADC, biasanya dihubungkan ke Vcc, walaupun ADC-nya tidak digunakan. Jika ADC digunakan sebaiknya dihubungkan ke Vcc melalui tapis lolos-bawah ( <i>low-pass filter</i> ).
AREF	Merupakan tegangan referensi untuk ADC

### 3.5. Voltage Regulator

Sistem mikrokontroler menggunakan tegangan sebesar 5 volt, sedangkan tegangan sistem pada kendaraan ini menggunakan tegangan 12 volt, untuk itu perlu dipasangkan voltage regulator untuk menurunkan tegangan dari 12 volt ke 5 volt.

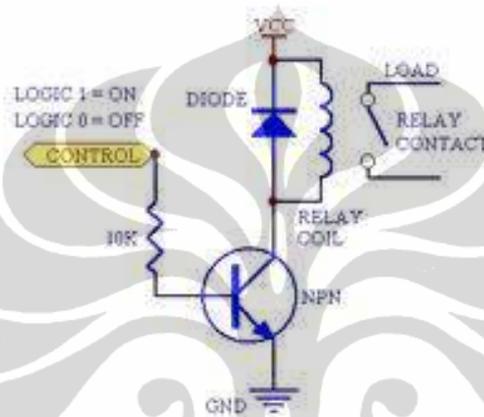
Voltage regulator tipe LM7805 merek Farchild semiconductor digunakan untuk keperluan itu.



Gambar 3. 20 Diagram Blok LM7805

### 3.6. Switching Circuit

Mikrokontroler mengeluarkan perintah berupa tegangan untuk mengaktifkan aktuator seperti relay. Karena relay yang digunakan pada kendaraan ini menggunakan catu daya 12 volt maka perlu diberikan penguat tegangan agar relay dapat bekerja dengan baik. TIP3055 merupakan sebuah silicon transistor tipe NPN, transistor ini dipakai untuk menaikkan tegangan dari mikrokontrol. Dibawah ini adalah rangkaian switching untuk mengaktifkan relay melalui mikrokontroller



Gambar 3. 21 Skema *Switching Circuit*

### 3.7. Sistem Penyimpanan Enersi

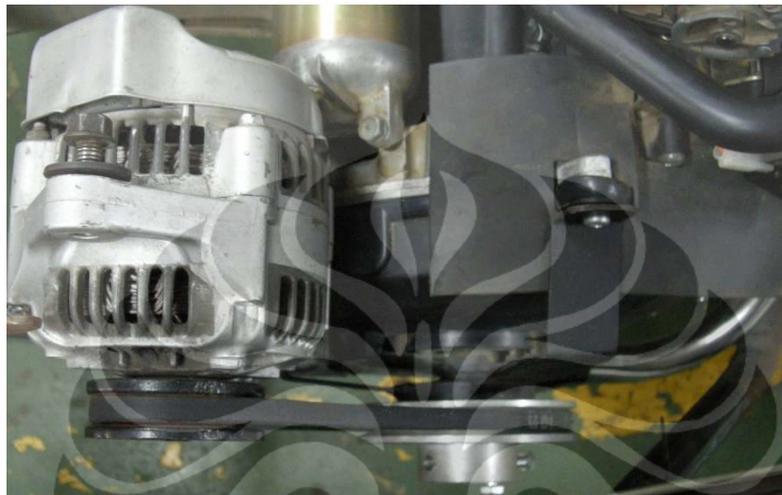
Sistem penyimpanan enersi pada kendaraan ini menggunakan 4 buah baterai merek INCOE tipe NS40 32B20R dengan tegangan 12 Volt dan kapasitas 32 Ah, yang dipasang secara seri agar mendapatkan tegangan kerja sebesar 48 Volt DC.



Gambar 3. 22 Baterai Incoe NS 40

### 3.8.Sistem *Power Take Off*

Sistem pengisian pada baterai menggunakan sebuah alternator yang berfungsi merubah gerakan mekanis menjadi enersi listrik, sistem ini akan berfungsi pada saat motor bakar dalam kondisi aktif dan gerakan putaran dari alternator ini berasal pada poros engkol motor bakar yang ditransmisikan dengan transmisi sabuk (gambar 3.23).



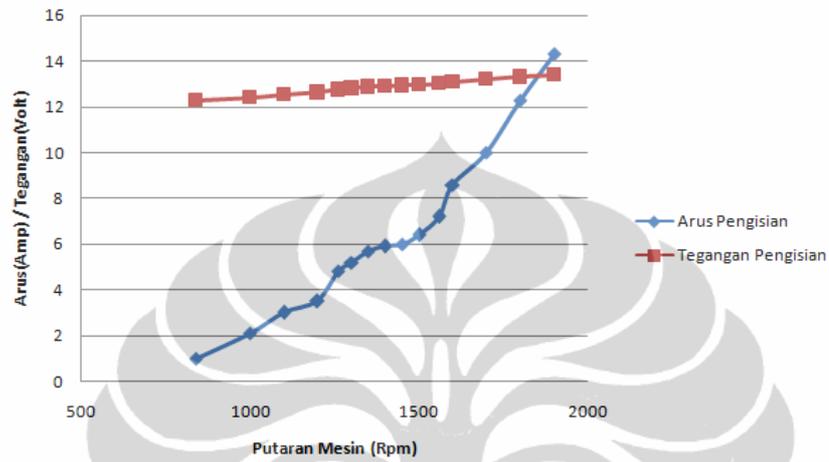
Gambar 3. 23 Posisi Pemasangan *Power Take Off*

Alternator yang digunakan sebagai power take off mempunyai spesifikasi 12 Volt DC dengan arus pengisian mencapai 45 Ah. Untuk mengetahui performa dari alternator maka dilakukan pengujian dengan cara mengoperasikan motor bakar dengan putaran secara bertahap dan diukur arus dan tegangan pengisian, berikut hasil pengujian alternator:

Tabel 3. 5 Pengujian Pengisian Baterai oleh *Power Take Off*

Putaran Mesin	Arus (amp)	Tegangan (Volt)
840	1	12,29
1000	2,1	12,4
1100	3	12,55
1200	3,5	12,62
1260	4,8	12,75
1300	5,2	12,81
1350	5,7	12,87
1400	5,9	12,9
1450	6	12,94
1500	6,4	12,96
1560	7,2	13,02

<b>1600</b>	8,6	13,1
<b>1700</b>	10	13,2
<b>1800</b>	12,3	13,3
<b>1900</b>	14,3	13,4



Gambar 3. 24 Grafik Pengujian Pengisian Baterai oleh *Power Take Off*

**BAB 4**  
**IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN MODEL SISTEM KONTROL**  
**TERINTEGRASI**

**4.1. Kondisi Operasi Kendaraan yang Akan Dicapai**

Kendaraan hibrida ini mempunyai beberapa kebutuhan kondisi yang harus dicapai untuk dapat bekerja optimal. Berikut tabel kondisi operasi kendaraan:

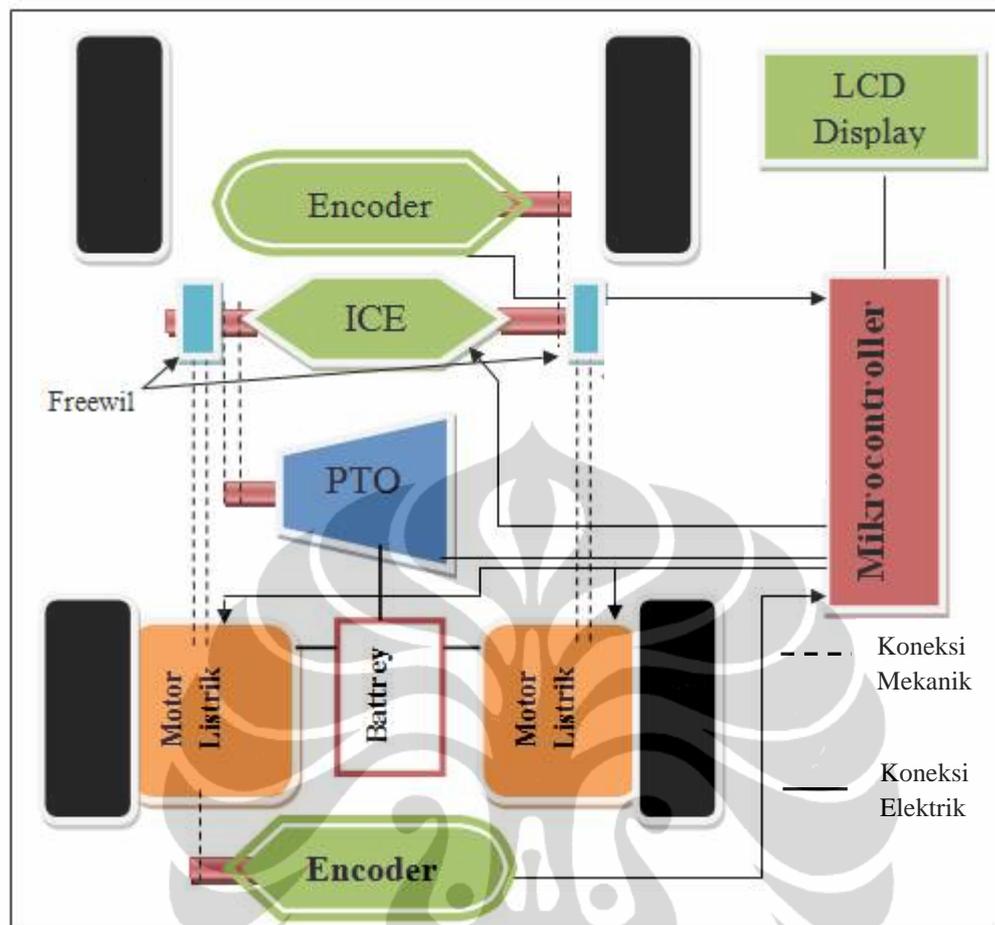
Tabel 4. 1 Kondisi Operasi Kendaraan

Kondisi	Deskripsi	Masukan yang dideteksi	Keluaran yang dicapai
		Posisi handel akselerator/ Beban kendaraan	
1	Kendaraan start awal dengan kecepatan 0-30 Km/jam	Normal/ Normal	Motor listrik
		Penuh/ Normal	Motor listrik dan motor bakar
		Normal/ Penuh	Motor listrik dan motor bakar
		Penuh / Penuh	Motor listrik dan motor bakar
2	Kendaraan melaju diatas kecepatan 30 Km/jam	Setiap kondisi	Motor Bakar + Charging
3	Kendaraan mengalami deseleraksi	Setiap kondisi	Regenerative braking
4	<i>State Of Charge</i> baterai minimim	Setiap Kondisi	Motor bakar

Batas kecepatan sebesar 30km/h adalah dibawah kecepatan rata-rata kendaraan pada kondisi *urban traffic* seperti Jakarta yang hanya 20km/h. (www.kpbb.org)

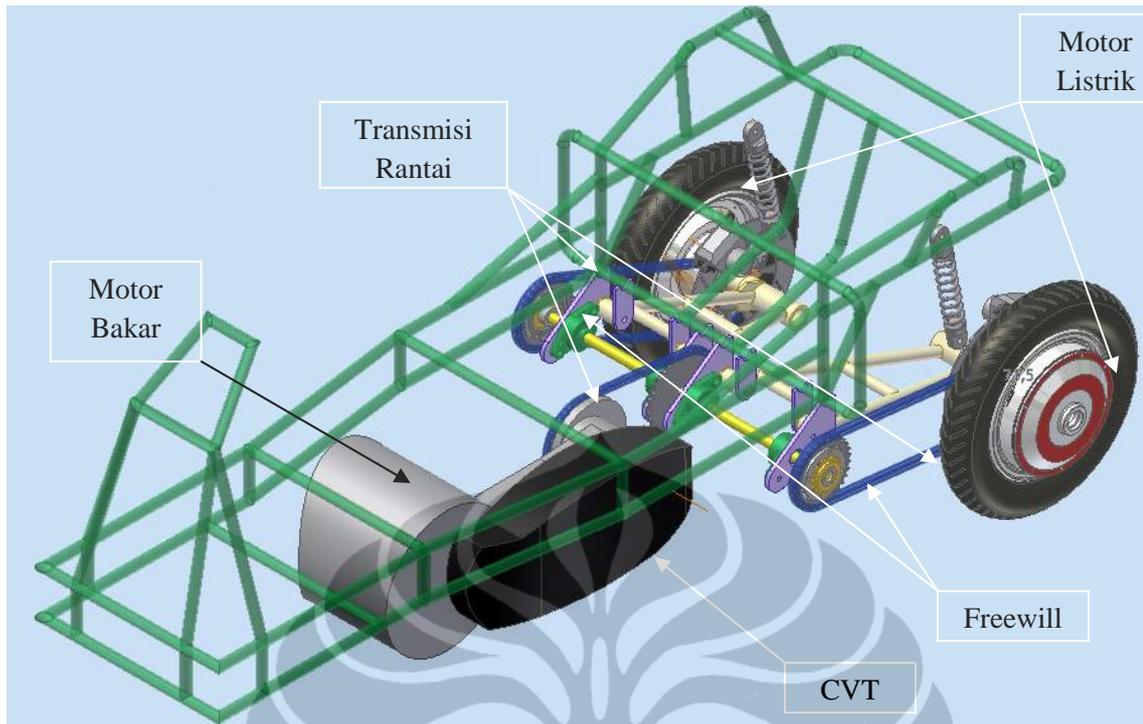
**4.2. Konfigurasi Sistem Mekanik**

Sebuah prototipe kendaraan hibrida dibangun sebagai sebuah peralatan eksperimental untuk dapat menerapkan sebuah model sistem kontrol terintegrasi. Adapun kendaraan hibrida yang digunakan mempunyai konfigurasi hibrida seri paralel dengan menggabungkan semua komponen yang dipilih sehingga konfigurasi mekanis sesuai dengan skema dibawah ini:



Gambar 4. 1 Konfigurasi Sistem Mekanik dan Elektrik Yang Dikembangkan

Agar model sistem kontrol dapat diimplementasikan maka dibuat sebuah konfigurasi mekanik yang merepresentasikan bagan pada gambar 4.1. Sebuah prototipe kendaraan hibrida dirancang dan dimodelkan secara 3D dengan menggunakan software CAD agar dapat diketahui hubungan spasial antar komponen dan sistem gerak mekanis dapat dirancang dengan baik. Dibawah ini adalah hasil pemodelan 3D pada komputer :



Gambar 4. 2 Model 3Dimensi Prototipe Kendaraan Hibrida

Dengan konfigurasi diatas maka kendaraan ini mampu bergerak dengan dua buah sistem propulsi secara seri maupun parallel.

- Sistem bekerja secara seri berarti kendaraan digerakkan oleh motor listrik yang memperoleh enersi dari baterai maupun generator, dalam hal ini generator digerakkan oleh motor bakar melalui alternator. Untuk memutus sistem transmisi daya dari motor listrik ke motor bakar digunakan dua buah kopleng freewill yang terpasang pada poros utama dengan sistem freewill ini maka memungkinkan motor listrik bergerak secara independen.
- Sistem bekerja secara parallel berarti kendaraan digerakkan oleh motor listrik dan motor bakar secara bersamaan. Pada saat kecepatan menengah dan tinggi maka kendaran ini mampu melakukan pengisian baterai melalui motor listrik lewat putaran roda.

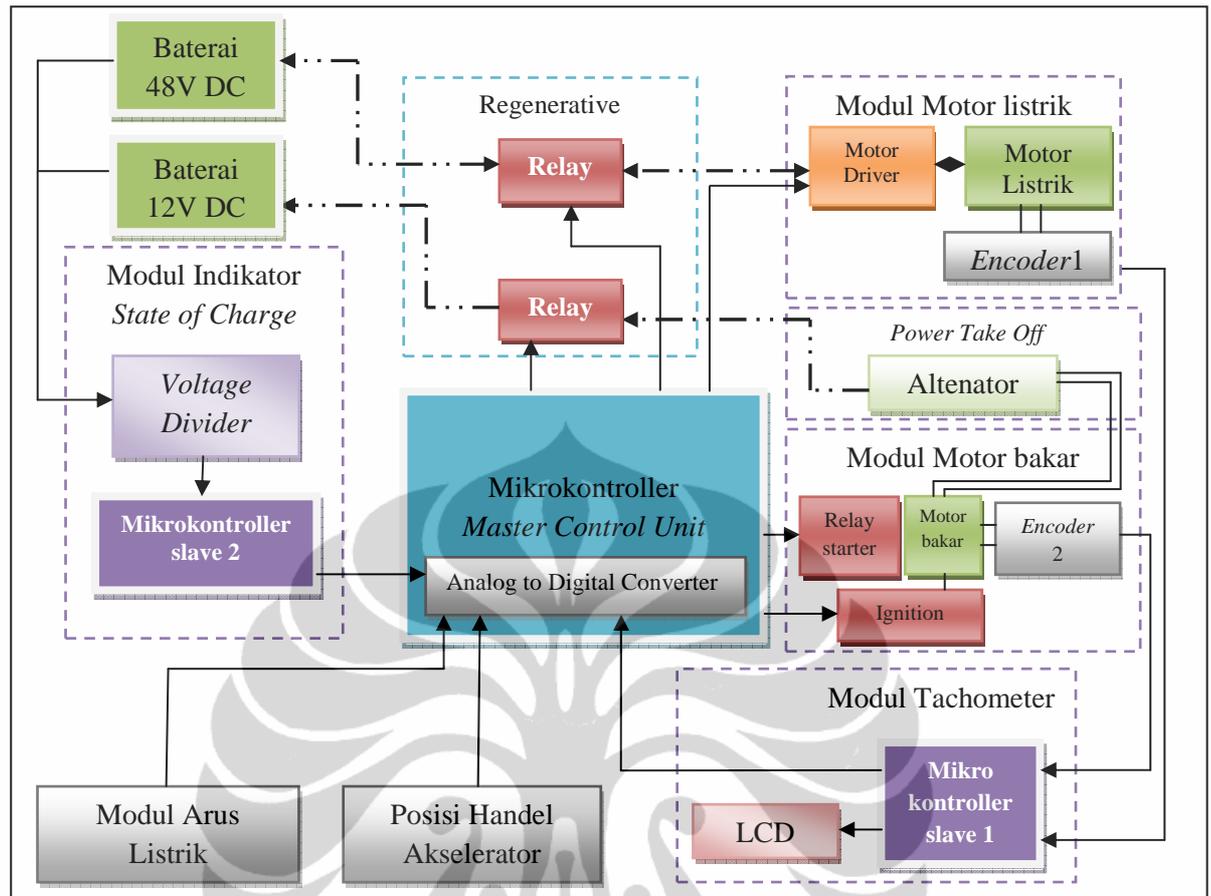
Rancangan prototipe kendaraan ini selanjutnya dibangun (gambar 4.3) agar model sistem kontrol dapat diterapkan dan diuji.



Gambar 4. 3 Prototipe Kendaraan Hibrida yang Dibangun

#### 4.3. Konfigurasi Sistem Elektrik

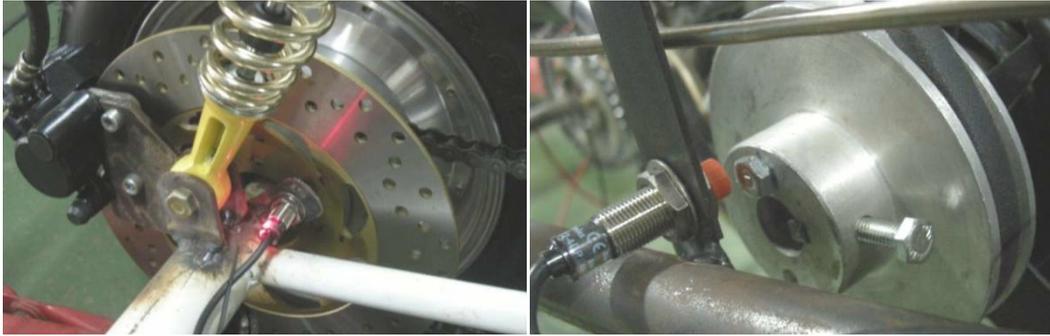
Untuk mengakomodasi kebutuhan kondisi maka dirancang sebuah sistem kontrol yang terintegrasi dengan sistem modul, setiap modul mengolah data dari sensor dan mengirimkan ke dalam mikrokontrol utama dan mikrokontrol utama akan mengolah data tersebut dan memerintahkan aktuator untuk bekerja (gambar 4.4). Sistem modul ini mempunyai keunggulan yakni memudahkan dalam melakukan pemrograman mikrokontroler karena masing-masing modul hanya fokus pada fungsi yang telah ditentukan sekaligus dapat menampilkan kondisi kerja modul pada layar LCD, memudahkan dalam melakukan troubleshooting jika terjadi kesalahan/ malfungsi sistem, kemudahan dalam penggantian komponen modul jika terjadi kerusakan, data dari masing-masing modul dikirim dalam bentuk sinyal biner sehingga mempercepat proses pengiriman data.



Gambar 4. 4 Diagram Blok Model Sistem Kontrol Terintegrasi

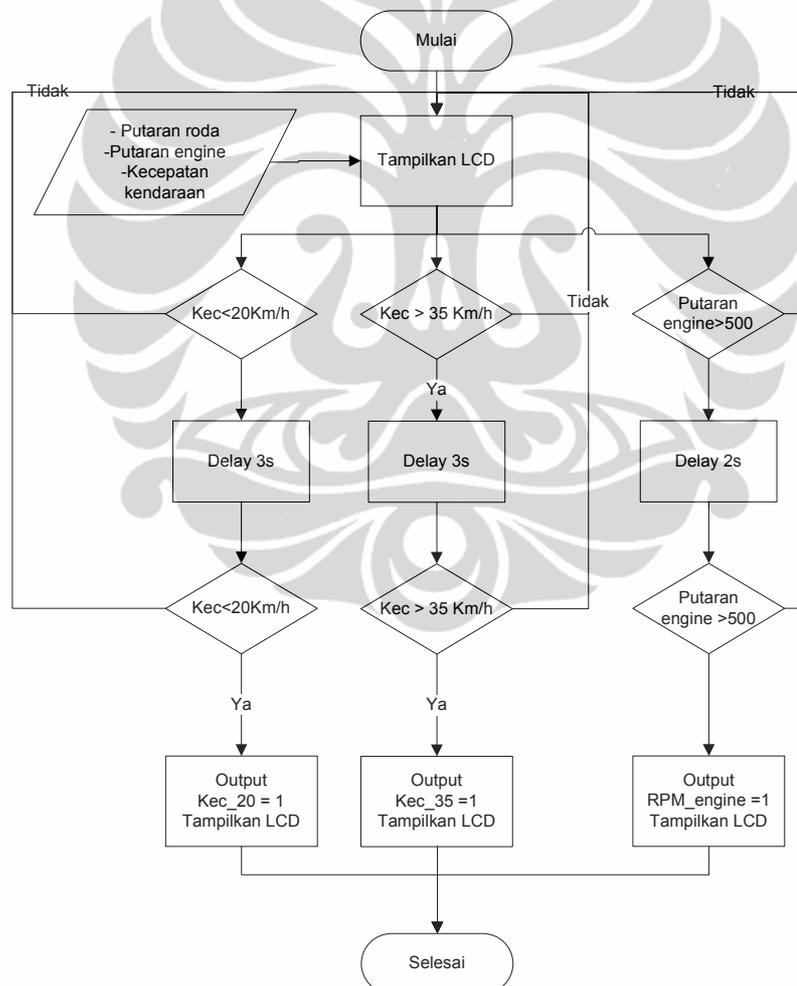
#### 4.3.1. Modul *Tachometer*

Sensor induktif di sini digunakan sebagai sensor pengukur putaran roda dan putaran mesin. Untuk mengukur putaran roda dilakukan dengan memanfaatkan empat buah baut yang terpasang pada roda belakang. Sensor akan aktif jika area sensor berdekatan dengan baut yang berputar. Untuk mengukur putaran mesin maka dipasang sebuah baut sebagai sensing indikator pada *pully* yang dihubungkan langsung pada poros engkol motor bakar. Pemasangan sensor ini terlihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 4. 5 Pemasangan Sensor Induktif

Modul ini menggunakan mikrokontroler tersendiri untuk mengolah parameter masukan dan mengeluarkan parameter luaran yang dikirim ke mikokontrol utama, berikut diagram alir pemrograman modul *tachometer*:



Gambar 4. 6 Diagram Alir Pemrograman Modul *Tachometer*

#### 4.3.2. Modul Indikator *State of Charge* Baterai

Kondisi baterai diketahui dari sensor tegangan yang dipasangkan pada baterai dengan nilai tegangan standar baterai pada kondisi 100 % *state of charge* sebesar 12,7 Volt untuk baterai 12 volt, dibawah ini adalah tabel persentase *state of charge* baterai yang digunakan :

Tabel 4. 2 Kondisi *State of Charge* Baterai

<i>Percentage of charge</i>	<b>12 Volt baterai</b>	<b>48 Volt baterai</b>
<b>100</b>	12,70	50,8
<b>95</b>	12,64	50,56
<b>90</b>	12,58	50,32
<b>85</b>	12,52	50,08
<b>80</b>	12,46	49,84
<b>75</b>	12,40	49,60
<b>70</b>	12,36	49,44
<b>65</b>	12,32	49,28
<b>60</b>	12,28	49,12
<b>55</b>	12,24	48,96
<b>50</b>	12,20	48,80
<b>40</b>	12,12	48,48
<b>30</b>	12,04	48,16
<b>20</b>	11,98	47,92
<b>10</b>	11,94	47,76

Kondisi level kapasitas baterai yang diambil sebagai referensi adalah sebesar 70% dari kondisi baterai karena mengingat agar baterai dapat mempunyai *service life* yang lama . untuk mengetahui tegangan yang ada pada mikrokontroler maka pada level ini tegangan yang masuk pada ADC mikrokontroler adalah sebesar :

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} * V_{in}$$

$$V_{out} = \frac{330}{3300 + 330} * 48,44$$

$$V_{out} = 4,4 \text{ Volt}$$

Mikrokontroler menggunakan sistem 10 bit dalam pendeklarasian nilai ADC masukan yang mana tegangan referensi sebesar 5 Volt mempunyai nilai ADC

sebesar 1024. Tegangan  $V_{out}$  dibaca oleh mikrokontroler sebagai sebuah nilai ADC sebesar :

$$\text{Nilai ADC} = \frac{V_{out}}{V_{ref}} * 1024$$

$$\text{Nilai ADC} = \frac{4,4}{5} * 1024$$

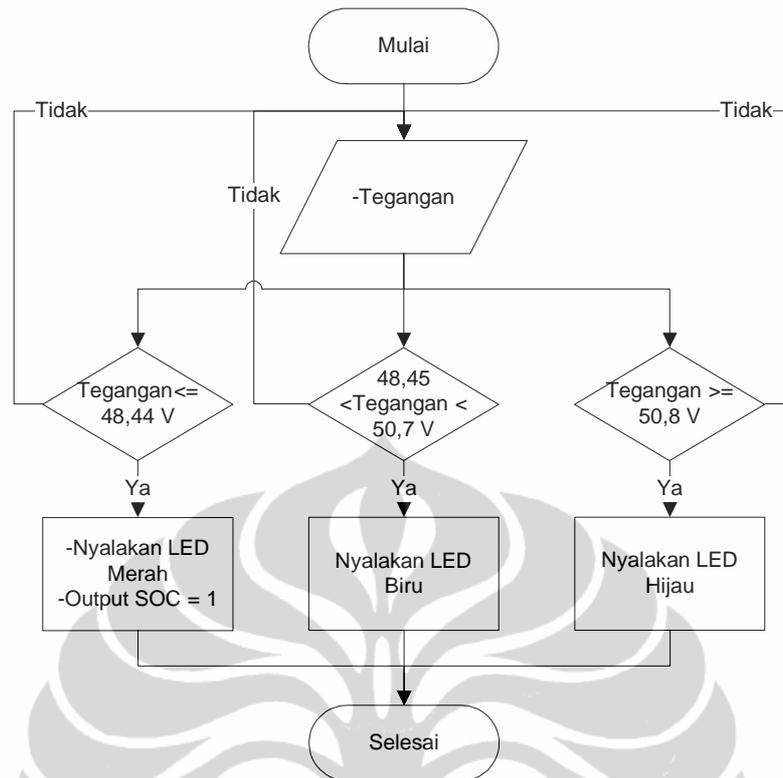
$$\text{Nilai ADC} = 901,12 \approx 901$$

Berdasarkan nilai ADC ini maka mikrokontroler akan mengaktifkan motor bakar pada saat level tegangan dibawah 70% *state of charge*. Dari perhitungan diatas maka dapat diketahui pula kondisi baterai pada 100% mempunyai nilai ADC sebesar 946. Pada modul ini untuk mengolah data ADC digunakan mikrokontroler sehingga parameter masukan ini mengeluarkan parameter luaran berupa data biner yang diteruskan ke mikrokontroler utama. Selain itu terdapat lampu indikator yang mengindikasikan tegangan baterai.

Tabel 4. 3 Kondisi *State of Charge* Baterai

State of charge	Tegangan baterai (Volt)	Warna lampu Indikator	Keterangan Lampu Indikator
>100%	50,8	Hijau	Baterai <i>Fully charged</i>
70% - 100%	48,45 – 50,7	Biru	Baterai Kondisi Normal
<70%	48,44	Merah	Baterai Kondisi Minimum

Berikut diagram alir pemrograman mikrokontroler *modul state of charge* baterai:



Gambar 4. 7 Diagram Alir Pemrograman Modul *State of Charge* Baterai

#### 4.3.3. Modul Arus Listrik

Modul ini berfungsi untuk mendeteksi arus yang mengalir pada kedua motor listrik, sebagai masukan untuk mendeteksi beban motor listrik yang sedang bekerja. Modul ini menggunakan rangkaian sensor pengukur arus listrik dan keluaran dari sensor ini adalah berupa tegangan listrik yang dimasukkan pada mikrokontroler, selanjutnya mikrokontroler memberikan sinyal ke mikrokontroler utama apakah motor listrik pada batasan beban maksimal.

Sensor arus ini mempunyai nilai tegangan keluaran pada 2,5 volt jika sensor tidak mendeteksi arus yang mengalir, sedangkan sensitivitas dari sensor adalah sebesar 67mV / Ampere. Nilai ini dikonversi oleh ADC yang diset pada 10 bit sehingga nilai pada saat tegangan referensi 5 volt adalah 1024.

Untuk menentukan besaran nilai ADC sebagai pembatas beban maksimum dari motor listrik maka dihitung arus maksimum kontinyu adalah 80% dari arus maksimum motor listrik. Motor listrik mempunyai arus maksimum sebesar:

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{500 \text{ watt}}{48 \text{ Volt}}$$

$$I = 10,41 \text{ Ampere}$$

Nilai batas maksimal kontinyu dari arus adalah :

$$I = 0,8 * 10,41 = 8,3 \text{ Ampere}$$

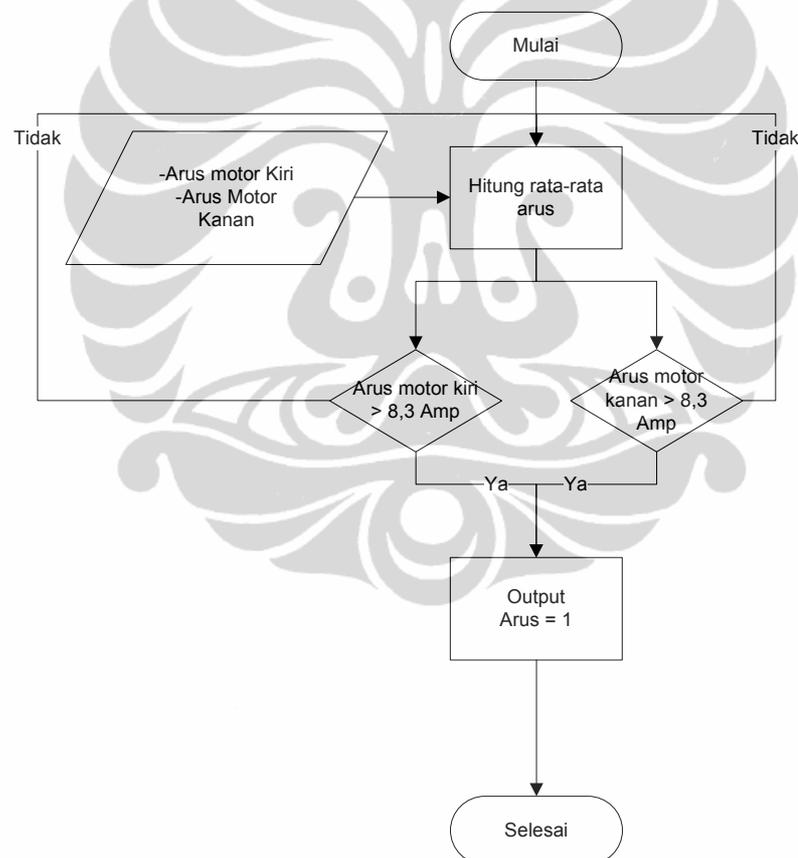
Nilai ini perlu dikonversi ke data ADC pada mikrokontroler maka :

$$\text{Data ADC} = \frac{(V_{(0Amp)} \pm (I_{Sensed} * V_{sensitivity}))}{V_{Ref}} * 1024$$

$$\text{Data ADC} = \frac{(2,5 + (8,3 * 0,067))}{5} * 1024$$

$$\text{Data ADC} = 625,88 \approx 626$$

Berdasar data ADC inilah mikrokontroler akan memberikan sinyal biner ke mikrokontroler utama bahwa kondisi beban sudah maksimal. Berikut diagram alir pemrograman pada modul Arus listrik.



Gambar 4. 8 Diagram Alir Modul Sensor Arus Listrik

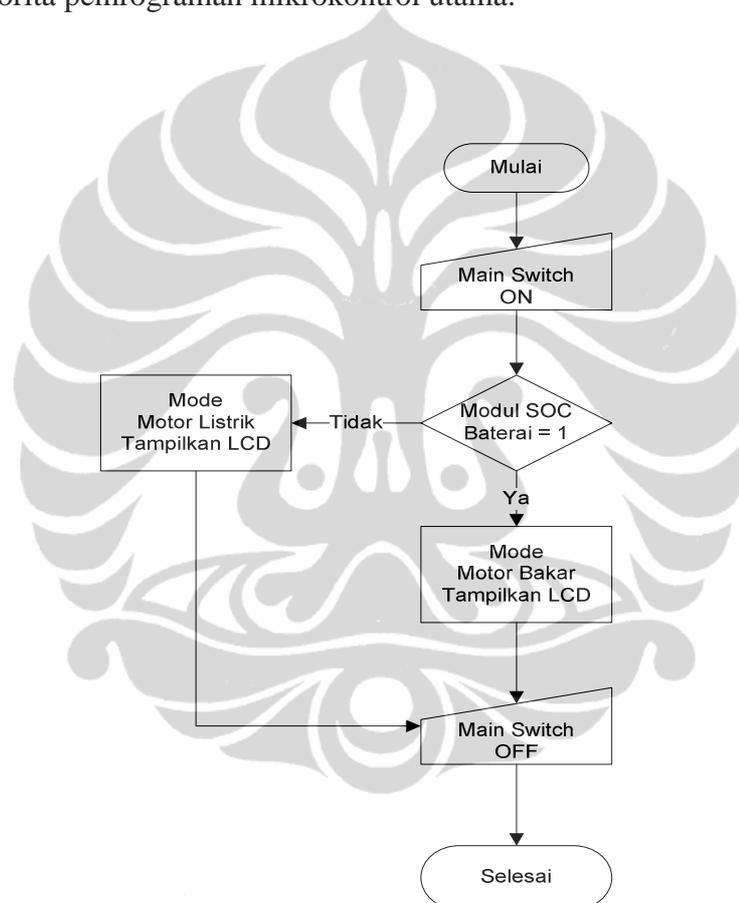
#### 4.3.4. Modul Motor Listrik

Motor listrik mempunyai motor driver pada paket penjualannya, motor driver tersebut menerima sinyal berupa tegangan 0-4,5 Volt dari *magnetic*

*potensiometer* pada handel akselerator. Putaran motor berbanding lurus dengan sinyal tegangan yang diterima dari handel akselerator.

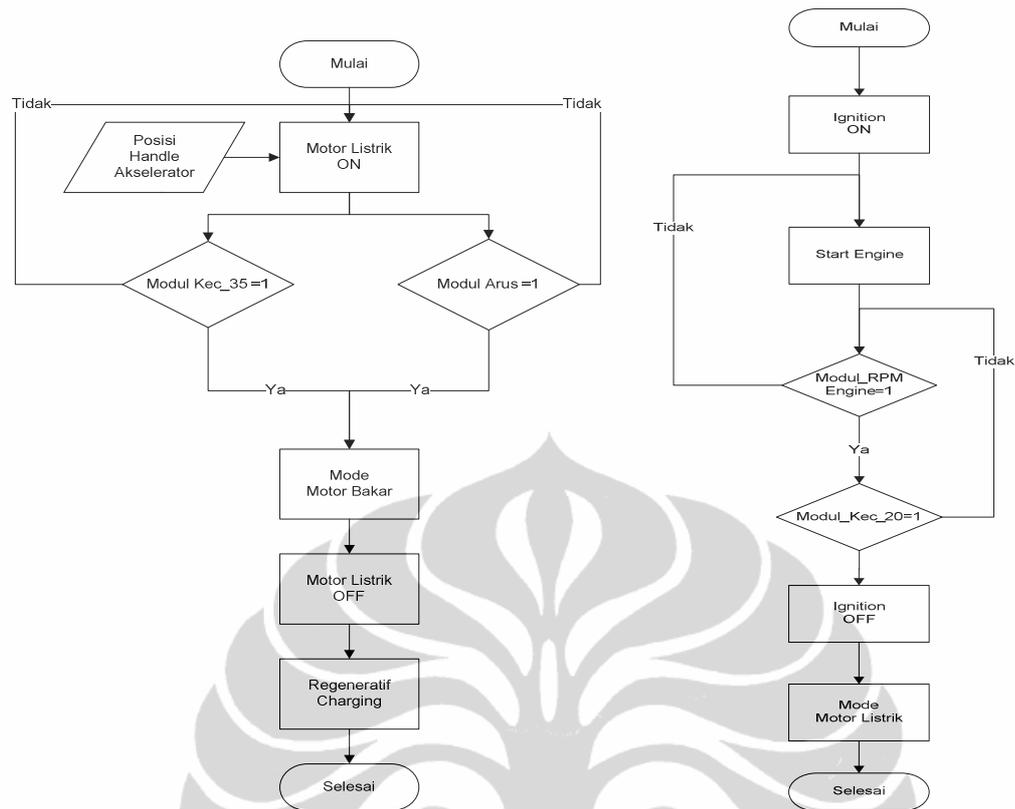
#### 4.3.5. Mikrokontroler Utama

Mikokontrol utama sebagai MCU (Master Control Unit) mengatur setiap parameter masukan yang berasal dari masing-masing modul dan mikorkontroler memberikan parameter luaran yang sesuai dengan program yang ditulis. Berikut ini adalah algoritma pemrograman mikrokontroler utama:



Gambar 4. 9 Diagram Alir Program Utama

Setiap mode mempunyai subroutine tersendiri agar pemrograman lebih mudah dan jika terjadi kesalahan dapat mudah dideteksi, berikut diagram alir untuk mode motor listrik dan motor bakar:

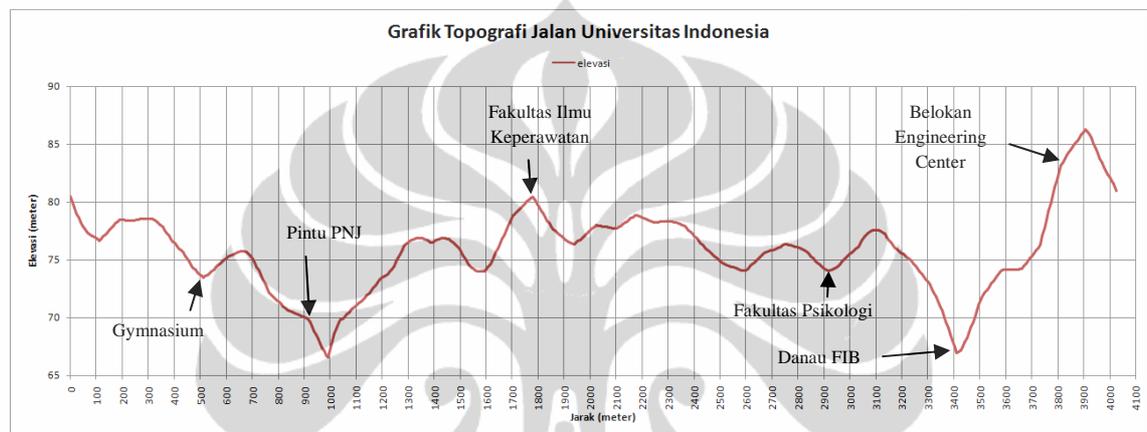


Gambar 4. 10 Diagram Alir Pemrograman Mode Motor Listrik(kiri) dan Mode Motor Bakar(kanan)

#### 4.4. Pengujian Sistem Kontrol

Untuk melakukan validasi dari model sistem kontrol yang telah dibangun dan diimplementasi pada prototipe kendaraan hibrida maka perlu dilakukan pengujian dari masing-masing modul maupun pengujian keseluruhan sistem. Metode pengujian dilakukan secara *static test*. Kendaraan dioperasikan dengan cara kedua roda belakang yang berfungsi sebagai sistem penggerak diangkat sehingga roda kendaraan dapat berputar tanpa mengakibatkan kendaraan melaju. Pengujian ini meliputi pengujian keterfungsian antara modul dengan sistem kontrol utama maupun pengujian putaran roda, putaran mesin, dan sistem pengisian baterai baik secara regeneratif maupun dengan menggunakan alternator sebagai *Power Take Off*. Pada pengujian statis ini mengabaikan kondisi beban kendaraan karena motor listrik yang diuji dalam keadaan tanpa beban. Selain pengujian statis dilakukan dan dilakukan pengecekan terhadap parameter kontrol masukan dan keluaran dan dinyatakan memenuhi syarat maka dilanjutkan dengan pengujian jalan kendaraan (*test drive*). Pengujian jalan kendaraan dilakukan di lingkungan jalan raya Universitas Indonesia dengan kondisi jalan yang ramai dan

banyak terdapat polisi tidur dan beberapa halte bus sehingga kondisi ini diasumsikan sama dengan kondisi *urban driving* yang mengakibatkan kendaraan melakukan *stop and go driving*. Data topografi dari jalan raya UI diambil dari situs internet ([www.geocontext.org](http://www.geocontext.org)) yang mampu memperoleh data elevasi dan jarak dari permukaan bumi. Dibawah ini hasil perolehan data elevasi dan jarak dari jalan raya UI berawal dari pintu gerbang dekanat memutar ke arah gymnasium dan kembali lagi ke pintu gerbang dekanat dengan total jarak tempuh teoritis sebesar 4,15 Km.



Gambar 4. 11 Gambar Profil Topografi Jalan Raya UI

#### 4.4.1. Pengujian Mode Operasi Model Sistem Kontrol

Untuk memenuhi setiap kondisi operasi kendaraan maka pengujian dilakukan dengan mensimulasi kondisi operasi tersebut dan parameter keluaran yakni indikator maupun sistem propulsi dicatat. Pengujian ini menggunakan metode statis. Berikut hasil pengujian pada sistem kontrol:

Kondisi 1: Kendaraan start awal dengan kisar kecepatan antara 0-30 Km/Jam, akselerasi dilakukan bertahap hingga posisi handel akselerator terbuka penuh

Kondisi 2 : Kendaraan melaju dengan kecepatan lebih dari 30 Km/jam, akselerasi dilakukan secara bertahap.

Kondisi 3: Kendaraan mengalami deseleraksi dari kecepatan 50 km/jam sampai berhenti.

Kondisi 4: Kendaraan start awal dengan kondisi *State of Charge* baterai dibawah minimum ( kondisi baterai pada saat pengujian tidak memenuhi untuk berada pada level minimum maka sensor disimulasikan dengan tegangan 0 Volt).

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Operasi Sistem Kontrol

Kondisi	Kecepatan kendaraan (km/h)	Tegangan Baterai (Volt)	Putaran roda (rpm)	Putaran Mesin (rpm)	Sistem Propulsi Aktif
1	0-30	51	0-470	0	Motor Listrik
2	30 -60	54,5	520-780	3500	Motor Bakar
3	60-0	54,5-51,5	780-0	3500-0	Motor bakar lalu motor listrik
4	0	0	Variabel	1100-5500	Motor bakar

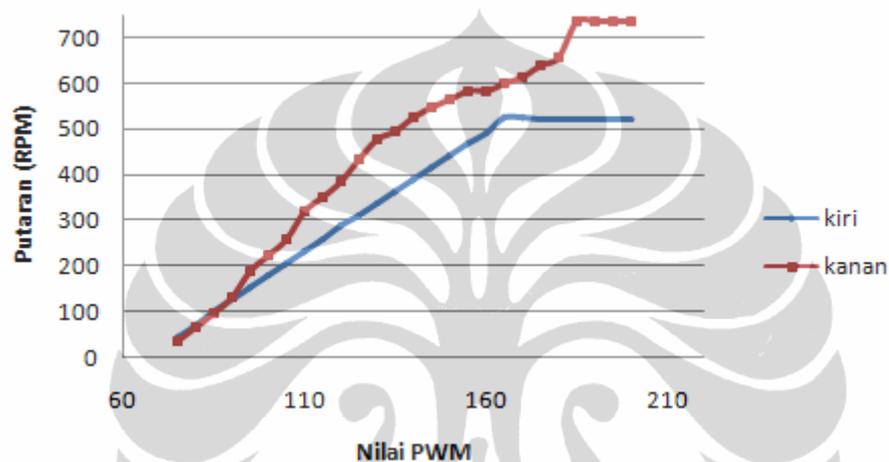
#### 4.4.2. Pengujian Putaran Motor Listrik

Untuk mengetahui respon kedua motor terhadap akselerasi maka motor listrik diuji secara statis dengan cara memberikan masukan tegangan secara variabel terhadap motor driver, agar masukan tegangan sama pada kedua motor maka dilakukan dengan memberikan sinyal tegangan yang dihasilkan oleh PWM (Pulse Width Modulation) dari mikrokontrol, masing-masing sama. Hasil dari pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah:

Tabel 4. 5 Hasil Pengujian Kedua Motor Listrik Terhadap Tegangan Sinyal

Nilai PWM	Tegangan Analog	Putaran kiri	Putaran kanan	Arus Kiri	Arus Kanan
75	1,41	43,5	35,2	0,1	0,1
80	1,5	67,8	64,7	0,2	0,2
85	1,59	100,4	94	0,3	0,3
90	1,68	128	129	0,4	0,4
95	1,78	152	188	0,5	0,5
100	1,87	180,6	222	0,5	0,7
105	1,96	205	257	0,6	0,9
110	2,06	232	320	0,7	1
115	2,15	260	352	0,8	1,2
120	2,25	2,88	383	0,8	1,3
125	2,33	312	433	0,9	1,4
130	2,43	338	478	1	1,5
135	2,53	363	496	1	1,5
140	2,62	389	525	1,1	1,5
145	2,7	414	545	1,1	1,6
150	2,8	440	564	1,2	1,7
155	2,89	467	582	1,3	1,8
160	2,98	492	584	1,4	1,8

<b>165</b>	3,07	523	599	1,5	1,9
<b>170</b>	3,17	523	614	1,6	2
<b>175</b>	3,26	522,5	639	1,7	2,2
<b>180</b>	3,35	522	657	1,7	2,3
<b>185</b>	3,44	522	737	1,7	2,6
<b>190</b>	3,54	522	737	1,7	2,5
<b>195</b>	3,62	522	737	1,7	2,6
<b>200</b>	3,71	522	737	1,7	2,6



Gambar 4. 12 Grafik Hasil Pengujian Kedua Motor Listrik

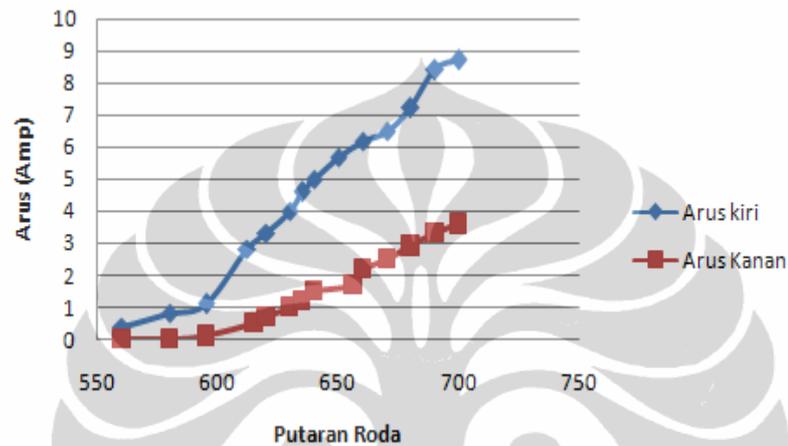
#### 4.4.3. Pengujian Respon Motor Listrik Terhadap Putaran

Motor listrik dapat digunakan sebagai generator, pengujian dilakukan secara statis dengan memutar roda yang sekaligus motor listrik dengan motor bakar dengan tingkat putaran yang bervariasi. Hasil pengujian terlihat dari tabel dibawah ini:

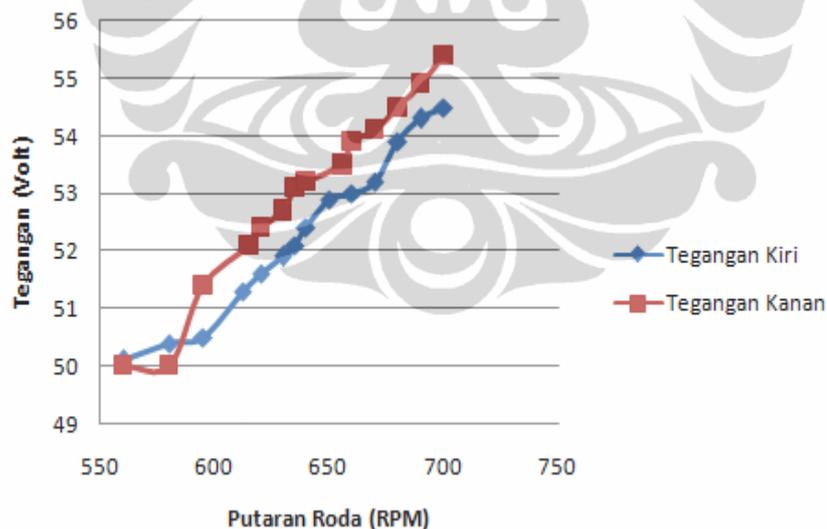
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Regeneratif Kedua Motor Listrik

Putaran	Arus		Tegangan		
	Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	
<b>560</b>	560	0,4	0	50,1	50
<b>580</b>	580	0,8	0	50,4	50
<b>595</b>	595	1,1	0,1	50,5	51,4
<b>612</b>	615	2,8	0,5	51,3	52,1
<b>620</b>	620	3,3	0,7	51,6	52,4
<b>630</b>	630	4	1	51,9	52,7
<b>635</b>	635	4,6	1,2	52,1	53,1

640	640	5	1,5	52,4	53,2
650	656	5,7	1,7	52,9	53,5
660	660	6,2	2,2	53	53,9
670	670	6,5	2,5	53,2	54,1
680	680	7,2	2,9	53,9	54,5
690	690	8,4	3,3	54,3	54,9
700	700	8,7	3,6	54,5	55,4



Gambar 4. 13 Grafik Arus Listrik Kedua Motor Terhadap Putaran

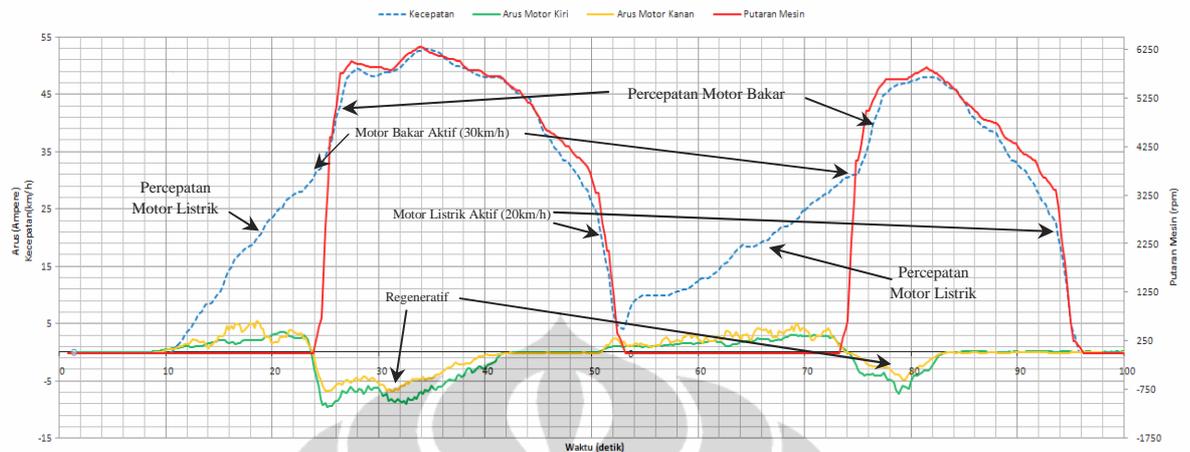


Gambar 4. 14 Grafik Refeneratif Kedua Motor Listrik Terhadap Putaran

#### 4.4.4. Pengujian Statis Performa Kendaraan Hibrida

Kendaraan diuji secara statis dengan parameter uji yakni putaran mesin(rpm), putaran roda(rpm), kecepatan kendaraan(km/h), arus kedua motor listrik(Amp). Parameter tersebut diambil dari sensor melalui mikrokontroler yang

dikeluarkan ke komputer dengan komunikasi serial setiap interval 0,2 s. Grafik hasil pengujian statis dapat dilihat dibawah ini:



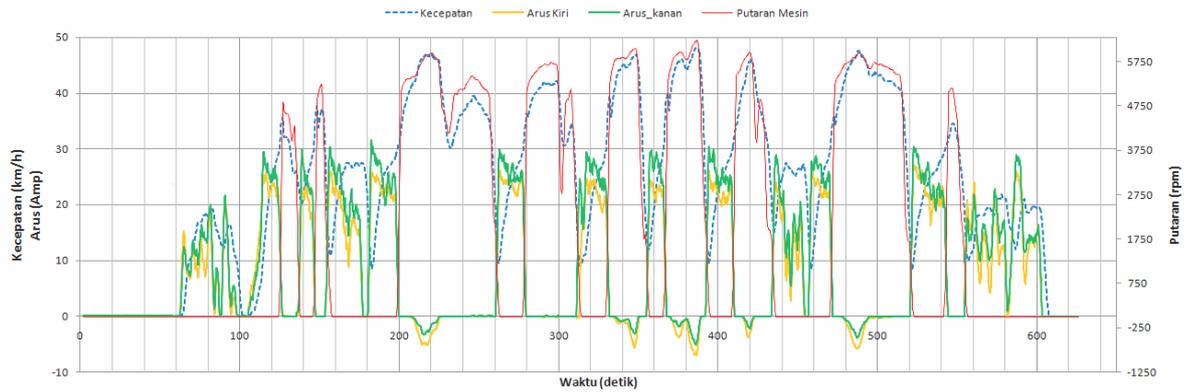
Gambar 4. 15 Grafik Hasil Pengujian Statis Kendaraan Hibrida

#### 4.4.5. Pengujian Jalan Performa Kendaraan Hibrida

Pada pengujian jalan (test drive) dilakukan tiga kali dengan mode yang berbeda-beda. Setiap mode direkam setiap parameter yang sama dengan uji statis yakni putaran mesin, putaran roda, kecepatan kendaraan, arus kedua motor listrik dan konsumsi bahan bakar dari motor bakar.

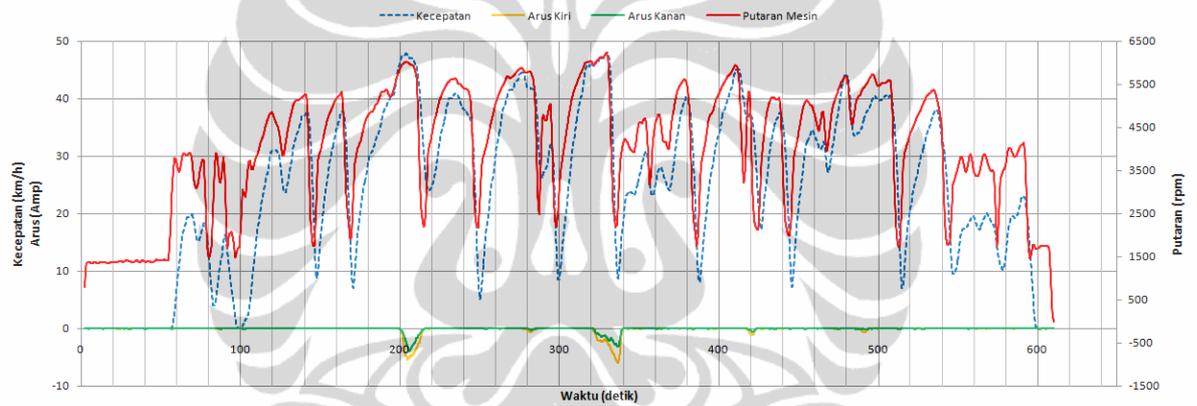
- Mode 1 dilakukan pengujian performa kendaraan dengan sistem hibrida yakni kedua propulsi diaktifkan dan dikontrol dengan menggunakan sistem kontrol yang telah dibangun dan diuji operasionalnya (gambar 4.16).
- Mode 2 dilakukan dengan menguji kendaraan hanya dengan satu propulsi yakni motor bakar saja (gambar 4.17).
- Mode 3 dilakukan dengan menguji kendaraan hanya dengan motor listrik saja (gambar 4.18).

Ketiga pengujian ini dilakukan agar mendapatkan tingkat penghematan enersi baik untuk penggunaan bahan bakar maupun penggunaan enersi listrik.



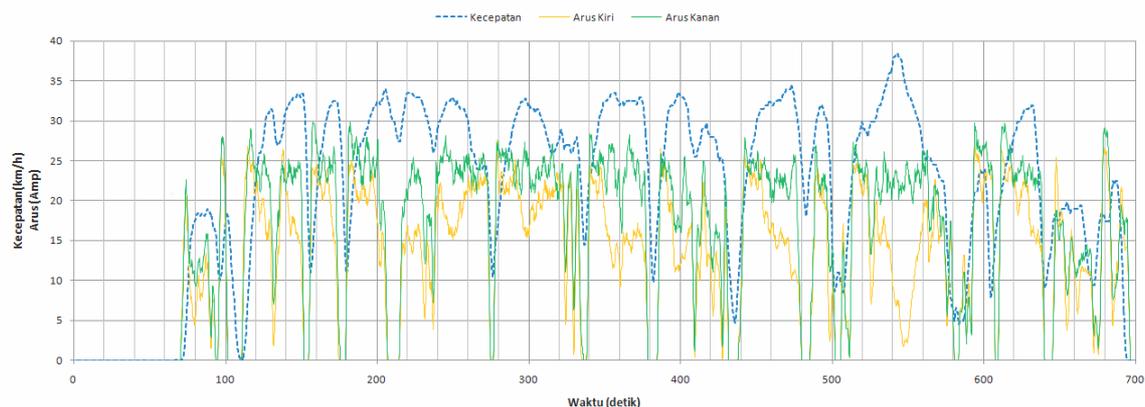
Gambar 4. 16 Grafik Hasil Pengujian Jalan Kendaraan Hibrida Mode 1

Pada mode 1 konsumsi bahan bakar tercatat sebesar 100ml dengan jarak tempuh sejauh 4221 meter.



Gambar 4. 17 Grafik Hasil Pengujian Jalan Kendaraan Hibrida Mode 2

Pada mode ini konsumsi bahan bakar yang tercatat sebesar 181ml dengan jarak tempuh sejauh 4185 meter.



Gambar 4. 18 Grafik Hasil Pengujian Jalan Kendaraan Hibrida Mode 3

Pada pengujian mode 3 tercatat penggunaan konsumsi bahan bakar 0ml dan jarak tempuh sejauh 4246 meter.

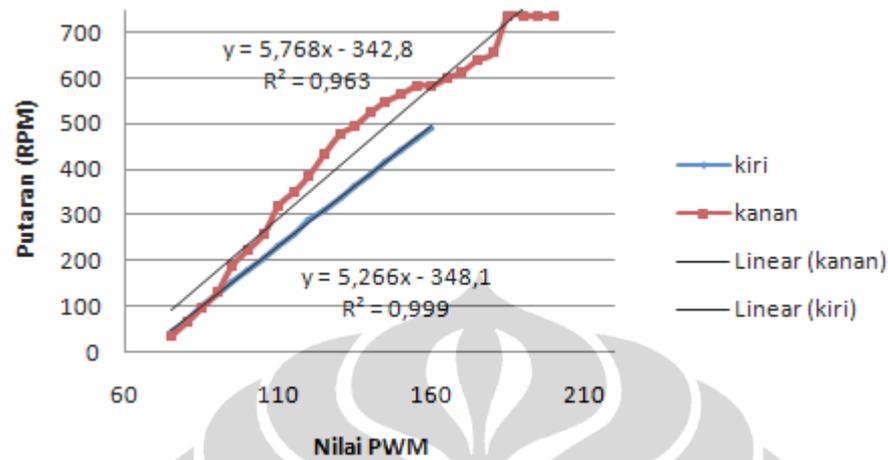
#### 4.5. Analisa dan Pembahasan

Dari hasil pengujian terhadap mode operasi menunjukkan bahwa sistem kontrol dapat ber-respon dengan cepat terhadap sinyal masukan dan tiap modul dapat bekerja dengan baik memberikan sinyal pada mikrokontroler utama ditandai dari spontanitas perpindahan kedua propulsi yang tampak pada kurva akselerasi yang konstan. Perpindahan sistem propulsi dapat bekerja secara halus seperti yang diharapkan baik perpindahan dari motor listrik ke motor bakar maupun sebaliknya. Secara keseluruhan sistem dapat bekerja secara baik.

##### 4.5.1. Analisa Hasil Pengujian Motor Listrik.

Pengujian motor listrik terlihat terdapat perbedaan karakteristik antara putaran roda kiri dengan kanan, hal ini disebabkan karena adanya beban mekanik yang berbeda pada kedua roda, yang signifikan. Perbedaan ini akan mengakibatkan ketidak lurusan kendaraan dalam melakukan gerak lurus, untuk itu perbedaan putaran harus dapat diminimalisasi. Perbedaan putaran ini dapat diatasi dengan membedakan nilai pengaturan tegangan masukan ke motor driver. Dari kedua grafik karakteristik diatas terlihat bahwa motor kiri membentuk sebuah regresi linier yang mana pada umumnya karakteristik motor akan seperti itu jika diuji pada keadaan tanpa beban. Untuk itu maka jika kedua grafik tersebut ditarik trend secara regresi maka untuk motor kiri mempunyai persamaan regresi

$Y=5,266X - 348,1$  dengan nilai  $R^2 = 0,999$  dan motor kanan mempunyai persamaan regresi  $Y = 5,768X - 342,8$  dengan nilai  $R^2 = 0,963$ .

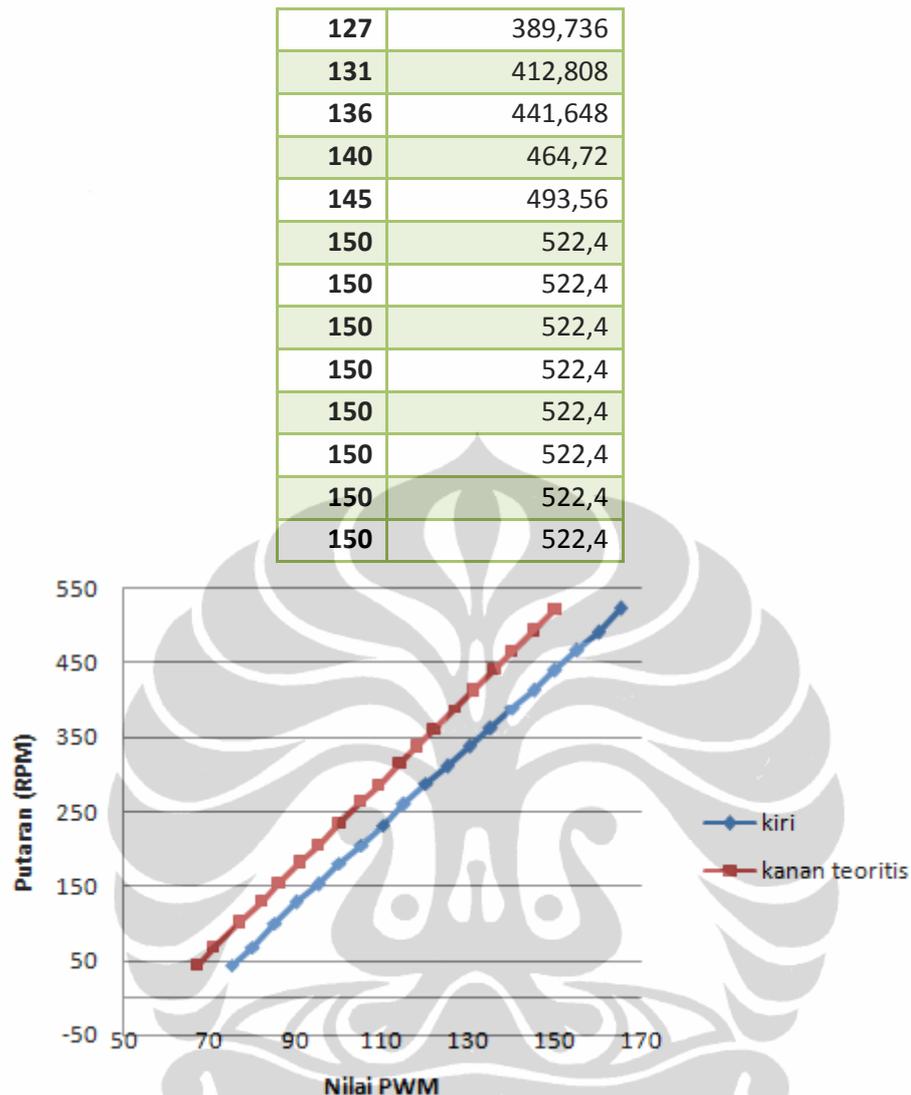


Gambar 4. 19 Grafik Pendekatan Metode Regresi

Diasumsikan motor listrik sebelah kiri lebih stabil terlihat dari nilai  $R^2$  yang mendekati 1 maka nilai intersep dari persamaan regresi pada motor kiri digunakan untuk mencari nilai PWM untuk motor kanan sehingga diharapkan akan menghasilkan nilai putaran yang seimbang. Berikut tabel nilai PWM hasil perhitungan :

Tabel 4. 7 Tabel Nilai PWM Hasil Perhitungan dan Putaran Teoritis

Round	Putaran teoritis (Rpm)
67	43,656
71	66,728
77	101,336
82	130,176
86	153,248
91	182,088
95	205,16
100	234
105	262,84
109	285,912
114	314,752
118	337,824
122	360,896



Gambar 4. 20 Grafik Nilai PWM Hasil Perhitungan Terhadap Putaran yang Dihasilkan

Hasil dari pengujian setelah dilakukan koreksi terhadap nilai PWM maka dapat disimpulkan bahwa perbedaan putaran kedua motor tidak dapat sinkron sepenuhnya, namun hal ini tidak menimbulkan efek negatif yang berarti terhadap manuver dari kendaraan, hanya terdapat perbedaan nilai arus listrik saja.

#### 4.5.2. Analisa Hasil Pengujian Statis.

Pada pengujian statis dapat dihitung jarak tempuh dari integrasi kurva kecepatan yakni sebesar 717m. Dari gambar 4.14 terlihat bahwa sistem kontrol dapat melakukan kontrol keluaran untuk mengaktifkan sistem propulsi dengan baik dan sistem regeneratif juga bekerja pada kecepatan diatas 35 km/h dari hasil

perhitungan daya diperoleh konsumsi daya dalam satu siklus akselerasi dan deselerasi selama pengujian ini sebesar -0,97 Wh yang berarti daya regeneratif (tanda minus mengindikasikan sistem melakukan *charging*). Perbedaan tingkat akselerasi terlihat sedikit berbeda antara motor bakar dan motor listrik dikarenakan sistem bekerja tanpa beban. Pada pengujian statis juga dilakukan pengujian berat kendaraan tanpa pengemudi yang tercatat sebesar 184 kg dengan distribusi beban merata pada tiap rodanya sebesar 46 kg dengan dimensi kendaraan panjang 2000mm, lebar 950mm dan tinggi 960mm.

#### 4.5.3. Analisa Hasil Pengujian Jalan

Pengujian jalan (*test drive*) sangat bergantung pada kondisi jalan apakah turunan, rata dan tanjakan, cara mengemudi, profil kecepatan, dan berat kendaraan. Parameter tersebut sangat mempengaruhi jumlah energi yang dikonsumsi oleh kendaraan tersebut. Semakin berat kendaraan maka energi yang dibutuhkan akan semakin besar meskipun jarak tempuh yang sama, berat kendaraan pada saat pengujian dihitung dari berat kendaraan kosong ditambah pengemudi, total berat kendaraan pada saat pengujian adalah sebesar 260 kg. Faktor lainnya adalah topografi dari jalan yang dilalui, semakin banyak tanjakan maka jumlah energi yang dikonsumsi akan semakin besar. Dalam rute jalan raya UI jumlah tanjakan sebesar 1600meter, turunan sebesar 1800meter dan datar sebesar 850meter, dengan slope maksimal sebesar 4%. Kondisi lalu lintas di jalan raya UI berpengaruh pada pengujian kendaraan

Pengujian jalan dilakukan dalam 3 mode seperti disebutkan pada bagian 4.4.5, dimana konsumsi bahan bakar dan energi listrik dicatat sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Tabel Perbandingan Mode Pengujian

Mode Pengujian	Sistem Propulsi	Penggunaan enersi		Jarak Tempuh (meter)	Waktu Tempuh (detik)	Kecepatan rata-rata kendaraan (km/h)
		Konsumsi Bahan Bakar (ml)	Konsumsi Energi Listrik (Wh)			
Mode 1	Hibrida	100	135,43	4221	626	24,27
Mode 2	Motor Bakar	181	-2,24	4185	610,4	24,68
Mode 3	Motor Listrik	0	275,69	4246	703	21,74

Nilai konsumsi enersi listrik adalah total enersi yang digunakan dijumlahkan dengan total enersi yang dihasilkan melalui regeneratif.

Dari tabel 4.8 diatas maka dapat dihitung nilai konsumsi bahan bakar dan nilai konsumsi enersi listrik sebagai berikut:

- Mode 1 konsumsi bahan bakar adalah sebesar 42,21 km/liter dan konsumsi enersi listrik sebesar 32,08 Wh/km
- Mode 2 konsumsi bahan bakar sebesar 32,12 km/liter dan konsumsi enersi listrik sebesar -0,535 Wh/Km ( tanda minus berarti regeneratif)
- Mode 3 hanya konsumsi enersi listrik saja sebesar 64,93 Wh/km

Berdasarkan hasil pengujian jalan kendaraan ini terdapat penghematan konsumsi bahan bakar sedikitnya 82,55% dapat dicapai, maka kendaraan ini dapat melakukan penghematan secara signifikan.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem Kontrol yang didesain mampu mendeteksi setiap parameter masukan maupun keluaran secara baik dan dapat mengolah data dari berbagai parameter masukan.
2. Motor listrik mampu bekerja dengan putaran maksimal sebesar 737 rpm pada tegangan 51 Volt dengan arus sebesar 2,6 Ampere.
3. Sistem regeneratif pada motor listrik menghasilkan daya sebesar 199,44 Watt pada putaran 700 rpm
4. Pengisian baterai menggunakan alternator sebagai Power take off dapat diterapkan dengan daya pengisian sebesar 191,62 Watt pada putaran mesin 1900 rpm, pengisian dilakukan pada tegangan 12 Volt.
5. Model sistem kontrol yang terintegrasi dapat diterapkan pada kendaraan hibrida jenis seri parallel.
6. Konsumsi bahan bakar kendaraan pada mode hibrida mencapai 42,21 Liter/km dengan konsumsi daya listrik sebesar 32,08 Wh/km.
7. Konsumsi bahan bakar pada mode hibrida lebih hemat sebesar 82,55% dibandingkan konsumsi bahan bakar mode motor bakar.

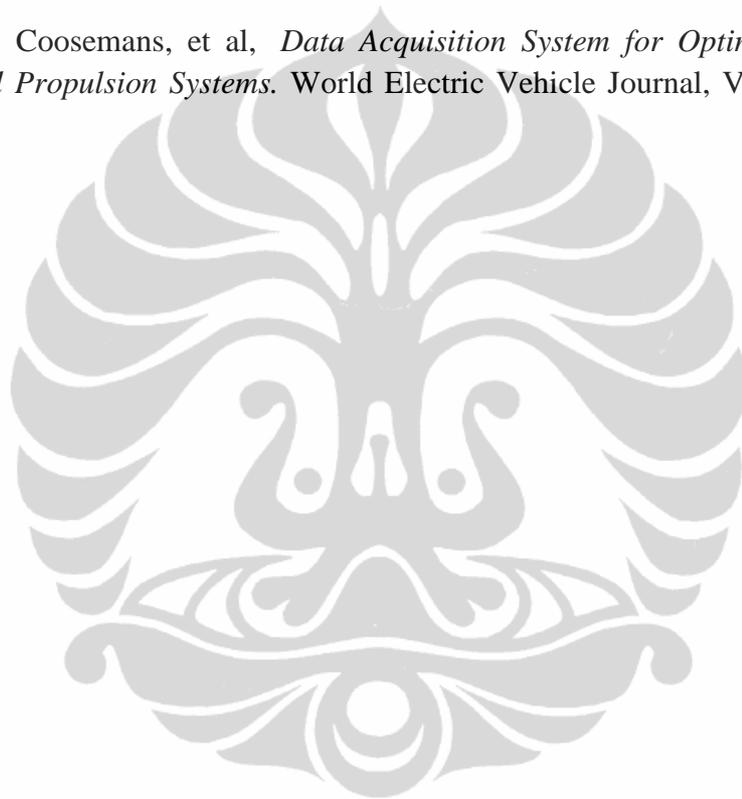
#### **5.2. Saran**

1. Pengujian sebaiknya dilakukan pada kondisi jalan dan beban yang sesungguhnya agar kehandalan dari sistem kontrol dapat diketahui.
2. Penggunaan sensor torsi diharapkan dapat lebih mewakili kondisi beban kendaraan secara lebih akurat terutama pada saat mesin motor bakar beroperasi.
3. Perlu diteliti lebih lanjut untuk sistem steering yang dapat memberikan sinyal pada kedua motor listrik agar menyesuaikan posisi sudut *steering*.

## DAFTAR REFERENSI

- [1]. Untung Widyanto, “ Yang “Ngepul” di Jalan Raya” Dari pantauan kementerian negara lingkungan hidup, polusi mencemari 16 kota besar, kemacetan lalu lintas menjadi pemicunya”  
[www.korantempo.com/korantempo/koran/2009/06/03/Ilmu dan Teknologi/krn.20090603.166980.id.html](http://www.korantempo.com/korantempo/koran/2009/06/03/Ilmu_dan_Teknologi/krn.20090603.166980.id.html). - Download 23 Desember 2010
- [2]. *Data Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis tahun 1987-2009*  
[http://www.bps.go.id/tab\\_sub/view.php?tabel=1&daftar=1&id\\_subyek=17&notab=12](http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php?tabel=1&daftar=1&id_subyek=17&notab=12)- Download 17 Maret 2011
- [3]. *Data Produksi, Konsumsi, Ekspor dan Impor Minyak Bumi di Indonesia*  
<http://www.esdm.go.id/publikasi/indonesia-energy-statistics-leaflet.html>-  
Download 18 Maret 2010
- [4] Emadi, A., K. Rajashekara, S. S. Williamson, and S. M. Lukic, *Topological Overview of Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicular Power System Architectures and Configurations*, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 54, No. 3, 763-770, 2005.
- [5] Li, Yufang, S. Liqing, Yu Leiyang, *An Analysis of Electric Assist Control Strategy for Hybrid Electric Vehicles and Simulation*, Journal of Asian Electric Vehicle, Vol 2, No 1, June 2004.
- [6] Pranadityo, *Rancang Bangun Prototipe Tesbed Sistem Kontrol Kendaraan Hybrid*, FT UI, 2008
- [7] Danardono, AS, et al,  
*The Design and Development of Small Light Hybrid Electric Vehicles in the Mechanical Engineering Department at Universitas Indonesia*, Journal of Asian Electric Vehicle, Vol 8, No 2, Desember 2010.
- [8] Julien, S. Rochdi Trigui, Matthieu, D-R, Bruno Jeanneret, Francois B, *Global Approach for Hybrid Vehicle Optimal Control* Journal of Asian Electric Vehicle, Vol 7, No 1, June 2010.
- [9] CC, Chan, *State of the art of electric Vehicles*, Journal of Asian Electric Vehicle, Vol 2, No 2, Desember 2004.
- [10] Ron Hodkinson, Jhon F, *lightweight electric/ hybrid vehicle design*, Butterworth-Heinemann, Reed Educational and Professional Publishing, 2001

- [11] Xiaodong Zhang , K. T. Chau , and C. C. Chan, *Overview of Power Networks in Hybrid Electric Vehicles*, Journal of Asian Electric Vehicle, Vol 8, No 1, Juni 2010.
- [12] Takashi Ashida, Daisuke Tanaka, Shigeyuki Minami, *A Method to determine Velocity Profile from The Power Consumption of Electric Vehicle*, Journal of Asian Electric Vehicle, Vol 5, No 2, Desember 2007.
- [13] Minxin Zheng, Bojin Qi, Hongjie Wu, *New Measuring Method for Battery Module's Voltage in Series Connected Battery Pack*. Journal of Asian Electric Vehicle, Vol 5, No 1, June 2007.
- [14] Thierry Coosemans, et al, *Data Acquisition System for Optimization of Series Hybrid Propulsion Systems*. World Electric Vehicle Journal, Vol. 3, May 2009.



**LAMPIRAN**

