



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS KONSUMSI ENERGI MENGGUNAKAN PROFIL KECEPATAN  
PADA KENDARAAN LISTRIK**

**SKRIPSI**

**ARIO WIBAWA SATRIA**

**0806454626**

**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**ANALISIS KONSUMSI ENERGI MENGGUNAKAN PROFIL KECEPATAN  
PADA KENDARAAN LISTRIK**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana  
Teknik**

**ARIO WIBAWA SATRIA**

**0806454626**

**FAKULTAS TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN**

**DEPOK**

**JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ario Wibawa Satria

NPM : 0806454626

Tanda Tangan : 

Tanggal : 12 Juli 2012

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ario Wibawa Satria

NPM : 0806454626

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisis Konsumsi Energi Menggunakan Profil Kecepatan pada Kendaraan Listrik

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

### Dewan Penguji

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

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

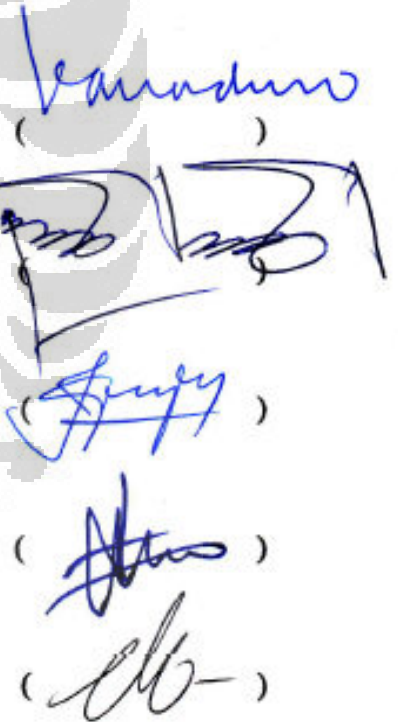
Penguji : Jos Istiyanto S.T., M.T., Ph.D

Penguji : Dr. Ir. Gatot Prayogo, M.Eng.

Penguji : Ridho Irwansyah S.T., M.T.

Ditetapkan di : Depok (Universitas Indonesia)

Tanggal : 12 Juli 2012



(*[Signature]*)  
(*[Signature]*)  
(*[Signature]*)  
(*[Signature]*)  
(*[Signature]*)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia yang telah diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini sebagai syarat kelulusan untuk menjadi Sarjana Teknik di Departemen Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Tugas akhir ini berisi tentang analisa konsumsi energi pada mobil listrik.

Banyak hal yang penulis rasakan selama proses pengerjaan tugas akhir ini. Banyak pihak yang telah membantu penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini. Untuk itu penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini. Ucapan terima kasih akan penulis tujukan kepada :

1. Alm. Ade Soekirno Sastro Prayitno (Ayah), Linda Trisnawati (Ibu), Ayu Baby Mutiara Mandela (Kakak), dan seluruh keluarga penulis lainnya yang telah memberikan dukungan, doa, serta bantuan moril dan materil dalam penyelesaian studi serta dalam proses penulisan skripsi ini.
2. Dr. Ir. R. Danardono A. S, DEA. PE, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, waktu, serta pikiran sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Dr.Ir Warjito, M. Eng, selaku pembimbing akademis yang senantiasa memberikan pengarahan selama penulis menuntut pendidikan di Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia terutama berkaitan dengan permasalahan akademis.
4. Seluruh staf pengajar Departemen Teknik Mesin UI atas bimbingannya selama periode kuliah.
5. Dimas, Widi, Nizam, Randy, Fikri, Ono, Mila, Reka, Agus Siswanta dan seluruh teman-teman Tim SEM UI atas bantuan dan dukungannya baik secara moril maupun materil dalam meyelesaikan perancangan alat.

6. Teguh Santoso, Jedo, Ijul dan rekan-rekan di laboratorioum manufaktur lantai 2 Departemen Teknik Mesin atas bantuan dalam mengerjakan skripsi ini.
7. Mas Yasin, Mas Syarif, Mas Suryadi, Mas Supri dan seluruh karyawan Departemen Teknik Mesin UI yang telah banyak membantu dalam persiapan di lab teknologi manufaktur.
8. Teman-teman seluruh mahasiswa Departemen Teknik Mesin angkatan 2008 yang telah banyak membantu baik masalah akdemis dan non-akademis dalam 4 tahun masa perkuliahan

Segala kebaikan dan bantuan yang telah diberikan kepada penulis, semoga Allah SWT berkenan melimpahkan rahmat-Nya, Amin.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan dengan segala keterbatasan dan kekurangan yang terdapat di dalamnya. Semoga karya yang jauh dari sempurna ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Depok, Juli 2012

Penulis

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

---

---

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

Nama : Ario Wibawa Satria  
NPM : 0806454626  
Program Studi : Teknik Mesin  
Departemen : Teknik Mesin  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

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

**Analisis Konsumsi Energi Menggunakan Profil Kecepatan pada  
Kendaraan Listrik**

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan

mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok (Universitas Indonesia)

Pada tanggal : 12 Juli 2012

Yang menyatakan



(Ario Wibawa Satria)



## Abstrak

Nama : Ario Wibawa Satria  
Program Studi : Teknik Mesin  
Judul Skripsi : Analisis Konsumsi Energi Menggunakan Profil Kecepatan pada Kendaraan Listrik.

Kebutuhan akan kendaraan berbasis elektrik yang mampu menggantikan secara penuh peran kendaraan berbahan bakar fosil sebagai alat transportasi menuntut terciptanya kendaraan listrik dengan penggunaan energi minimum namun tetap memiliki kehandalan tinggi dalam hal kekuatan baterai, efisiensi energi, kecepatan, daya dan torsi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa kendaraan listrik secara *real-time* pada berbagai jenis lintasan jalan agar diketahui tingkat konsumsi energi serta keunggulan dan kekurangannya apabila digunakan pada kondisi jalan raya yang sesungguhnya. Nilai parameter performa kendaraan listrik yang diwakili oleh tegangan dan temperatur baterai, daya output motor listrik, arus listrik, kecepatan dan akselerasi setiap waktu didata dan ditampilkan dalam bentuk profil kecepatan untuk dilakukan analisa terhadap konsumsi energi yang digunakan, kemiringan jalan, temperatur lintasan dan perilaku mengemudi pengendara. Rata-rata konsumsi energi kendaraan sebesar 15,286 kWh per 100 kilometer jarak tempuh dengan tingkat konsumsi energi pada jalan menanjak adalah 4 kali lebih besar dari jalan mendatar. Dapat disimpulkan bahwa kendaraan listrik *prototype* dengan berat total 120 kilogram dan berdaya 350 Watt ini tidak mampu menghasilkan tingkat efisiensi konsumsi energi yang baik menghadapi medan jalan dengan kisaran kemiringan 0-20 % pada suhu maksimum lintasan 41 derajat Celcius.

**Kata kunci** : mobil listrik, profil kecepatan, efisiensi energi.

## Abstract

Name : Ario Wibawa Satria  
Study Program : Mechanical Engineering  
Title : Analysis of Energy Consumption Using Velocity Profile of Electric Vehicle

The need of electric vehicle that is able to fully replace the role of fossil fuel vehicle for transportation mode requires electric vehicle with low energy consumption but still has a high reliability in terms of battery power, energy efficiency, speed, power and torque. This study aims to determine the performance of electric vehicles in real-time information on various types of track path in order to know the level of energy consumption as well as the advantages and disadvantages when used on a real road conditions. The parameter of electric vehicle performance values which represented by voltage and battery temperature, power output of electric motors, electric current, velocity and acceleration at all times being recorded and displayed in the form of the velocity profile to do an analysis of energy consumption is used, the slope of the road, temperature and feature of the track and driver behaviour. The average energy consumption of vehicles is 15.286 kWh per 100 kilometer distance to the level of energy consumption on the ramp is 4 times larger than the horizontal path. Can be concluded that the electric vehicle prototype with a total weight of 120 kilograms and is powered by 350 Watt BLDC electric motor could not produce the level of energy consumption efficiency of a good deal with road terrain with slope range between 0-20% at the track's maximum temperature 41degree Celsius.

**Keywords** : electric vehicle, velocity profile, energy efficiency.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
HALAMAN PERSETUJUAN.....	vii
ABSTRAK.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	4
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Brushless DC Motor.....	6
2.1.1 BLDC Hub Motor.....	8
2.2. Baterai Lithium-Ion.....	11
2.2.1 Baterai LiFePO4.....	14
2.3 Mikrokontroler ATmega16.....	17
2.4 Sensor-sensor.....	18
2.4.1 Sensor Suhu.....	18
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Penelitian.....	20
3.2 Alat Uji.....	21
3.3 Skematik Pengujian.....	23

3.3.1 Susunan Alat.....	25
3.4 Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data .....	26
3.4.1 Prosedur Pengujian Performa Mobil Listrik pada Beberapa Kondisi Jalan.....	26
3.4.2 Prosedur Pengujian Performa Mobil Listrik pada Satu Putaran Lintasan.....	27
3.4.3 Prosedur Pengujian Performa Mobil Listrik dengan Mode <i>Top-Speed</i> .....	28
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA</b>	
4.1. Karakteristik Motor BLDC .....	29
4.2. Penurunan Persamaan Akselerasi Secara Analitis .....	32
4.3 Pengaruh Akselerasi pada Performa Kendaraan Pada Beberapa Kondisi Jalan .....	33
4.3.1. Jalan Lurus Mendatar (Kemiringan jalan $\pm 0^\circ$ ).....	34
4.3.2 Jalan Lurus Menikung (Kemiringan jalan $\pm 0^\circ$ ).....	36
4.3.3 Jalan Menanjak (Kemiringan jalan $\pm 20\%$ ).....	37
4.3.4 Jalan Menurun (Kemiringan jalan $\pm 20\%$ ) .....	39
4.4 Pengujian Performa Mobil Listrik Pada Satu Putaran Lintasan.....	41
4.5 Pengujian Performa Mobil Listrik dengan Mode <i>Top-Speed</i> .....	46
4.6 Pengaruh Medan Jalan pada Performa dan Konsumsi Energi Kendaraan Listrik .....	48
4.7 Perbandingan Mode Mendatar 100 Meter Terhadap Mode <i>Top-Speed</i> .....	52
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	58
<b>LAMPIRAN</b> .....	59

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	KonstruksiBLDC motor dan skema rangkaian kontroller.....	8
<b>Gambar 2.2</b>	BLDC Hub Motor pada sepeda listrik.....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Konstruksi rotor dan stator pada BLDC Hub Motor tanpa <i>gear</i> .....	10
<b>Gambar 2.4</b>	Konstruksi rotor dan stator pada <i>planetary-gear</i> ed Hub Motor .....	10
<b>Gambar 2.5</b>	Beberapa pack baterai lithium ion untuk alat-alat elektronik.....	11
<b>Gambar 2.6</b>	Baterai LiFePO4 .....	15
<b>Gambar 2.7</b>	Blok Diagram ATMega16 .....	17
<b>Gambar 2.8</b>	Pin-out diagram ATMega16 .....	18
<b>Gambar 2.9</b>	Bentuk dan konfigurai pin IC LM35 .....	19
<b>Gambar 3.10</b>	Modul mikrokontroller ATMega16 .....	21
<b>Gambar 3.2</b>	Odometer Cateye .....	22
<b>Gambar 3.3</b>	Contoh data elevasi yang dihasilkan via satelit geocontext.org .....	22
<b>Gambar 3.4</b>	Turnigy-Wattmeter .....	23
<b>Gambar 3.5</b>	Susunan alat perekam data.....	25
<b>Gambar 3.6</b>	Skema rangkaian keseluruhan system elektrik .....	26

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Kelebihan dan kekurangan baterai Lithium-Ion .....	12
<b>Tabel 2.2</b>	Spesifikasi baterai tipe LiFePO4 .....	14
<b>Tabel 3.1</b>	Spesifikasi mobil listrik .....	21
<b>Tabel 4.1</b>	Parameter output dari grafik <i>performance curve</i> motor .....	30
<b>Tabel 4.2</b>	Data performa pada jalan mendatar .....	34
<b>Tabel 4.3</b>	Data performa pada jalan menikung .....	36
<b>Tabel 4.4</b>	Data performa pada jalan menanjak .....	38
<b>Tabel 4.5</b>	Data performa pada jalan menurun .....	39
<b>Tabel 4.6</b>	Data performa pada satu putaran lap .....	42
<b>Tabel 4.7</b>	Data performa dengan mode <i>top-speed</i> .....	47
<b>Tabel 4.8</b>	Perbandingan konsumsi energi .....	48

## DAFTAR GRAFIK

<b>Grafik 2.1</b>	Perbandingan karakteristik LiFePO <sub>4</sub> dengan jenis Li-Ion lain.....	16
<b>Grafik 2.2</b>	Perbandingan <i>energy density</i> pada beberapa keluarga Li-ion.....	16
<b>Grafik 4.1</b>	<i>Performance curve</i> Hub Motor melalui simulasi.....	30
<b>Grafik 4.2</b>	Nilai Parameter pada jalan mendatar .....	34
<b>Grafik 4.3</b>	Nilai Parameter pada jalan menikung .....	36
<b>Grafik 4.4</b>	Nilai Parameter pada jalan menanjak .....	37
<b>Grafik 4.5</b>	Nilai Parameter pada jalan menurun.....	39
<b>Grafik 4.6</b>	Nilai Parameter pada satu putaran lap .....	41
<b>Grafik 4.7</b>	Nilai Parameter pada mode <i>top-speed</i> .....	46
<b>Grafik 4.8</b>	Perbandingan konsumsi energi .....	48
<b>Grafik 4.9</b>	Perbedaan akselerasi pada setiap mode .....	51
<b>Grafik 4.10</b>	Perbedaan kecepatan pada setiap mode .....	52
<b>Grafik 4.11</b>	Perbandingan performa kendaraan pada mode mendatar dengan <i>top-speed</i> .....	54

## Bab I

### Pendahuluan

#### 1.1 Latar Belakang

Energi yang tersimpan di dalam setiap bentuk bahan bakar telah secara luas dimanfaatkan oleh manusia untuk memenuhi kebutuhannya di berbagai sektor. Manusia menggunakan energi dalam kehidupannya sebagai bahan bakar untuk memasak, membangkitkan listrik, serta transportasi. Bahan bakar dalam bentuk bensin, solar, avtur, biomassa, batu bara dan lainnya terus menerus diproduksi guna menutupi kebutuhan manusia tersebut. Namun seiring bertambahnya waktu dan terus meningkatnya populasi manusia di dunia serta peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang meningkat tajam beberapa dekade terakhir telah meningkatkan pula jumlah kebutuhan akan sumber energi.

Oleh karena itu produksi energi dalam beberapa tahun terakhir hampir tidak mampu mencukupi konsumsi energi dunia. Kegiatan manusia yang semakin dinamis dengan terus bergerak menggunakan kendaraan juga memperparah kondisi. Dampak buruk yang dialami dalam kurang lebih sepuluh tahun terakhir, dunia kini sedang mengalami krisis karena produksi bahan bakar yang utama bersumber dari fosil semakin menurun dan terancam habis apabila tidak ditemukan cadangan-cadangan baru dalam waktu dekat. Tidak hanya terbatas pada jumlah cadangan energi fosil, permasalahan yang muncul juga meluas pada rusaknya keseimbangan alam melalui pencemaran udara. Kini hampir seluruh kota-kota besar dunia mengalami pencemaran udara dan beberapa diantaranya bahkan sudah melewati ambang batas aman kondisi udara.

Menghadapi kenyataan tersebut, berbagai upaya baik dari pihak pemerintah maupun pihak swasta telah dilakukan agar permasalahan energi ini dapat ditanggulangi. Salah satu upaya tersebut yaitu dengan kampanye penggunaan kendaraan berbahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan. Jenis kendaraan ini antara lain menggunakan energi listrik, ethanol, *fuel cell*, *hybrid* serta sel surya. Hal ini sebenarnya bukanlah sesuatu yang baru karena jenis kendaraan tersebut telah dikembangkan sejak puluhan tahun yang lalu namun kondisi yang dihadapi saat ini sangat tepat untuk pengaplikasiannya. Kendaraan berbasis



energi listrik telah berkembang lebih pesat dibandingkan energi alternative lainnya karena aplikasi teknologi yang lebih mudah dan aman.

Mobil listrik tidak menggunakan bahan bakar fosil pada penggunaannya dan hanya menggunakan energi listrik yang tersimpan dalam *electric storage device* seperti *accumulator*, baterai lithium, *super-capacitor* dan lainnya. Namun hal tersebut bukan berarti tidak ada penggunaan bahan bakar fosil di dalamnya. Energi listrik yang tersimpan di *electric storage device* tersebut mengalami proses charging melalui jaringan listrik yang dibangkitkan dengan menggunakan bahan bakar fosil pada instalasi pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Sehingga secara tidak langsung penggunaan mobil listrik juga menggunakan BBM tetapi mampu memindahkan emisi yang dihasilkan terpusat pada pembangkit-pembangkit listrik tadi.

Kehandalan mobil listrik untuk mampu menggantikan mobil berbahan bakar fosil masih perlu diteliti dan dikaji. Medan yang mampu ditempuh oleh mobil listrik harus beragam agar dapat sepenuhnya digunakan pada kondisi sesungguhnya di jalanan. Hal yang dituntut dari mobil listrik diantaranya kecepatan maksimal yang mampu dicapai harus tinggi seperti mobil sport berbahan bakar fosil, akselerasi yang dihasilkan harus responsif dan mampu mengeluarkan torsi besar, untuk penggunaan dengan beban berat daya tahan motor listrik harus baik.

## 1.2 Permasalahan

Mengetahui karakteristik dari motor listrik sebagai penggerak utama mobil listrik merupakan hal fundamental dalam mengelola penggunaan konsumsi energi. Karakter tersebut diantaranya penggunaan arus, tegangan, daya input dan output, torsi, efisiensi pada waktu tertentu akan menjadi dasar analisa yang digunakan untuk menentukan sistem manajemen energi yang optimal. Optimal atau tidaknya manajemen energi ini dapat diperlihatkan dari ada atau tidaknya akselerasi yang dihasilkan oleh daya input yang diberikan melalui profil *velocity profile* yang terbentuk. Faktor akselerasi dalam hubungannya dengan daya output akan memperlihatkan seberapa efisien energi yang digunakan untuk menghasilkan kerja yang diinginkan. Dengan daya input yang seminimum

mungkin diharapkan dapat dihasilkan akselerasi maksimal sehingga berdampak pada tingkat konsumsi energi mobil listrik yang lebih irit.

### 1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan ini adalah:

- Mengetahui performa motor listrik pada berbagai kondisi *track* dengan elevasi, panjang, dan tikungan yang bervariasi.
- Mengetahui hubungan antara daya input yang diberikan ke motor listrik dengan variabel-variabel yang dihasilkan oleh mobil listrik.
- Mengetahui kehandalan motor listrik sebagai penggerak utama kendaraan serta komponen-komponen penunjangnya.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu :

- Pembahasan dilakukan pada hal mengenai karakter motor listrik dan aplikasinya pada mobil listrik dalam menghasilkan performa yang ditentukan pada berbagai kondisi jalan.
- Parameter-parameter yang diamati pada penelitian ini hanya pada dinamika kendaraan, dinamika motor listrik berupa arus, tegangan, daya input, temperatur, serta konsumsi energi mobil listrik.
- Motor listrik yang digunakan adalah Brushless DC motor jenis Hub Motor dengan sistem transmisi langsung (*direct drive*).
- Sumber energi yang digunakan berupa battery Lithium Ion dengan kapasitas 10 Ah dan tegangan operasional 36 volt.

## 1.5 Metodologi Penelitian

### 1. Studi Literatur

Studi literatur yang digunakan sebagai acuan dalam tugas akhir ini adalah buku, artikel, skripsi, dan internet. Literatur-literatur tersebut menjadi acuan dalam pengujian yang akan dilakukan.

### 2. Persiapan Alat Uji

Alat uji dipersiapkan untuk mendukung berlangsungnya proses pengujian pengambilan data yang diperlukan.

### 3. Proses Pengambilan Data

Pengujian dilakukan untuk melihat unjuk kerja sistem yang telah dibuat, dan melakukan modifikasi jika diperlukan.

### 4. Analisis dan Kesimpulan Hasil Pengujian

Setelah pengambilan data, maka dilakukan proses pengolahan data yang ditampilkan lewat tabel maupun grafik sehingga didapat kesimpulan dari proses pengujian yang terlihat dari unjuk kerja sistem dan dapat memberikan saran dalam pengembangan desain selanjutnya.

### 5. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut:

#### BAB I, Pendahuluan

Bab ini membahas tentang latar belakang, permasalahan yang timbul, tujuan, batasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan.

#### BAB II, Landasan Teori

Bab ini membahas tentang konsep-konsep yang menjadi dasar teori dalam penelitian ini, seperti dasar teori *Brushless DC Motor*, Baterai Lithium, dan Rangkaian elektronika seperti modul memori serta sensor.

#### BAB III, Metode Penelitian

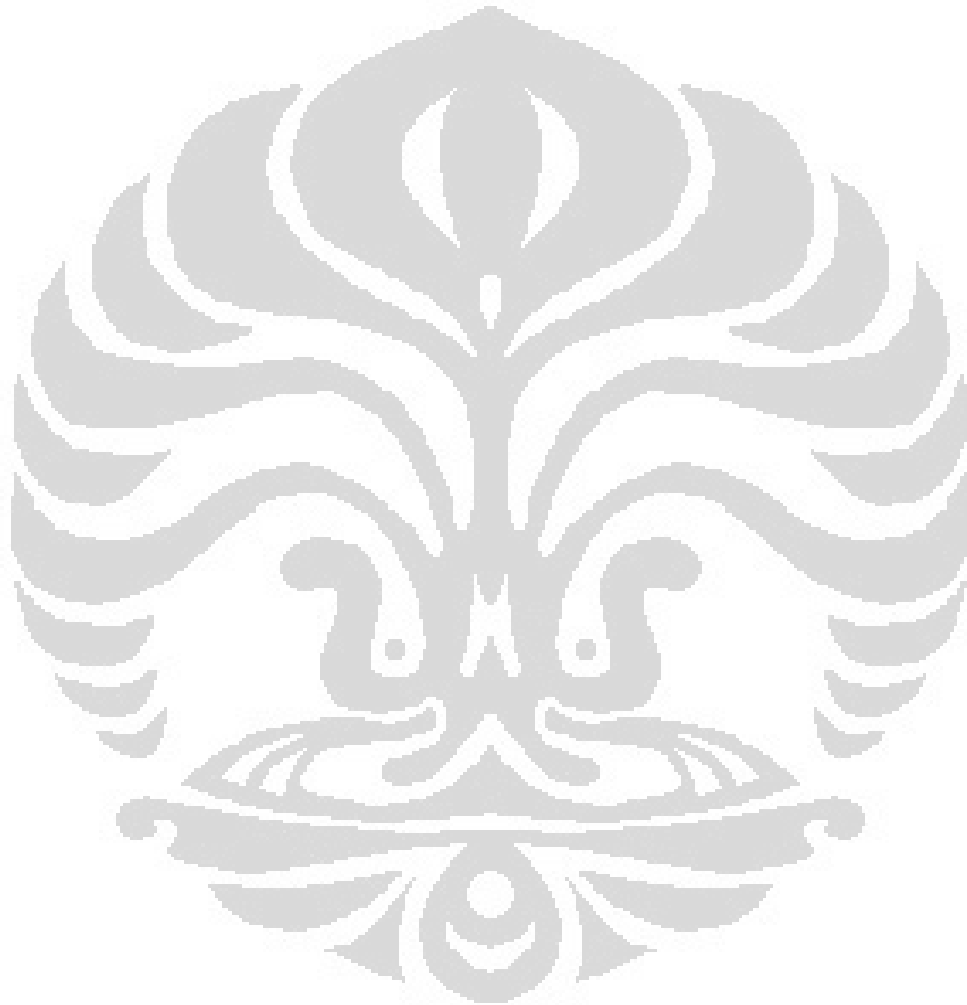
Bab ini membahas skema alat pengujian, prosedur dan metode dalam pengujian dan pengambilan data untuk melihat unjuk kerja sistem yang telah dibuat.

#### BAB IV, Hasil dan Analisis

Bab ini membahas hasil pengujian yang dianalisis dari data yang berupa tabel dan grafik.

#### BAB V, Kesimpulan

Bab ini membahas kesimpulan dari hasil pengujian dan memberikan saran untuk pengembangan desain berikutnya.



## Bab II

### Landasan Teori

#### 2.1 Brushless DC Motor

Brushless DC motor (BLDC motor) yang juga dikenal sebagai *electronically commutated motors* (ECMs) adalah tipe motor sinkron yang memakai sumber listrik arus searah sebagai sumber tenaganya. Arus searah yang digunakan umumnya bersumber dari arus bolak-balik yang kemudian disearahkan melalui *inverter*.

BLDC motor memiliki prinsip kerja yang hampir sama dengan motor stepper namun penggunaan istilah motor stepper kurang tepat bagi BLDC motor karena pengertian dari motor stepper itu sendiri digunakan untuk jenis motor yang di desain secara spesifik untuk dapat dioperasikan dalam mode *positioning* yang akurat dimana bagian rotor motor mampu berhenti di posisi angular yang diinginkan.

Dua parameter performa dari BLDC motor yang paling utama adalah konstanta motor Kv dan Km.

Secara performa, BLDC motor dapat menghasilkan torsi maksimal pada RPM rendah dan secara bertahap akan menurun seiring meningkatnya RPM motor. Keunggulan BLDC motor dibandingkan dengan jenis Brushed DC motor lainnya diantaranya efisiensi kerja yang lebih tinggi, tingkat keausan atau *mechanical wear* rendah karena tidak menggunakan *brush*, dan frekuensi perawatan yang minimal.

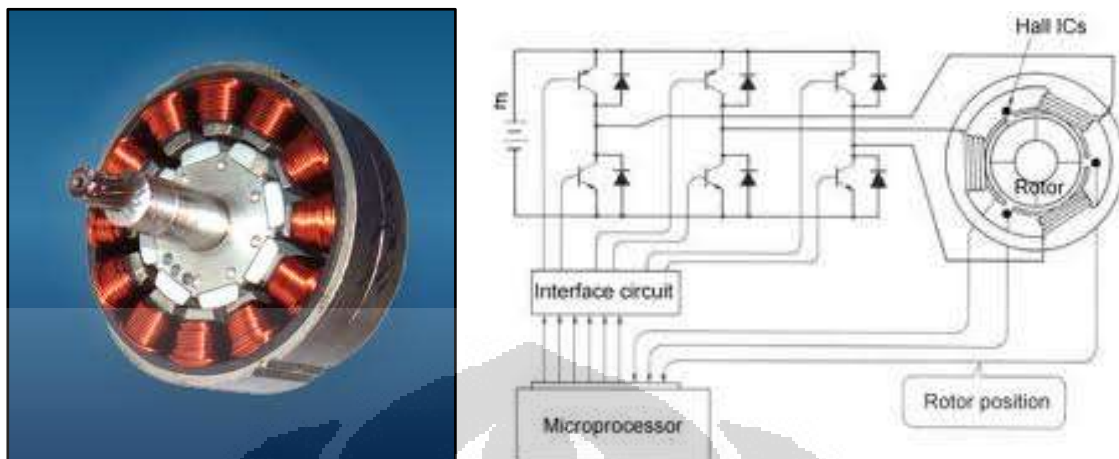
Konstruksi beberapa BLDC motor menggunakan *permanent magnet* dibagian yang berputar (rotor) dan *armature* pada bagian stator. Sistem *sequencing* arus listrik menggunakan *electronic controller* sebagai pengganti sistem komutator dengan *brushed* pada motor DC konvensional. Electronic controller ini mengubah fasa arus listrik yang menuju gulungan kawat untuk mendistribusikan daya listrik sehingga dapat menjaga perputaran motor agar tetap konstan. Dengan cara ini didapatkan beberapa keuntungan yaitu meminimalkan *energy losses* dan menghilangkan *mechanical wear* antara bagian stator dengan rotor.

Keunggulan BLDC motor dibandingkan dengan DC motor konvensional antara lain *torque per weight* dan *torque per watt* lebih besar, peningkatan efisiensi dan *reliability*, pengurangan *noise* atau kebisingan suara, *lifetime* yang lebih lama karena tidak ada *brush* dan pengikisan komutator, mengeliminasi percikan ion elektron dari komutator dan mengeliminasi *electromagnetic interference* (EMI).

Daya maksimum yang dapat diberikan pada BLDC motor dibatasi hampir hanya oleh energi panas atau *heat* yang dapat melemahkan kekuatan magnet atau merusak selubung insulasi nya. Kekurangan utama dari BLDC motor yaitu harganya yang lebih mahal. Hal ini terjadi karena sistem komutasi motor ini membutuhkan kontrol kecepatan elektronik yang kompleks sementara Brushed DC motor atau motor DC konvensional dapat menggunakan sistem rheostat (variable resistor) yang sangat sederhana untuk bekerja. Selain itu, system produksi BLDC motor secara komersial masih menggunakan proses manual penggulangan kawat dibandingkan penggulangan menggunakan mesin.

BLDC motor memiliki efisiensi yang lebih tinggi untuk mengkonversi daya listrik dari sumber energi menjadi daya mekanis untuk menggerakkan motor. Peningkatan efisiensi ini dapat tercapai karena tidak adanya *electrical* dan *friction losses* yang disebabkan oleh komponen *brushed*. Efisiensi maksimal terjadi pada daerah tanpa beban atau *no-load* dan *low-load* pada *performance curve* dari motor. Sementara pada beban mekanis yang sangat tinggi, efisiensi BLDC motor dapat setara dengan *high-quality* DC Brushed motor.

Aplikasi BLDC motor umumnya digunakan pada sistem mesin yang membutuhkan kecepatan tinggi dan bebas perawatan serta kondisi lingkungan yang melarang adanya percikan listrik seperti pertambangan atau kondisi dimana adanya peralatan elektronik yang sensitif.



Gambar 2.1 Konstruksi BLDC motor dan skema rangkaian controller

(Sumber : <http://letsmakerobots.com/node/2876> )

### 2.1.1 BLDC Hub Motor

Perkembangan teknologi BLDC motor serta berbagai keunggulannya dibandingkan jenis motor lain membuat aplikasi jenis motor ini menjadi semakin luas. Di sektor transportasi khususnya, tidak hanya sepeda listrik yang memanfaatkan keunggulan motor ini namun juga *scooter*, *solar cars*, dan banyak mobil listrik.

Untuk aplikasi penggunaan pada sektor transportasi, modifikasi banyak dilakukan pada perkembangannya dan kini muncul tipe konstruksi baru dari BLDC motor yaitu BLDC Hub Motor. Sesuai dengan namanya, BLDC Hub Motor digunakan dan dipasang langsung pada bagian Hub sehingga berfungsi pula sebagai roda biasa pada umumnya

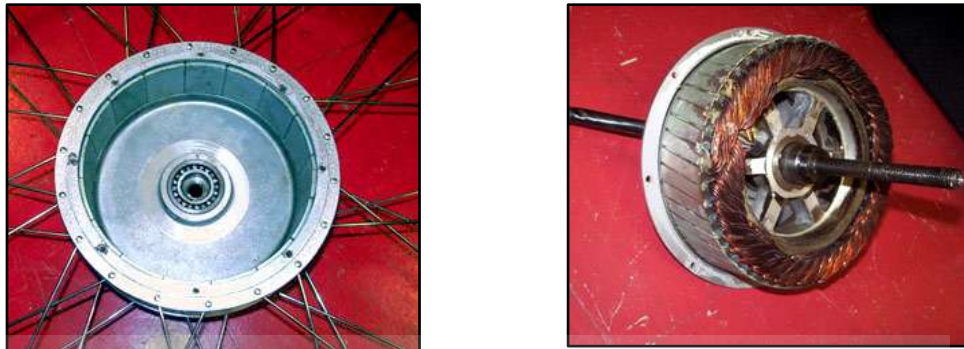


Gambar 2.2 BLDC Hub Motor pada sepeda listrik

Konstruksi BLDC Hub Motor merupakan *inverse* atau kebalikan dari konstruksi BLDC motor yang biasa. Perbedaannya terdapat pada posisi rotor dengan stator yang ditukar. Bagian rotor dari BLDC Hub Motor sama dengan BLDC biasa yaitu berupa *permanent magnet* dengan variasi jumlah kutub yang beragam namun letaknya berbeda. Apabila pada BLDC biasa posisi rotor ada didalam armature dan langsung terhubung ke poros, pada BLDC Hub Motor letak rotor ada diluar dan berperan sebagai armature motor itu sendiri. Karena posisinya yang berada diluar, rotor dapat langsung dihubungkan ke velg atau rim.

Ada dua jenis tipe BLDC Hub Motor secara umum yaitu Hub motor dengan dan tanpa gear. BLDC Hub Motor dengan gear biasanya menggunakan susunan planetary gear sebagai sistem transmisi dari motor menuju hub. Sementara BLDC Hub Motor tanpa gear dihubungkan langsung.





Gambar 2.3 Konstruksi rotor dan stator BLDC Hub Motor tanpa gear

(Sumber : <http://www.ebikes.ca/hubmotors.shtml> )



Gambar 2.4 Konstruksi stator dan rotor pada planetary geared hub motor.

(Sumber : <http://www.ebikes.ca/hubmotors.shtml> )

Konstruksi BLDC Hub Motor tanpa gear disebut *Direct-drive transmission* karena tidak diperlukan lagi sistem transmisi untuk menyalurkan daya mekanis dari motor menuju roda. Hal ini membuat RPM di roda sama dengan di motor dan juga efisiensi kerja di roda sama dengan di motor karena karakter motor yang memiliki torsi besar di RPM rendah sehingga tidak memerlukan transmisi untuk menghasilkan torsi besar.

## 2.2 Baterai Lithium Ion

Lithium-ion battery merupakan tipe baterai *rechargeable* dimana ion lithium bergerak dari kutub negative menuju kutub positif selama proses discharge atau pemakaian dan akan mengalami hal sebaliknya ketika proses charging atau pengisian. Sifat kimia, performa, harga dan faktor safety berbeda-beda diantara tipe baterai lithium.

Penggunaan baterai lithium saat ini menjadi hal umum di dunia terutama di sektor *consumer electronics*. Jenis baterai *rechargeable* ini sangat populer di dunia karena karakter *energy densities* yang baik, tidak ada *memory effect*, dan hanya terjadi sedikit *energy losses* ketika baterai disimpan.



Gambar 2.5 Beberapa pack baterai lithium-ion untuk alat-alat elektronik

(Sumber : <http://techmix-blog.blogspot.com/2012/03/>)

Selain banyak digunakan di sektor *consumer electronics*, Lithium battery juga banyak digunakan di bidang militer, mobil listrik, dan aplikasi pesawat terbang. Riset untuk lebih mengembangkan teknologi baterai ini berfokus pada hal peningkatan *energy density*, daya tahan, biaya produksi, dan keamanan.

Energy density dari lithium-ion battery lebih besar dua kali lipat dari batere standar nickel-cadmium dan masih ada potensi untuk ditingkatkan di masa depan. Karakteristik discharge ketika diberi beban sangatlah baik dan memiliki perilaku yang sama dengan nickel-cadmium. Apabila kembali dibandingkan dengan batere nickel-cadmium yang umum digunakan sebelumnya, besarnya cell voltage batere lithium-ion yaitu 3.6 volt per cell membuat batere ini dapat digunakan hanya dalam satu cell untuk keperluan alat-alat elektronik sementara batere nickel cadmium membutuhkan jumlah 3 kali lebih banyak karena nilai voltage per cell hanya 1.2 volt per cell.

Baterai Lithium-ion merupakan jenis low-maintenance battery yang merupakan sebuah keuntungan karena tidak terdapat pada jenis baterai lainnya. Tidak ada memory effect dan tidak memerlukan perlakuan *recycle energy* untuk memperpanjang *lifetime*. Ketika terbakar, baterai ini juga memberikan dampak yang lebih sedikit.

Tabel 2.1. Kelebihan dan kerugian baterai lithium-ion

Kelebihan	Kekurangan
Energy density besar	Membutuhkan electronically circuit protection
Tidak perlu charging lama saat baterai pertama kali digunakan. Cukup charging regular.	Terjadi aging atau penuaan sejak selesai diproduksi
Low-self discharge. Kurang dari setengah dari nickel-based battery	Proses distribusi baterai yang ketat ketika dalam jumlah besar
Low maintenance	Mahal untuk diproduksi. 40% lebih mahal dari nickel-based battery
Dapat mengeluarkan arus discharge yang besar untuk alat-alat seperti power tools	Komposisi kimia dapat berubah pada kondisi tertentu

Diluar berbagai keunggulannya tersebut, beberapa kelemahan juga dimiliki oleh baterai ini yaitu baterai ini tergolong rapuh secara fisik dan membutuhkan *electronically circuit protection* eksternal untuk menjaganya tetap beroperasi secara aman.

*Circuit protection* ini berperan dalam menjaga dan membatasi nilai tegangan aman maksimal ketika proses charging serta menjaga dan membatasi nilai tegangan aman minimal ketika proses discharging. Fitur lain dalam *circuit protection* yaitu memonitor temperatur setiap cell untuk mencegahnya berada pada temperatur ekstrem.

Dari variable arus, maksimum charge dan discharge baterai di setiap *pack* dibatasi antara 1C dan 2C. Dengan tindakan pencegahan melalui *circuit protection* ini secara teoretikal kemungkinan penggunaan baterai lithium-ion sudah cukup aman.

Aging atau penuaan baterai adalah salah satu masalah yang belum teratasi oleh teknologi baterai ini. Semenjak selesai proses manufaktur dan keluar pabrik, baterai ini sudah memulai proses penuaannya sendiri. Penurunan besar kapasitas baterai akan dimulai setahun setelah baterai diproduksi dan akan terus menurun sepanjang waktu. Beberapa manufaktur melakukan klaim waktu dua tahun hingga tiga tahun semenjak proses produksi bahwa baterai lithium-ion sudah tidak layak meskipun hanya disimpan dan belum sekalipun digunakan.

Secara berkala, manufacturer baterai lithium-ion melakukan improvement untuk meningkatkan kualitas baterai. Kombinasi unsur kimia baru diperkenalkan hampir setiap enam bulan sekali dan dengan cepatnya hal tersebut berjalan sangat sulit untuk menilai seberapa baik *lifetime* baterai ini.

Penyimpanan pada temperatur rendah memperlambat proses penuaan baterai lithium-ion. Produsen baterai menganjurkan temperature penyimpanan pada 15°C atau 59 F. Baterai juga perlu dilakukan charging 40 % kapasitasnya selama proses penyimpanan.

### 2.2.1 Baterai LiFePO4

Baterai Li-ion memiliki beragam jenis yang tersedia dan telah digunakan di berbagai alat. Jenis Li-ion battery dibedakan berdasarkan material katode yang digunakan dalam baterai tersebut. Material katode inilah yang memberikan karakter unik pada setiap jenis baterai. Sementara material anode pada umumnya sama pada semua baterai li-ion yaitu terbuat dari karbon dan beberapa elektrolit sebagai tambahan. Salah satu jenis li-ion battery yang tersedia yaitu jenis LiFePO4 battery.

Tabel 2.2 Spesifikasi baterai tipe LiFePO4

Spesifikasi Baterai LiFePo4	
Min.discharge voltage (per cell)	2.8 Volt
Working voltage (per cell)	3.0-3.3 Volt
Max.charge voltage (per cell)	3.6 Volt
Volumetric energy density	220 Wh/dm <sup>3</sup> (790 kJ/dm <sup>3</sup> )
Gravimetric energy density	>90 Wh/kg (>320 J/g)
Cathode composition (massa)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 90% C-LiFePO4, grade Phos-Dev 12</li> <li>- 5% Carbon EBN</li> <li>- 5%PVDF</li> </ul>
Cell configuration	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Carbon coated aluminum current collector 15</li> <li>- 1.54 cm<sup>2</sup> cathode</li> <li>- Electrolyte : EC-DMC 1-1 LiClO<sub>4</sub> 1M</li> <li>- Anode : Graphite/Hard Carbon with intercalated Metallic lithium</li> </ul>

Sesuai dengan namanya, baterai ini menggunakan komposisi material LiFePO4 pada katode. Meskipun merupakan jenis baterai turunan dari li-ion, karakter baterai ini memiliki perbedaan yang signifikan. Baterai LiFePO4 memiliki *cycle life* yang lebih panjang dibandingkan jenis li-ion lainnya. Penggunaan unsure *phosphates* sebagai

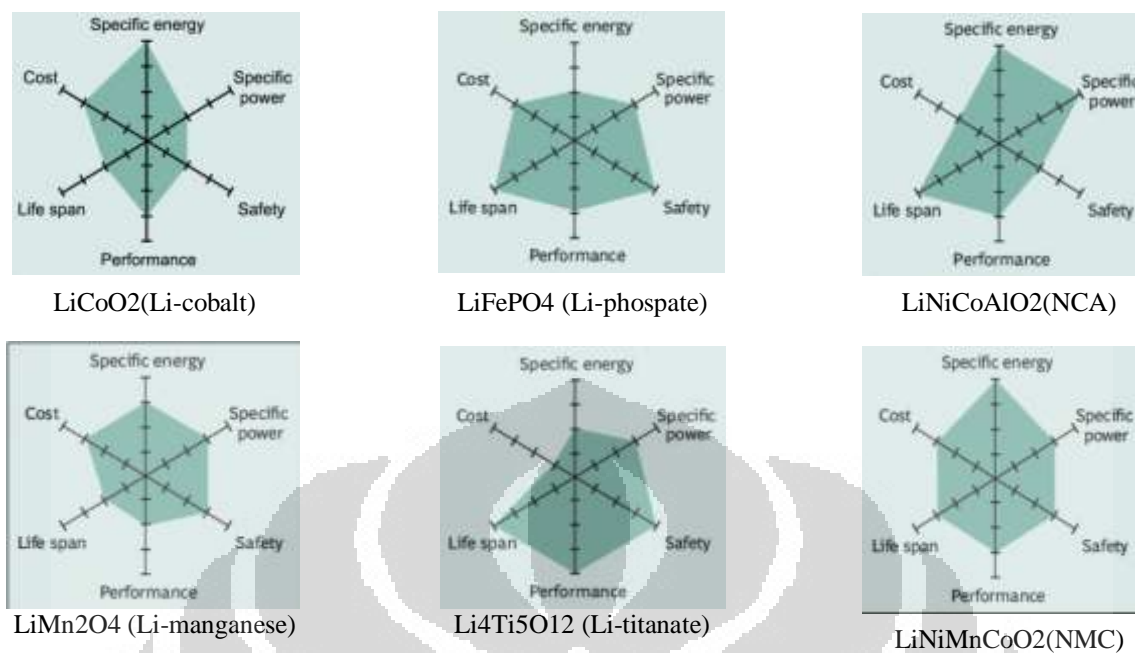
pengganti unsure *cobalt* menurunkan biaya produksi dan juga lebih ramah lingkungan. Baterai LiFePO<sub>4</sub> memiliki *peak-current* atau *peak-power* lebih tinggi dibandingkan LiCoO<sub>2</sub>.



Gambar 2.6 Baterai LiFePO<sub>4</sub>

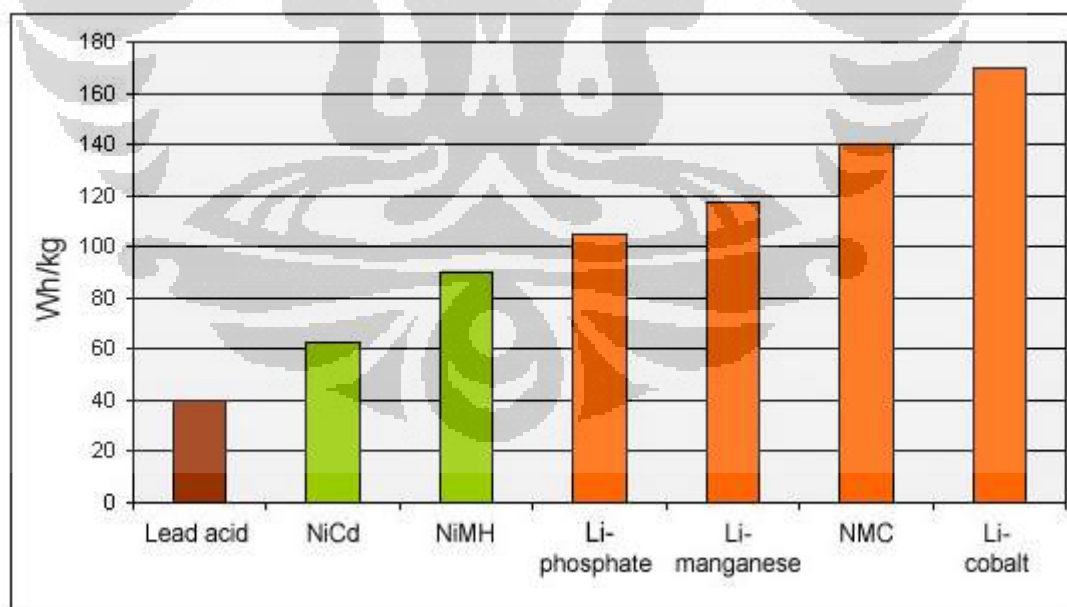
(Sumber : [http://vpower.hk/Pro/LiFePO4\\_36V\\_10AH.php](http://vpower.hk/Pro/LiFePO4_36V_10AH.php) )

*Energy density* sebuah Baterai LiFePO<sub>4</sub> baru lebih rendah 14 % dibandingkan baterai LiCoO<sub>2</sub> baru. Selain itu, banyak produk Baterai LiFePO<sub>4</sub> memiliki *discharge-rate* lebih rendah daripada *lead-acid battery* atau LiCoO<sub>2</sub> *battery*. Dalam hal *self-discharge* Baterai LiFePO<sub>4</sub> lebih unggul daripada LiCoO<sub>2</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> atau Li-polymer karena penurunan *energy density* berjalan lebih lambat sehingga memperpanjang *lifetime* baterai.



Grafik 2.1 Perbandingan karakter LiFePO<sub>4</sub> dengan jenis Li-Ion lain.

( Sumber : [http://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion) )



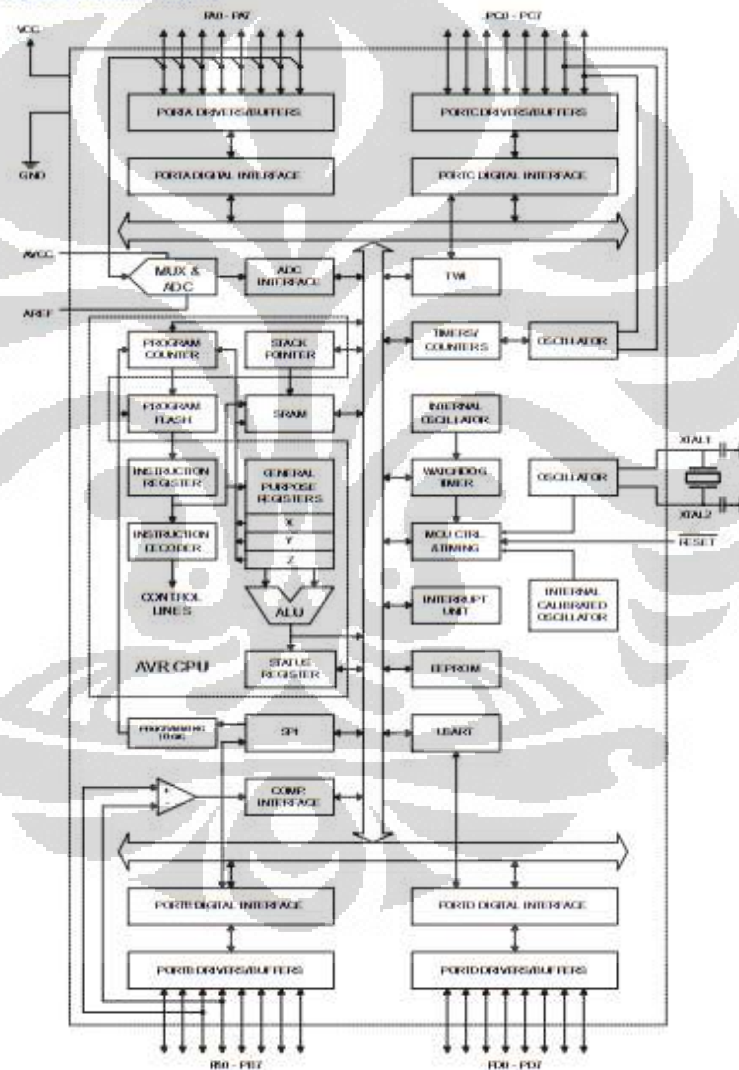
Grafik 2.2 Perbandingan energy density pada beberapa keluarga li-ion

( Sumber : [http://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](http://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion) )

## 2.3 Mikrokontroler ATmega16

ATmega 16 adalah *low-power* CMOS 8-bit mikrokontroler yang dikembangkan oleh Atmel berbasis pembaruan AVR dan menggunakan arsitektur RISC. ATmega16 mampu mengeksekusi instruksi besar hanya dengan satu siklus clock. Dengan output 1 MIPS per MHz ATmega 16 menyediakan fasilitas bagi desainer untuk mengoptimasi konsumsi daya dengan kecepatan proses.

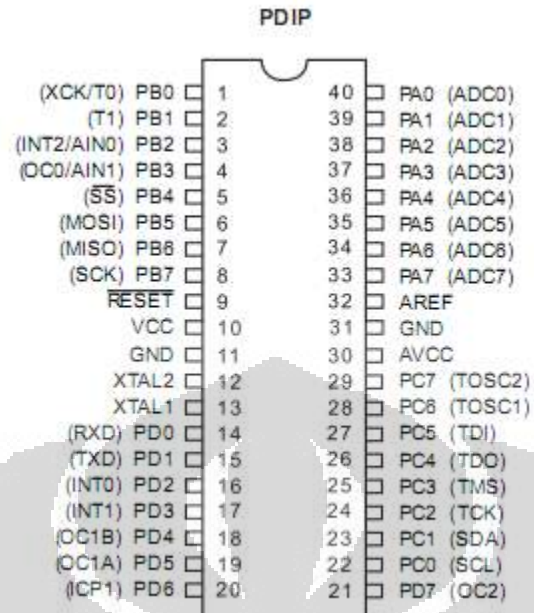
Figure 2. Block Diagram



Gambar 2.7 Blok diagram ATmega16

( Sumber : AVR ATmega16 datasheet )





Gambar 2.8 Pin Out diagram ATmega16

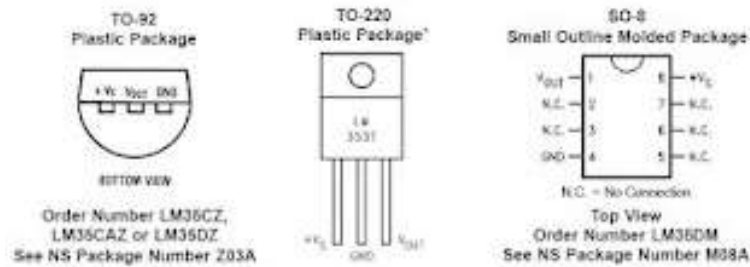
( Sumber : AVR ATmega16 datasheet )

## 2.4 Sensor-sensor

Sensor adalah alat yang mengukur besar kuantitas fisik dan mengubahnya menjadi sebuah sinyal yang dapat dilihat oleh seorang observer atau sebuah instrument elektronik. Sensor menerima dan merespon sinyal yang dibangkitkan dari sumber. Jenis sensor sangat beragam bergantung pada fungsi dan variabel yang di ukur.

### 2.4.1 Sensor Suhu

Alat yang digunakan sebagai pendeteksi besaran suhu pada penelitian ini adalah sensor suhu LM 35 yang terkemas dalam bentuk *Integrated Circuit* (IC). Sensor ini memiliki output tegangan yang linear sebanding dengan perubahan suhu. Sensor ini berfungsi sebagai pengubah dari besaran fisis suhu ke besaran tegangan yang memiliki koefisien sebesar 10 mV. IC LM 35 ini tidak memerlukan pengkalibrasian atau peyetelan dari luar karena ketelitiannya mencapai seperempat derajat Celcius pada suhu kamar. Jangkauan sensor ini mulai dari -55°C sampai dengan 150 °C. LM 35 ini dapat dialiri arus 60 mA dari power supply sehingga panas yang ditimbulkan sendiri sangat rendah didalam suhu ruangan. Selain akurasi yang tinggi, LM 35 juga mempunyai keluaran impedansi yang rendah dan linearitas yang tinggi.



Gambar 2.9 Bentuk dan konfigurasi pin IC LM35

( Sumber : <http://elektronika-dasar.com/komponen/sensor-tranducer/sensor-suhu-ic-lm35/> )

Karakteristik dari sensor suhu LM35 ini adalah :

1. Kalibrasi dalam satuan derajat Celcius.
2. Linearitas +10mV/°C.
3. Akurasi 0,5 °C pada suhu ruang.
4. Jangkauan suhu -55 °C sampai +150 °C.
5. Bekerja pada tegangan 4-30 Volt.
6. Arus yang dibutuhkan kurang dari 60 mA.
7. Memiliki impedansi keluaran yang rendah yaitu 0.1 W untuk beban 1 mA.

Sensor LM35 bekerja dengan mengubah besaran suhu menjadi besaran tegangan. Tegangan ideal yang keluar dari LM 35 mempunyai perbandingan 100°C setara dengan 1 Volt. Persamaan untuk menghitung nilai  $V_{out}$  adalah sebagai berikut :

$$V_{out} = Suhu \times 10 \text{ mV} \quad (2.1)$$

## BAB III

### Metode Penelitian

#### 3.1 Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental dengan rangkaian urutan kegiatan sebagai berikut:

- Memilih subjek penelitian
- Melakukan studi literatur
- Melakukan pembuatan sistem kelistrikan
- Melakukan instalasi alat uji
- Melakukan eksperimen pengujian

Pengujian dilakukan dalam beberapa mode :

1. Membandingkan performa mobil listrik yang diwakili oleh variable arus, tegangan, daya output, temperature, kecepatan, RPM motor dan akselerasi setiap waktu pada 4 kondisi jalan yaitu jalan lurus menanjak dengan elevasi 20 persen, jalan menikung menanjak, jalan lurus menurun, dan jalan lurus mendatar.
  2. Mengambil data performa mobil listrik pada 1 putaran track dengan kondisi jalan yang bervariasi.
  3. Menentukan performa mobil listrik dengan mode *top speed*. Pada mode ini mobil listrik berjalan hingga mencapai kecepatan maksimal pada jalan lurus mendatar kemudian data variable perhitungan dicatat dan di plot.
- Mengumpulkan dan mengolah data-data yang diperoleh serta mengevaluasinya
  - Mempresentasikan hasil penelitian dalam bentuk grafik-grafik dan kemudian melakukan analisis

### 3.2 Alat Uji

Peralatan uji yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Mobil listrik yang digunakan merupakan mobil listrik prototipe Garuda Keshava dengan spesifikasi :

Tabel 3.1 Spesifikasi mobil listrik

Dimensi	:	273cm x80cm x80cm (Panjang x lebar x tinggi )
Chassis	:	Aluminum Alloy
Berat kosong	:	60 kg
Sistem transmisi	:	Direct-drive
Mesin	:	Brushless DC Motor 350 Watt 36 Volt
Sumber energi	:	Lithium LiFePO4 battery 10 Ah
Kecepatan maksimal	:	36 km / jam

2. Data Logger digunakan untuk mendapatkan nilai variabel pada setiap waktu.

- Mikrokontroller

Untuk melakukan pembacaan data digunakan sebuah mikrokontroller Atmega 16 produksi Atmel



Gambar 3.1 Modul mikrokontroller Atmega16

( Sumber : AVR ATMega16 datasheet )

- Kecepatan

Data ini dicatat dengan menggunakan speedometer Cat Eye yang umum dipakai di sepeda.



Gambar 3.2 Odometer Cateye

( Sumber : <http://www.trexcycle.com/products;7;35;Speedometer-Cat-Eye-Velo-5.html> )

- Elevasi

Untuk mendapatkan data elevasi pada setiap track yang dilalui oleh mobil listrik dilakukan plot melalui satelit melalui website [geocontext.org](http://geocontext.org). Dari penggambaran melalui satelit ini dapat diketahui perbedaan ketinggian secara pendekatan.



Gambar 3.3 Contoh data elevasi yang dihasilkan via satelit dari [geocontext.org](http://geocontext.org)

- Konsumsi energi, Arus dan Tegangan

Alat yang digunakan adalah watt meter merek Turnigy. Dari alat ini nilai ketiga parameter tersebut dapat diketahui setiap detiknya sehingga memberikan data yang *real-time*. Parameter konsumsi energi dapat diketahui setiap saat dalam satuan Watt-hour (Wh) yang kemudian dikalkulasikan dengan jarak tempuh sehingga didapat variabel konsumsi energi dalam satuan km/kWh.



Gambar 3.4 Turnigy watt-meter

( Sumber : [http://www.rcworld.co.za/product\\_sub\\_view.php?proid=19](http://www.rcworld.co.za/product_sub_view.php?proid=19) )

3. Multitester merk Aaron.
4. Stopwatch digital.
5. Ammeter analog.

### 3.3 Skematik Pengujian

Sebelum pengujian dilakukan, alat uji berupa sensor-sensor dirangkai dan diberikan program ke dalam mikrokontroller. Penggunaan mikrokontroller dapat memberikan data akurat pada selang waktu yang diinginkan pada setiap mode yang dijalankan.

Komponen sensor dan perangkat keras lainnya dibagi kedalam beberapa kategori :

1. Pengolah data.

Komponen terdiri dari modul mikrokontroller ATmega 16 .

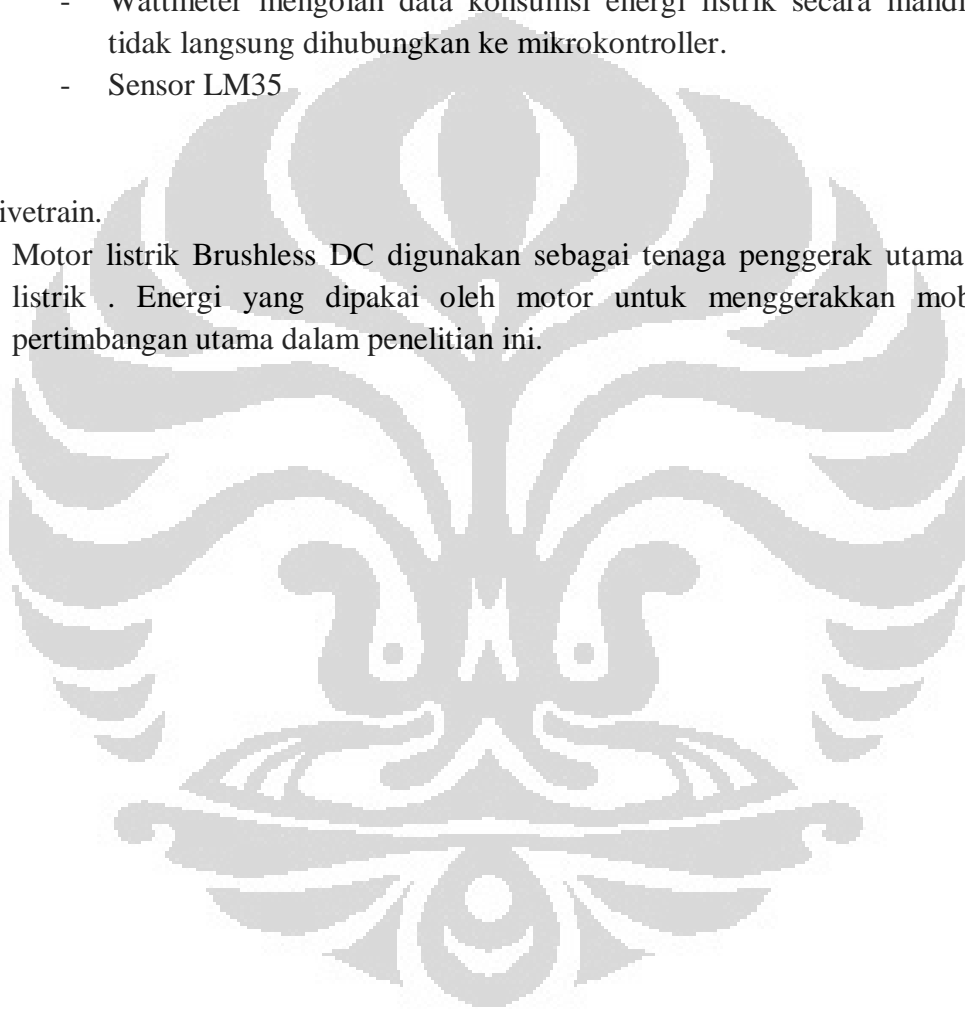
## 2. Sensor.

Data digital yang masuk ke mikrokontroller dihasilkan dari data analog yang dibaca oleh masing-masing sensor.

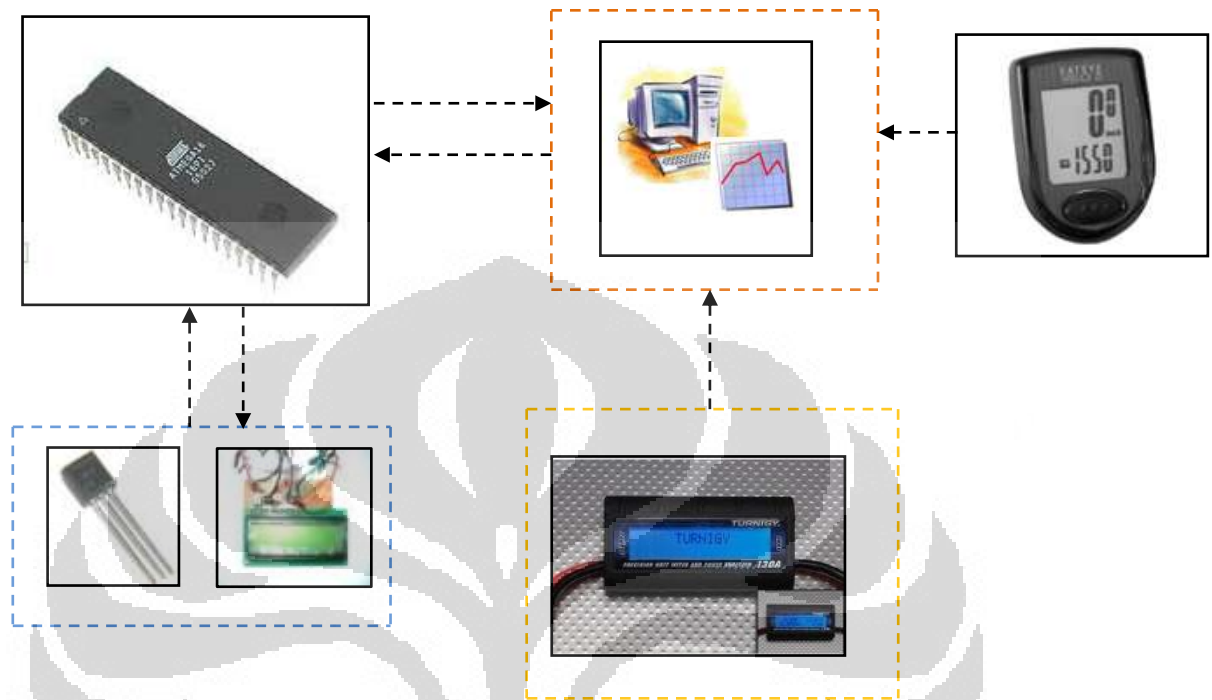
- Speedometer Cat Eye Velo 8 dengan menggunakan prinsip kerja *optocoupler* membaca putaran mesin yang juga merupakan putaran roda untuk membaca variable velocity dan RPM motor listrik.
- Wattmeter mengolah data konsumsi energi listrik secara mandiri sehingga tidak langsung dihubungkan ke mikrokontroller.
- Sensor LM35

## 3. Drivetrain.

Motor listrik Brushless DC digunakan sebagai tenaga penggerak utama dari mobil listrik. Energi yang dipakai oleh motor untuk menggerakkan mobil menjadi pertimbangan utama dalam penelitian ini.



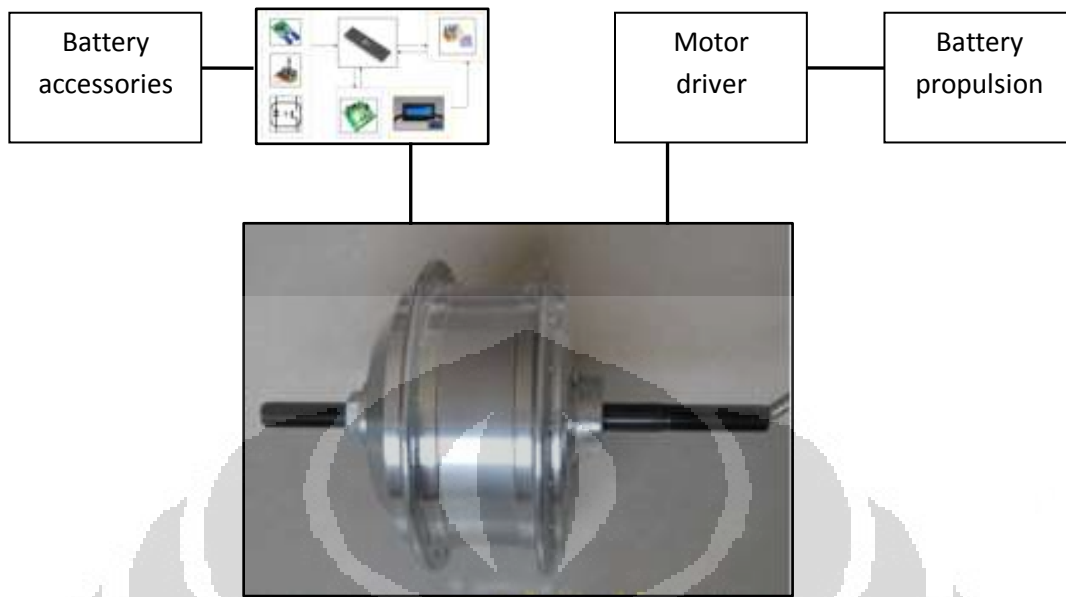
### 3.3.1 Susunan Alat



Gambar 3.5 Susunan alat perekam data

Pada gambar rangkaian diatas digunakan mikrokontroler AVR ATmega16 sebagai central processing unit dalam penelitian ini guna didapatkan system serta data yang diinginkan. Program dalam bahasa C dimasukkan kedalam mikrokontroler melalui compiler Codevision AVR.





Gambar 3.6 Skema rangkaian keseluruhan sistem elektrik

### 3.4 Prosedur Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dilakukan dalam beberapa mode :

1. Membandingkan performa mobil listrik yang diwakili oleh variable arus, tegangan, daya output, temperature, kecepatan, RPM motor dan akselerasi setiap waktu pada 4 kondisi jalan yaitu jalan lurus menanjak dengan elevasi 20 persen, jalan lurus menurun, jalan lurus mendatar, dan jalan menikung.
2. Mengambil data performa mobil listrik pada 1 putaran track dengan kondisi jalan yang bervariasi.
3. Menentukan performa motor listrik dengan mode *top speed*. Pada mode ini mobil listrik berjalan hingga mencapai kecepatan maksimal pada jalan lurus mendatar kemudian data variable perhitungan dicatat dan di plot.

#### 3.4.1 Prosedur Pengujian Performa Mobil Listrik Pada Beberapa Kondisi Jalan

Pengambilan data pada mode ini terbagi kedalam 4 kondisi jalan berbeda namun dengan metode yang sama. Adapun kondisi jalan tersebut sebagai berikut :

- a) Jalan lurus mendatar
- b) Jalan lurus menanjak
- c) Jalan lurus menurun
- d) Jalan lurus datar menikung

1. Kondisi pengujian

- Beban kendaraan : 60 kg
- Beban pengendara : 55 kg
- Jarak tempuh : 100 meter

2. Cara Uji :

- Mobil listrik dipasangkan sensor suhu bersama mikrokontroller dan LCD display.
- Alat ukur energi, arus dan tegangan yaitu Watt-meter di-*reset* terlebih dahulu hingga menunjukkan nilai nol.
- Mobil listrik dijalankan hingga mencapai jarak tempuh yang ditentukan.
- Putaran tuas throttle bertahap dan kontinu dari nol hingga bukaan penuh sebelum mencapai jarak tempuh maksimal.
- Segala data yang didapatkan baik dari mikrokontroller maupun watt-meter dicatat.
- Percobaan dilakukan kembali dengan kondisi jalan yang berbeda dari sebelumnya.

### 3.4.2 Prosedur Pengujian Performa Mobil Listrik Pada Satu Putaran Lintasan

1. Kondisi pengujian

- Beban kendaraan : 60 kg
- Beban pengendara : 55 kg
- Jarak tempuh : 800 meter ( satu lintasan ).

## 2. Cara Uji :

- Mobil listrik dipasangkan sensor suhu bersama mikrokontroller dan LCD display.
- Alat ukur energi, arus dan tegangan yaitu Watt-meter di-*reset* terlebih dahulu hingga menunjukkan nilai nol.
- Mobil listrik dijalankan hingga mencapai jarak tempuh yang ditentukan.
- Kondisi throttle tidak ditentukan namun sesuai keperluan dan kondisi jalan yang dilalui.
- Segala data yang didapatkan baik dari mikrokontroller maupun watt-meter dicatat.

### 3.4.3 Prosedur Pengujian Performa Mobil Listrik Dengan Mode *Top-speed*.

#### 1. Kondisi pengujian

- Beban kendaraan : 60 kg
- Beban pengemudi : 55 kg
- Kecepatan maksimal : 40 km/jam

#### 2. Cara Uji :

- Mobil listrik dipasangkan sensor suhu bersama mikrokontroller dan LCD display.
- Alat ukur energi, arus dan tegangan yaitu Watt-meter di-*reset* terlebih dahulu hingga menunjukkan nilai nol.
- Mobil listrik dijalankan dengan kecepatan maksimal 40 km/jam..
- Putaran tuas throttle bertahap dan kontinu dari nol hingga bukaan penuh.
- Pengambilan data dihentikan ketika mobil listrik telah mencapai kecepatan maksimalnya.
- Segala data yang didapatkan baik dari mikrokontroller maupun watt-meter dicatat.

## Bab IV

### Pengolahan Data dan Analisis

#### 4.1 Karakteristik Motor BLDC

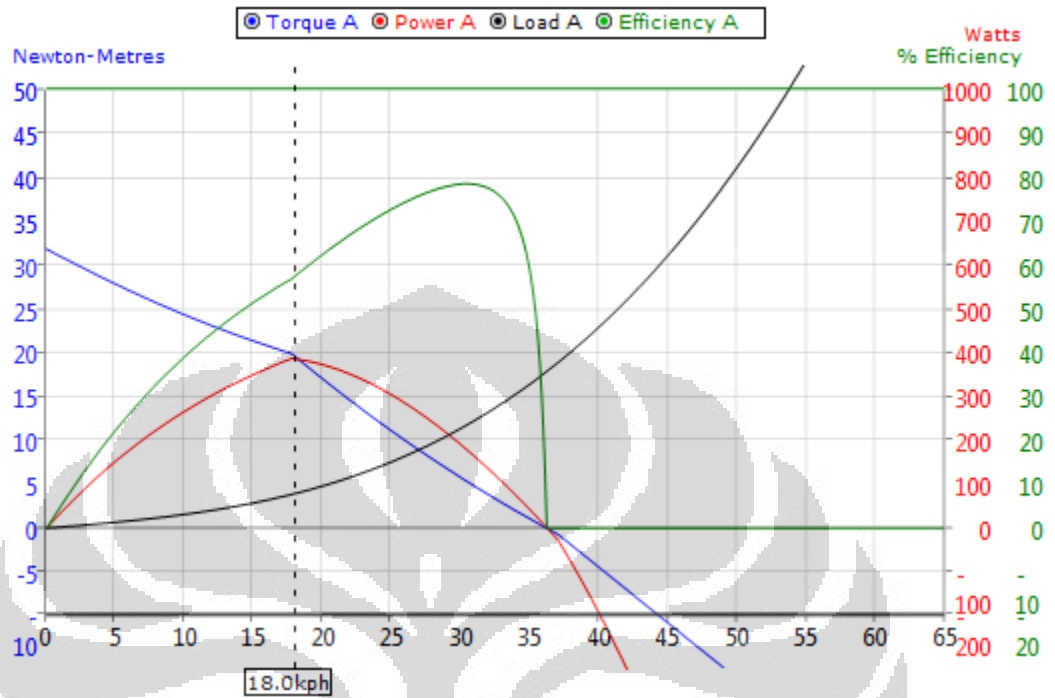
Setiap motor listrik memiliki karakteristiknya masing-masing terhadap beban yang diberikan. Karakteristik tersebut sangat khas sehingga setiap jenis motor listrik mempunyai karakteristik berbeda-beda yang menentukan keunggulan dan kelemahan motor tersebut apabila dibandingkan dengan jenis motor listrik lainnya.

Karakteristik motor tersebut dapat dibaca dengan membandingkan beberapa variable seperti torsi dan RPM motor melalui pengujian dengan dynamometer. Beberapa manufaktur motor listrik telah melakukan pengujian tersebut dan menyediakan data hasil pengujian dalam paket penjualannya, namun beberapa tidak menyertakan sehingga perlu diuji sendiri.

Untuk mengetahui karakteristik motor melalui simulasi perlu diketahui beberapa variabel utama yang harus sama dengan sebenarnya baik dalam kuantitas ataupun nilainya untuk kemudian dimasukkan sebagai data input ke dalam software. Simulasi ini menggunakan simulator yang dikembangkan oleh ebike.ca dimana berbagai macam dan jenis hubmotor telah diuji coba dalam berbagai kondisi. Variabel tersebut yaitu :

1. Motor listrik yang digunakan memiliki tegangan operasional 36 volt dengan jumlah coil atau kumparan kawat berjumlah 18 buah dengan nilai resistance internal nya
2. Tegangan baterai pada kondisi open-circuit 38 volt dan nilai internal resistance baterai 0.2 ohm sementara kapasitas baterai tidak mempengaruhi.
3. Arus maksimal yang dibatasi oleh kontroler adalah 20 Ampere dan nilai internal resistance nya 0.03 ohm.
4. Diameter roda adalah 20 inch.
5. Berat kendaraan termasuk pengendara yaitu 120 kg.
6. Kemiringan jalan 0%.

7. Buka throttle 100 %.



Grafik 4.1 performance curve hasil simulasi melalui <http://ebike.ca/simulator>

Pada grafik performance curve diatas, data parameter motor didapatkan pada titik dimana nilai daya maksimal tercapai.

Tabel.4.1 Parameter output dari grafik performance curve motor.

Grafik	
Torsi Motor	19.5 N-m
Daya Output Motor	385 Watt
Load	80 Watt
Efficiency	57.7%
Electrical	
Arus Motor	19.6 Ampere
Tegangan baterai	34.1 Volt
Performa	
Acceleration	0.509 m/s <sup>2</sup>
Konsumsi energi	37 Wh/ km

Dari gambar grafik *performance curve* hasil simulasi pada motor listrik diketahui bahwa karakter motor listrik yang termasuk dalam jenis Brushless DC Motor memiliki nilai torsi yang besar mulai dari putaran rendah. Torsi maksimal yang dimiliki adalah 31.7 N-m. Grafik torsi terhadap putaran mesin cukup linear dan arahnya saling berbanding terbalik dimana torsi semakin besar pada putaran rendah dan semakin kecil pada putaran tinggi.

Performa daya output dari motor listrik diwakili oleh kurva berwarna merah. Terlihat dari grafik bahwa daya bernilai nol ketika rpm motor juga nol, seiring meningkatnya rpm motor maka daya output juga terus meningkat dan akan kembali menurun hingga bernilai nol kembali ketika motor listrik mencapai kecepatan no-load nya (kecepatan saat tanpa pembebanan) yaitu 36,2 km/jam. Menurut literatur, daya maksimum yang mampu dihasilkan motor bergantung pada desain kontrolernya. Apabila arus yang melewati motor listrik tidak dibatasi oleh kontroler maka daya maksimum akan tercapai pada range 40-50 % dari kecepatan no-load motor tersebut sedangkan apabila arus motor dibatasi oleh kontroler (dalam penelitian ini 20 Ampere maksimal) maka daya maksimal akan dihasilkan ketika besar arus tersebut melewati kontroler. Daya maksimum motor listrik yaitu 385 Watt tercapai pada kecepatan mobil 18 km/jam yang disebabkan karena arus maksimum yang diizinkan controller yaitu 20 Ampere telah tercapai pada titik ini sehingga daya output perlahan akan menurun menuju nol. Hal ini sesuai dengan spesifikasi kontroler yang digunakan yaitu 20 Ampere.

Kurva hijau mewakili besarnya efisiensi motor listrik. Efisiensi motor listrik ini merupakan rasio perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh motor untuk menggerakkan kendaraan dengan daya yang diberikan oleh baterai. Efisiensi ini dipengaruhi oleh internal resistance dari motor dan kontroler namun tidak dipengaruhi oleh internal resistance dari baterai. Efisiensi terus meningkat dari nol hingga titik maksimal yang dicapai yaitu 78,6% pada kecepatan 30,7 km/jam. Kemudian efisiensi menurun menuju nol pada kecepatan maksimum (no-load). Efisiensi pada kecepatan maksimum bernilai nol karena kondisi motor telah memasuki batas stall-nya dimana tidak ada daya input yang diberikan oleh baterai meskipun kecepatan motor konstan.

Hal tersebut sangat penting diketahui dalam menentukan seberapa besar efektifitas arus listrik yang diberikan dari baterai menuju motor untuk menggerakkan motor listrik yang kemudian akan menggerakkan kendaraan.

#### 4.2 Penurunan Persamaan Akselerasi Secara Analitis

Berdasarkan jurnal Ashida, T., Tanaka, D., and S. Minami, *A Method to Determine the Velocity Profiles from the Power Consumption of Electric Vehicles*, *Journal of Asian Electric Vehicles*, Vol.5, No.2, 2007 besarnya nilai akselerasi dari mobil listrik ketika melaju pada kecepatan dan daya input motor tertentu dapat ditentukan secara analitis.

Persamaan konservasi energi pada motor listrik antara energi input berbanding dengan energi output yaitu :

$$\eta P = v(ma + kv^2 + L) \quad (4.1)$$

Dimana  $kv^2$  adalah koefisien hambatan udara,  $L$  adalah *running resistance* kendaraan yang berhubungan dengan *rolling-resistance* dan *inclination-resistance*.

Sementara itu, efisiensi pada motor DC biasanya dipengaruhi oleh losses pada kawat tembaga. Efisiensi didefinisikan dengan persamaan

$$\eta = \frac{P - I^2 r}{P} \quad (4.2)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (4.2) kedalam persamaan (4.1) maka dihasilkan persamaan

$$P = I^2 r + v(ma + kv^2 + L) \quad (4.3)$$

Persamaan (4.3) menunjukkan bahwa energi input dari baterai dikonversikan menjadi energi gerak kendaraan, akselerasi dan losses pada tembaga.

Dengan memasukkan persamaan *Back Electromotive Force*

$$F = \frac{K\alpha\Phi N}{R} I = KI \quad (4.4)$$

Dan persamaan gerak

$$F = ma + kv^2 + L \quad (4.5)$$

Ke dalam persamaan (4.3), maka didapatkan persamaan untuk menentukan besarnya akselerasi yang terjadi pada kecepatan dan daya input motor tertentu.

$$P = \frac{r}{K^2} (ma + kv^2 + L)^2 + v(ma + kv^2 + L) \quad (4.6)$$

$$a = \frac{+K\sqrt{v^2K^2+4rP^2}-(2krv^2+2rL+vK^2)}{2mr} \quad (4.7)$$

### 4.3 Pengaruh Medan Jalan pada Performa dan Konsumsi Energi Kendaraan Listrik

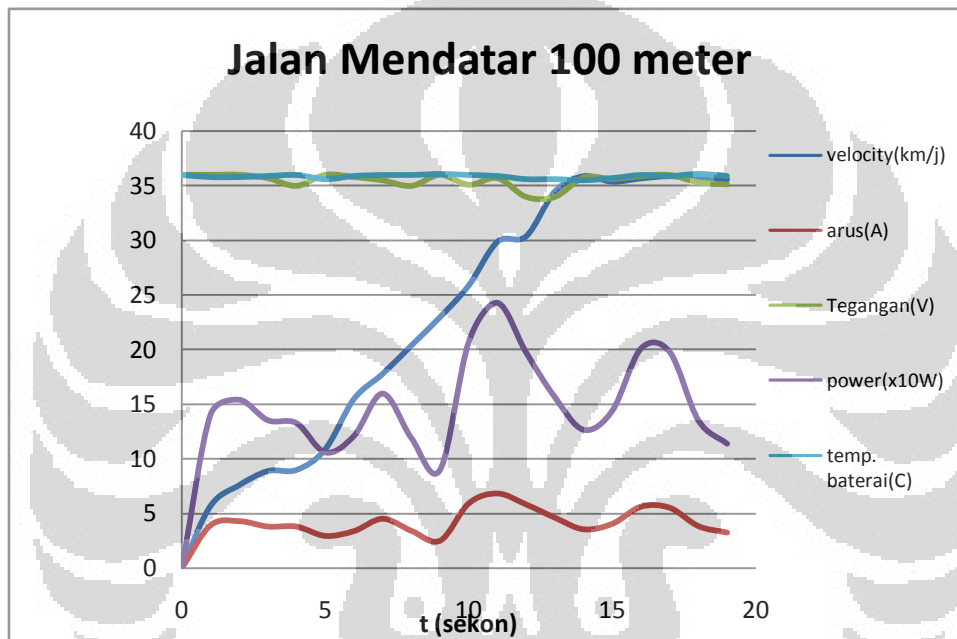
Pada mode percobaan ini, performa kendaraan diuji dengan cara berjalan menempuh track yang telah ditentukan sejauh 100 meter. Pada percobaan ini variabel jarak menjadi variable tetap sementara variable kecepatan, arus, tegangan, akselerasi, daya input motor dan temperature baterai menjadi variable bebas yang diteliti.

Dalam pengambilan data, perilaku pengendara dalam membuka putaran throttle dilakukan dengan cara yang khusus. Putaran throttle dibuka secara perlahan dan konstan dari putaran nol derajat hingga putaran maksimal sehingga laju penambahan arus listrik yang diberikan dari baterai menuju motor listrik diusahakan linear. Apabila putaran throttle telah mencapai maksimal, maka terus dipertahankan hingga jarak tempuh kendaraan mencapai 100 meter dan pengambilan data selesai dilakukan.



### 4.3.1 Jalan Lurus Mendatar ( Kemiringan Jalan $\pm 0^\circ$ )

Percobaan dilakukan dengan kondisi jalan aspal kondisi baik, temperatur permukaan jalan  $41^\circ\text{C}$ . Pengujian dilakukan beberapa kali dengan masing-masing percobaan menempuh jarak 100 meter. Berat kendaraan saat di timbang adalah 60 kg sementara berat pengemudi adalah 58 kg.



Grafik 4.2 nilai parameter pada jalan mendatar.

Tabel 4.2 Data performa pada jalan mendatar

T	v (m/s)	I ( Ampere)	V (volt)	P(Watt)	a (m/s <sup>2</sup> )
1	5.7	3.9	36	140.4	0.072559
2	7.6	4.28	36	154.08	0.063055
3	8.9	3.79	35.7	135.303	0.041442
4	9	3.79	35	132.65	0.039152
5	10.9	2.94	36	105.84	0.012268
6	15.5	3.38	35.8	121.004	0.001949
7	17.8	4.5	35.5	159.75	0.010813
8	20.4	3.4	35	119	-0.01136
9	23	2.5	36	90	-0.02582
10	25.9	5.9	35.1	207.09	0.005426
11	29.9	6.8	35.7	242.76	0.006821

<b>12</b>	30.4	5.8	34	197.2	-0.00552
<b>13</b>	34.5	4.6	34	156.4	-0.02055
<b>14</b>	35.9	3.54	35.76	126.5904	-0.02854
<b>15</b>	35.4	4.04	35.64	143.9856	-0.02423
<b>16</b>	35.7	5.6	35.88	200.928	-0.0119
<b>17</b>	35.9	5.5	35.98	197.89	-0.0128
<b>18</b>	35.7	3.83	35.32	135.2756	-0.02644
<b>19</b>	35.6	3.24	35.13	113.8212	-0.03118

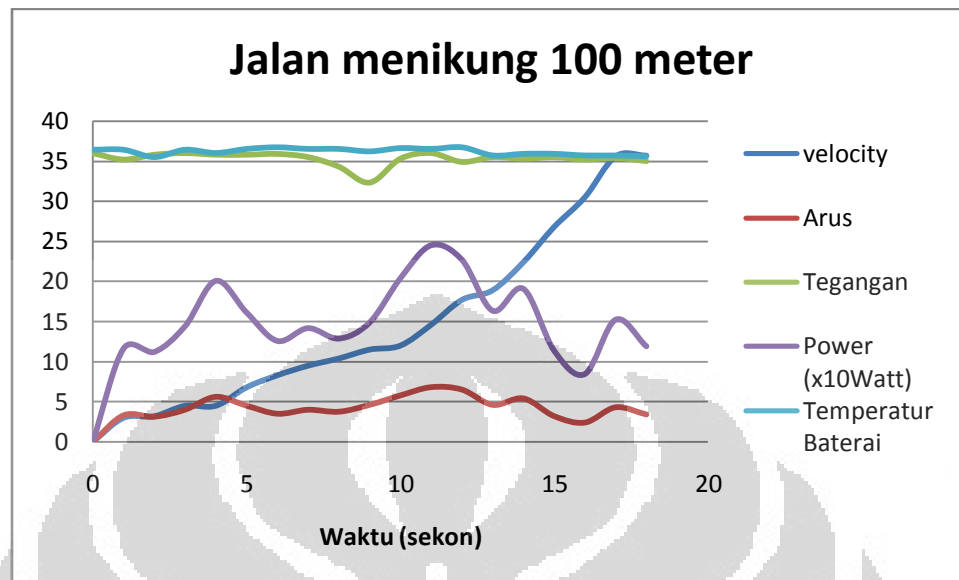
Dari data yang didapat diketahui bahwa mobil listrik berjalan dengan normal dengan daya tidak terlalu besar. Kecepatan maksimum dapat dihasilkan dalam waktu yang tidak terlalu lama dengan hanya menggunakan 70 % power motor listrik.

Dari grafik dapat dilihat bahwa kurva kecepatan bergerak naik dari kiri ke kanan yang berarti kecepatan terus bertambah dengan diberikannya daya listrik yang tergolong konstan pada motor. Arus yang diberikan berkisar antara 5 Ampere yang berarti hanya 25% dari potensi energi yang mampu diberikan kepada motor listrik. Hal ini sangat memungkinkan terjadi karena pada kasus jalan datar, beban akibat gaya tarik gravitasi sangat minimal sehingga hanya dibutuhkan energi seminim mungkin untuk melawan gaya berat dari kendaraan.

Grafik juga menunjukkan bahwa besar kecepatan terkadang stabil di suatu nilai tertentu atau berarti tidak ada akselerasi untuk sementara waktu meskipun daya listrik yang diberikan semakin meningkat. Hal ini berarti ada kerugian dalam penggunaan daya listrik yang dalam hal ini adalah variable arus.

Dengan jalan yang mendatar dan metode berkendara yang digunakan, konsumsi energi pada mode ini yaitu 0.79999 Watt-hour untuk jarak 100 meter yang ditempuh.

### 4.3.2 Jalan Datar Menikung (Kemiringan Jalan $\pm 0^\circ$ )



Grafik 4.3 nilai parameter pada jalan menikung.

Tabel 4.3 Data performa pada jalan menikung

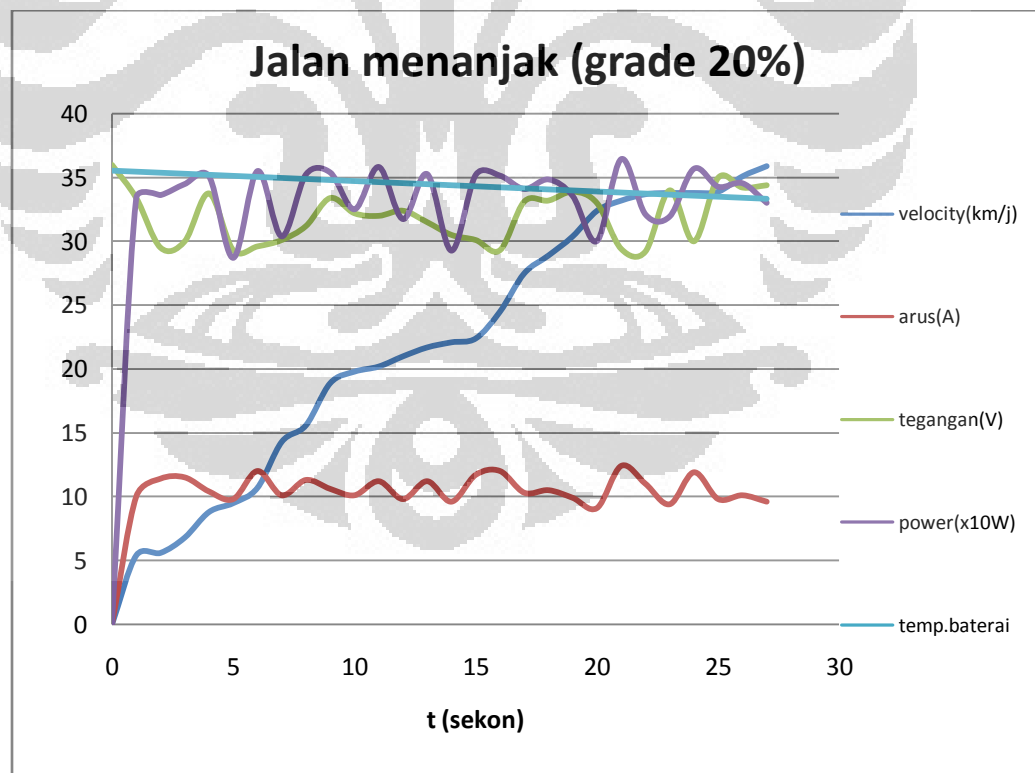
T	v (m/s)	V <sup>2</sup>	I ( Ampere)	V (volt)	Temp	P(x10 Watt)	a (m/s <sup>2</sup> )
0	0	0	0	36	36.4	0	0
1	3	9	3.3	35.2	36.4	11.616	0.087439
2	3.2	10.24	3.13	35.8	35.5	11.2054	0.081376
3	4.5	20.25	4	36	36.4	14.4	0.088686
4	4.5	20.25	5.6	35.8	36	20.048	0.125264
5	6.8	46.24	4.5	35.8	36.5	16.11	0.074758
6	8.3	68.89	3.5	35.9	36.7	12.565	0.039848
7	9.5	90.25	3.99	35.5	36.5	14.1645	0.041
8	10.4	108.16	3.75	34.3	36.5	12.8625	0.027932
9	11.5	132.25	4.6	32.3	36.2	14.858	0.032475
10	12	144	5.77	35.3	36.6	20.3681	0.056578
11	14.6	213.16	6.8	36	36.5	24.48	0.05885
12	17.7	313.29	6.5	34.9	36.7	22.685	0.036739
13	18.9	357.21	4.6	35.5	35.7	16.33	0.00878
14	22.4	501.76	5.4	35.3	35.9	19.062	0.008635
15	26.8	718.24	3.2	35.5	35.9	11.36	-0.02312
16	30.5	930.25	2.4	35.2	35.7	8.448	-0.03468
17	35.6	1267.36	4.3	35.4	35.7	15.222	-0.02257
18	35.7	1274.49	3.4	35	35.6	11.9	-0.03009

Jalanan lurus mendatar dengan jalanan menikung mendatar secara teori akan memberikan dampak yang berbeda dalam menghambat pergerakan kendaraan. Pergerakan kendaraan yang dimaksud adalah kemampuan gelinding dari roda akan menurun saat jalan menikung atau meningkatnya *rolling resistance*.

Berdasarkan grafik, ditunjukkan bahwa kendaraan memerlukan arus listrik yang lebih besar dari arus ketika berjalan dijalur mendatar. Hal ini terjadi ketika mobil listrik baru memasuki tikungan, namun setelah itu arus yang digunakan menurun hingga mencapai arus pada jalan mendatar. Ini disebabkan karena beban kerja dari kendaraan meningkat akibat gesekan antara karet ban dengan aspal jalanan.

Waktu akselerasi dari kecepatan rendah ke kecepatan tinggi menjadi lebih lama. Sementara itu daya motor listrik dari grafik terlihat tidak stabil. Konsumsi energi pada mode ini adalah 0.7713 Wh.

#### 4.3.3 Jalan Menanjak (Kemiringan Jalan $\pm 20^\circ$ )



Grafik 4.4 Nilai parameter pada jalan menanjak

Tabel 4.4 Data performa pada jalan menanjak.

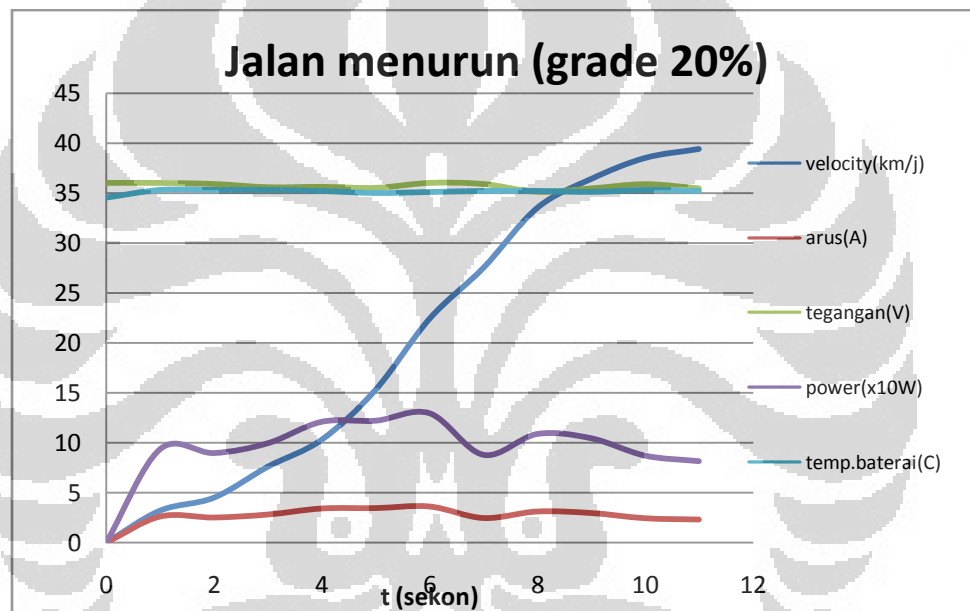
T	v (m/s)	I (Ampere)	V (volt)	Temp	P(x10 Watt)	a (m/s <sup>2</sup> )
0	0	0	36	35.52	0	- 0.0573333
1	5.4	10	33.4	35.44	33.4	0.1838374
2	5.6	11.4	33.5	35.36	38.19	0.2029428
3	6.8	11.5	33	35.28	37.95	0.1860075
4	8.8	13.5	33.76	35.2	45.576	0.1929715
5	9.5	15.4	32.4	35.12	49.896	0.2012001
6	10.7	15.6	32.6	35.04	50.856	0.1914515
7	14.3	15.6	33.5	34.96	52.26	0.161748
8	15.6	15.8	34.4	34.88	54.352	0.1576029
9	18.9	15.8	33.4	34.8	52.772	0.1287142
10	19.8	14	32.2	34.72	45.08	0.1004012
11	20.2	14.5	32	34.64	46.4	0.1020601
12	21	16	32.4	34.56	51.84	0.1131426
13	21.7	16.9	33.5	34.48	56.615	0.1222427
14	22.1	15.67	34	34.4	53.278	0.1109395
15	22.4	15.57	33.44	34.32	52.06608	0.1060286
16	24.5	16.8	32.2	34.24	54.096	0.1007079
17	27.5	16.8	33.12	34.16	55.6416	0.0909252
18	28.9	16.5	33.2	34.08	54.78	0.0832195
19	30.4	14.6	33.9	34	49.494	0.0656686
20	32.4	15.67	33	33.92	51.711	0.0640827
21	33.2	14.55	33.56	33.84	48.8298	0.0554719
22	33.7	15	34.01	33.76	51.015	0.058652
23	33.8	16.45	34	33.68	55.93	0.0686115
24	33.8	16.16	33	33.6	53.328	0.063201
25	33.9	16.54	34.99	33.52	57.87346	0.0723079
26	35.1	17.4	34.22	33.44	59.5428	0.0719131
27	35.9	17.5	34.4	33.36	60.2	0.0707676

Dengan berat total mobil listrik yang mencapai 120 kg, performa motor listrik pada jalan menanjak terlihat kurang baik. Hal ini dapat dilihat dari variable arus listrik, kecepatan kendaraan, waktu tempuh serta konsumsi energi. Kemiringan jalan yang mencapai 20% membuat beban yang harus ditanggung oleh motor menjadi bertambah hampir dua kali lipat.

Daya input motor sebagian terbuang menjadi panas dan losses lain di kumparan sehingga kecepatan maksimum mobil membutuhkan waktu yang lama untuk dicapai. Konsumsi energi menjadi lebih banyak untuk mampu menggerakkan kendaraan.

Jalan menanjak yang dihadapi kendaraan pada mode ini memperlambat waktu tempuh dan kecepatan kendaraan. Konsumsi energi yang digunakan yaitu 3.81 Watt-hour.

#### 4.3.4 Jalan Menurun (kemiringan jalan $\pm 20^\circ$ )



Grafik 4.5 Nilai parameter pada jalan menurun

Tabel 4.5 Data performa pada jalan menurun

T	v (m/s)	I ( Ampere)	V (volt)	Temp	P(x10 Watt)	a (m/s <sup>2</sup> )
0	0	0	36	34.54	0	-
1	3.2	2.6	36	35.3	9.36	0.0573333
2	4.5	2.5	35.89	35.3	8.9725	0.0471052
3	7.6	2.8	35.56	35.3	9.9568	0.0276468
4	10.3	3.4	35.6	35.2	12.104	0.0241726
5	15.3	3.44	35.5	35	12.212	0.0031022

6	22.4	3.6	36	35.1	12.96	-
						0.0115063
7	27.5	2.45	35.89	35.2	8.79305	-
						0.0313146
8	33.5	3.1	35.1	35.2	10.881	-
						0.0308012
9	36.4	2.95	35.44	35.11	10.4548	-
						0.0337862
10	38.5	2.43	35.87	35.3	8.71641	-
						0.0386964
11	39.4	2.3	35.45	35.2	8.1535	-
						0.0402762

Secara mekanika, kendaraan yang menempuh jalan menurun akan menggunakan lebih sedikit energi untuk bergerak dikarenakan adanya gaya tambahan sebagai hasil dari tarikan gravitasi bumi terhadap sebuah massa. Karena slope jalan menurun ini kurang lebih adalah 20%, maka akan ada gaya dorong tambahan sebesar  $F = mg \cdot \cos\theta$ .

Dari grafik diketahui bahwa waktu untuk kendaraan mampu mencapai kecepatan maksimalnya lebih singkat dibandingkan dengan kondisi jalan sebelumnya. Waktu yang digunakan berkisar antara 10-12 detik. Daya motor maksimal yang terpakai tidak lebih dari setengah daya maksimal yang dimiliki oleh motor listrik yaitu hanya sekitar 150 watt energi.

Hal penting lainnya yaitu penggunaan arus listrik yang minim yaitu pada range 2-3.5 Ampere. Dengan pemberian arus konstan, dan dengan daya motor yang tidak besar, kecepatan maksimal kendaraan dapat tercapai dengan energi seminim mungkin.

Konsumsi energi pada mode ini yaitu 0.312678 Wh. Jumlah energi ini hanya 39% dari konsumsi energi di jalan mendatar, 40.5% dari konsumsi energi pada jalan menikung, dan hanya 8.2 % dari konsumsi energi pada jalan menanjak.

Grafik menunjukkan bahwa dengan pemberian arus hanya 2.5 ampere, daya motor secara alami stabil di kisaran 100 watt. Keuntungan pada jalan tipe ini sangat bermanfaat dalam mencapai tingkat konsumsi energi seminim mungkin.

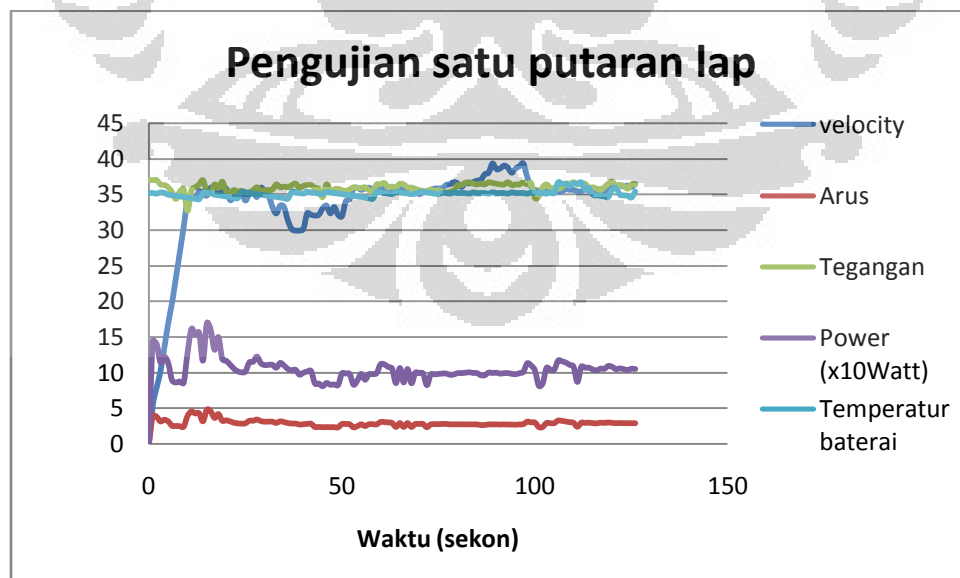
Pada mode ini, akselerasi selalu bernilai positif yang berarti kendaraan melaju tanpa adanya efek dari reverse energy yang berasal dari regenerative motor atau *Back Electromotive Force*. Dengan tidak adanya proses Back EMF ini yang merupakan

hambatan bagi putaran motor listrik yang telah berputar konstan maka akselerasi dapat terus terjadi tanpa pemberian arus listrik lebih.

#### 4.4 Pengujian Performa Mobil Listrik Pada Satu Putaran Lintasan

Pada mode pengujian ini, variabel jarak tempuh menjadi lebih besar yaitu satu putaran lintasan dan variabel kecepatan tidak diatur sehingga dinamika laju kendaraan menjadi bebas. Variasi dari kecepatan, akselerasi dan perbedaan kontur jalan menjadi bahan analisa dalam memperkirakan faktor penyebab boros atau tidaknya konsumsi energi kendaraan.

Pada pengambilan data dengan mode ini, perilaku pengendara dalam mengatur putaran throttle dilakukan dengan cara yang berbeda. Pengendara diberikan kebebasan dalam membuka putaran throttle sesuai dengan kondisi jalan dan situasi berkendara yang dihadapi dengan tetap mengatur laju putaran throttle ketika berada pada jalan yang lurus seperti halnya pada Mode 100 meter. Sehingga dari mode ini diharapkan karakteristik kondisi berkendara yang sebenarnya dapat diketahui.



Grafik 4.6 Nilai performa kendaraan dalam satu putaran jalan.



Tabel 4.6 Data performa kendaraan pada satu putaran lap

t	v (m/s)	I ( Ampere)	V (volt)	P(Watt)	Temp	P(x10 Watt)	a (m/s <sup>2</sup> )
0	0	0	37	0	35.2	0	-0.0573333
1	5.4	3.91	37	144.67	35.2	14.467	0.0786845
2	7.9	3.79	37	140.23	35.11	14.023	0.052035
3	10.2	3.14	36.4	114.296	35.3	11.4296	0.0208042
4	13.5	3.38	36.3	122.694	35.2	12.2694	0.0098822
5	16.9	3.15	36	113.4	34.96	11.34	-0.005469
6	19.8	2.53	35.3	89.309	34.88	8.9309	-0.0214054
7	23.3	2.51	34.35	86.2185	34.8	8.62185	-0.0274715
8	26.8	2.48	35.4	87.792	34.72	8.7792	-0.0307083
9	30.4	2.4	35.7	85.68	34.64	8.568	-0.0342912
10	34.1	3.9	32.7	127.53	34.56	12.753	-0.026861
11	34.8	4.53	35.6	161.268	34.48	16.1268	-0.0197491
12	34.4	4.26	36	153.36	34.4	15.336	-0.0211512
13	35.4	4.3	36.4	156.52	34.32	15.652	-0.0214157
14	35.1	3.16	37	116.92	35.11	11.692	-0.0301121
15	34.8	4.78	35.4	169.212	35.3	16.9212	-0.0179482
16	35.9	4.55	35.2	160.16	35.2	16.016	-0.0210878
17	35.8	3.63	36.4	132.132	34.96	13.2132	-0.0272213
18	35.2	4.18	35.9	150.062	34.88	15.0062	-0.0226762
19	35.3	3.24	36.8	119.232	34.8	11.9232	-0.0297354
20	35.8	3.3	35.4	116.82	34.72	11.682	-0.0306471
21	34.2	3.16	35.3	111.548	34.64	11.1548	-0.0306819
22	34.5	2.97	35.6	105.732	34.56	10.5732	-0.0322583
23	34.7	2.88	35.4	101.952	34.48	10.1952	-0.0332739
24	35.2	2.83	35.5	100.465	35.36	10.0465	-0.0339447
25	34.1	2.88	35.3	101.664	35.28	10.1664	-0.0329333
26	35	3.24	35.3	114.372	35.2	11.4372	-0.030621
27	35.3	3.24	35.6	115.344	35.12	11.5344	-0.0306187
28	34.6	3.41	36	122.76	35.04	12.276	-0.0283836
29	35.9	3.19	35.5	113.245	34.96	11.3245	-0.0315188
30	35.4	3.11	35.6	110.716	34.88	11.0716	-0.0317413
31	34.8	3.12	35.6	111.072	34.8	11.1072	-0.031234
32	33.2	3.11	35.7	111.027	34.72	11.1027	-0.0300366
33	32.3	2.94	36.4	107.016	34.64	10.7016	-0.0302996
34	33.4	3.16	36	113.76	34.56	11.376	-0.029539
35	33.2	3.05	36.1	110.105	34.48	11.0105	-0.0302587
36	31.3	2.92	36	105.12	34.4	10.512	-0.0299559
37	30.1	2.85	36.3	103.455	35.36	10.3455	-0.0293536

38	29.9	2.85	36.5	104.025	35.28	10.4025	-0.0290234
39	29.9	2.71	35.9	97.289	35.2	9.7289	-0.030817
40	30.1	2.76	36.2	99.912	35.12	9.9912	-0.0302908
41	32.3	2.8	36.3	101.64	35.36	10.164	-0.0316312
42	32.1	2.82	36.3	102.366	35.28	10.2366	-0.0312963
43	32	2.36	35.9	84.724	35.2	8.4724	-0.0356441
44	32.1	2.37	35.8	84.846	35.12	8.4846	-0.0356788
45	33	2.34	34.6	80.964	35.04	8.0964	-0.0372006
46	33.4	2.35	36.4	85.54	35.36	8.554	-0.0363274
47	32.3	2.34	35.5	83.07	35.28	8.307	-0.0362518
48	33.2	2.34	35.7	83.538	35.2	8.3538	-0.0366917
49	32.1	2.31	35.8	82.698	35.12	8.2698	-0.0362182
50	31.9	2.78	35.6	98.968	35.04	9.8968	-0.0319922
51	34	2.78	35.5	98.69	34.96	9.869	-0.0335676
52	34.3	2.75	35.7	98.175	34.88	9.8175	-0.0338893
53	35.8	2.31	36	83.16	34.8	8.316	-0.0382352
54	35.9	2.48	35.9	89.032	34.72	8.9032	-0.036961
55	35.6	2.74	35.9	98.366	34.64	9.8366	-0.0346748
56	35.8	2.5	36	90	34.56	9	-0.0366868
57	35.9	2.75	35.6	97.9	34.48	9.79	-0.0349631
58	35.6	2.76	35.5	97.98	34.4	9.798	-0.0347623
59	35.7	2.73	36.4	99.372	35.36	9.9372	-0.0345088
60	35.6	3.07	36.4	111.748	35.28	11.1748	-0.031647
61	35.9	3.05	36.6	111.63	35.2	11.163	-0.0318806
62	35.7	3	36	108	35.12	10.8	-0.0325609
63	35.7	2.93	36.1	105.773	35.04	10.5773	-0.0330632
64	35.8	2.37	36	85.32	35.36	8.532	-0.0377459
65	35.6	2.92	36.5	106.58	35.28	10.658	-0.0328148
66	35.8	2.37	36.4	86.268	35.2	8.6268	-0.0375312
67	35.8	2.92	36	105.12	35.12	10.512	-0.0332757
68	35.9	2.37	35.9	85.083	35.04	8.5083	-0.0378525
69	35.5	2.79	35.8	99.882	35.11	9.9882	-0.0342684
70	35	2.79	35.6	99.324	35.3	9.9324	-0.0340782
71	35.3	2.79	35.5	99.045	35.36	9.9045	-0.0343332
72	35.4	2.33	35.4	82.482	35.28	8.2482	-0.0381805
73	35.6	2.73	35.7	97.461	35.2	9.7461	-0.03488
74	35.8	2.76	35.4	97.704	35.12	9.7704	-0.0349468
75	35.8	2.76	35.6	98.256	35.04	9.8256	-0.0348223
76	35.8	2.79	35.4	98.766	35.2	9.8766	-0.0347072
77	36.3	2.8	35.3	98.84	35.2	9.884	-0.0349929
78	36.4	2.74	35.4	96.996	35.11	9.6996	-0.0354619
79	36.7	2.74	35.6	97.544	35.3	9.7544	-0.0355147
80	36.5	2.74	36.3	99.462	35.2	9.9462	-0.0349739

81	36	2.74	36.3	99.462	35.2	9.9462	-0.0346729
82	36.6	2.73	36.6	99.918	35.2	9.9918	-0.0349324
83	36.5	2.74	36.7	100.558	35.11	10.0558	-0.0347313
84	36.7	2.73	36.5	99.645	35.3	9.9645	-0.0350518
85	36.9	2.73	36.4	99.372	35.2	9.9372	-0.0352288
86	37	2.64	36.5	96.36	35.2	9.636	-0.0359454
87	37.8	2.65	36.4	96.46	35.2	9.646	-0.0363641
88	38	2.73	36.7	100.191	35.11	10.0191	-0.0356759
89	39.3	2.72	36.6	99.552	35.3	9.9552	-0.036505
90	38.5	2.74	36.5	100.01	35.2	10.001	-0.0359875
91	38.6	2.71	36.4	98.644	35.2	9.8644	-0.0363282
92	39	2.73	36.4	99.372	35.2	9.9372	-0.0363865
93	38.7	2.71	36.7	99.457	35.11	9.9457	-0.0362107
94	38	2.71	36.3	98.373	35.3	9.8373	-0.0360635
95	38.6	2.69	36.4	97.916	35.2	9.7916	-0.0364811
96	38.9	2.73	36.4	99.372	35.2	9.9372	-0.0363341
97	39.3	2.76	36.7	101.292	35.2	10.1292	-0.0361458
98	37.4	3.11	36.4	113.204	35.11	11.3204	-0.0325285
99	36	3.01	36.6	110.166	35.3	11.0166	-0.032276
100	35.6	2.99	34.5	103.155	35.2	10.3155	-0.0335898
101	35.5	2.35	34.7	81.545	35.2	8.1545	-0.0384472
102	35.4	2.36	36	84.96	35.2	8.496	-0.0376131
103	35.4	2.93	36.4	106.652	35.11	10.6652	-0.0326647
104	35.6	2.9	35.9	104.11	35.3	10.411	-0.0333736
105	35.4	2.9	35.9	104.11	35.2	10.411	-0.0332428
106	35.3	3.27	35.8	117.066	36.7	11.7066	-0.0302273
107	35.4	3.22	36	115.92	36.5	11.592	-0.0305608
108	35.7	3.13	36.5	114.245	36.5	11.4245	-0.0311543
109	35.6	3.04	36.5	110.96	36.2	11.096	-0.0318249
110	35.6	2.96	36.7	108.632	36.6	10.8632	-0.0323509
111	35.4	2.39	36.4	86.996	36.5	8.6996	-0.0371471
112	35.4	2.97	36.5	108.405	36.7	10.8405	-0.0322662
113	35.7	2.93	36.5	106.945	35.7	10.6945	-0.0327988
114	35.5	2.98	35.9	106.982	35.9	10.6982	-0.0326569
115	35.4	2.9	36	104.4	34.96	10.44	-0.0331768
116	35.4	2.88	35.8	103.104	34.88	10.3104	-0.0334717
117	35.7	2.97	35.6	105.732	34.8	10.5732	-0.0330725
118	35.4	2.93	36	105.48	34.72	10.548	-0.0329311
119	35.9	3	36.5	109.5	34.64	10.95	-0.0323579
120	36.1	2.94	36.8	108.192	35.7	10.8192	-0.0327834
121	36.2	2.9	36.2	104.98	35.9	10.498	-0.0335641
122	36.2	2.92	36.3	105.996	34.96	10.5996	-0.0333378
123	36.1	2.9	36.2	104.98	34.88	10.498	-0.0335004

<b>124</b>	36.2	2.9	35.8	103.82	34.8	10.382	-0.0338225
<b>125</b>	36	2.9	36.4	105.56	34.56	10.556	-0.0333065
<b>126</b>	36.4	2.89	36.4	105.196	35.4	10.5196	-0.0336426

Satu putaran lap yang digunakan pada mode penelitian ini memiliki kontur jalan beragam. Dari titik start jalanan lurus mendatar sepanjang kurang lebih 80 meter akan disusul dengan jalan menikung dengan radius kurang lebih 8 meter, kemudian jalanan akan berupa jalan lurus mendatar lagi dengan adanya slope jalan menurun kurang lebih 20%.

Grafik kecepatan yang dihasilkan menunjukkan bahwa kendaraan telah melaju dengan kecepatan maksimalnya pada waktu 9 sekon selepas start. Dengan kecepatan 35 km/jam yang hampir konstan, selama 80 meter kendaraan terus berakselerasi positif hingga akhirnya mengalami akselerasi negative. Akselerasi bernilai negative ini menandakan bahwa terjadi penurunan tingkat efisiensi penggunaan energi, konsumsi energi menjadi lebih boros meskipun masih berada di jalan mendatar. Akselerasi negative ini terjadi di saat pemberian arus listrik tetap konstan. Artinya bahwa seharusnya pada titik ini pemberian arus perlu ditingkatkan selama periode tertentu agar daya motor meningkat dan akselerasi kembali menjadi positif.

Memasuki jalan menikung pada rentan waktu 40- 50 sekon selepas start kecepatan kendaraan menurun dari 35 km jam menjadi kecepatan terendah 29 km/jam. Penurunan ini membuat akselerasi tidak meningkat dan tetap konstan pada akselerasi negative, hal ini mungkin disebabkan karena ada proses pengereman dari pengendara ketika kendaraan melaju dengan kecepatan maksimal sesaat akan memasuki tikungan.

Selebihnya pada mode ini, akselerasi terus menerus bernilai negative. Hal ini disebabkan karena karakter berkendara dari pengendara tidak memakai seratus persen bukaan throttle sehingga putaran motor listrik yang sebenarnya berada sedikit dibawah

putaran roda. Terdapat perbedaan beberapa radian putaran antara putaran roda dengan motor.

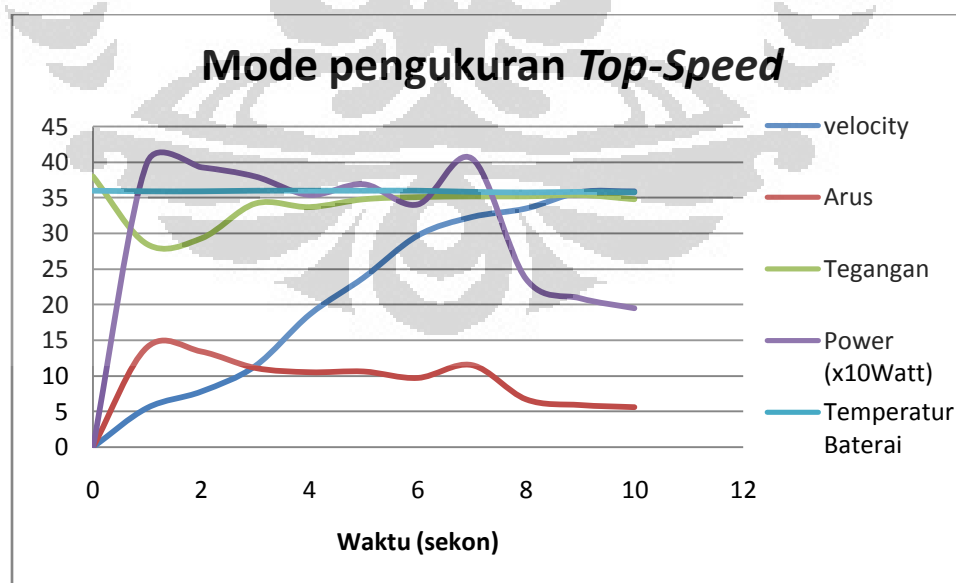
Gaya berkendara yang diterapkan pada mode ini yaitu meminimalkan bukaan throttle sekecil mungkin dengan memanfaatkan arus listrik minimal yang dapat menggerakkan motor untuk melaju konstan. Arus listrik tidak melebihi 10 ampere.

Dari satu putaran yang dilalui dengan jarak kurang lebih 800 meter, konsumsi energi adalah 3.68296 W-h.

#### 4.5 Pengujian Performa Kendaraan dengan Mode *Top-Speed*

Berbeda dengan pengambilan data sebelumnya, metode yang digunakan pada mode ini hanya bergantung pada tercapainya kecepatan maksimal kendaraan. Dengan pengujian tanpa beban dan pengujian di jalan didapatkan bahwa kecepatan maksimal yang mampu diraih oleh kendaraan sekitar 36 km/jam. Pada saat kondisi itu tercapai, pengambilan data dihentikan.

Metode putaran throttle pada mode ini berbeda dengan dua mode sebelumnya dimana putaran throttle diusahakan berada langsung pada posisi maksimum sesaat setelah kendaraan mulai berjalan hingga pengambilan data selesai dilakukan.



Grafik 4.7 Nilai performa kendaraan dengan mode *top-speed*

Tabel 4.7 Data performa kendaraan dengan mode *top-speed*

T	v (m/s)	I (Ampere)	V (volt)	Temp	P(x10 Watt)	a (m/s <sup>2</sup> )
0	0	0	38	36	0	-0.0573333
1	5.5	14	28.5	35.9	39.9	0.2118216
2	7.8	13.4	29.3	35.9	39.262	0.1793144
3	11.4	11.1	34.2	36	37.962	0.1363647
4	18.6	10.5	33.7	36	35.385	0.0766327
5	23.8	10.6	34.8	36	36.888	0.0576752
6	29.7	9.7	35.1	36	34.047	0.0314405
7	32.3	11.5	35.2	35.8	40.48	0.0396842
8	33.5	6.7	35.2	35.7	23.584	-0.0010726
9	35.8	5.9	35.4	35.8	20.886	-0.0102901
10	35.9	5.6	34.8	35.7	19.488	-0.0134617

Dengan melakukan mode penelitian yang berbeda dengan sebelumnya, hasil grafik performa terlihat cukup mencolok. Grafik daya motor meningkat menuju nilai maksimal sejak kendaraan mulai melaju dan besar arus listrik ketika starting cukup besar sekitar 15 ampere dan secara cepat stabil di angka 10 ampere. Hal yang sama juga terjadi pada variable kecepatan dimana dalam rentang waktu 10 sekon saja, kendaraan sudah melaju konstan pada kecepatan maksimalnya. Grafik pertumbuhan kecepatan adalah linear sehingga ada sedikit *voltage drop* baterai yang besar ketika *starting*.

Akselerasi yang dihasilkan terus bernilai positif namun ada beberapa nilai negative setelah kecepatan maksimal tercapai. Ini dikarenakan batas kemampuan putaran motor sudah terlampaui dan tidak dapat mengimbangi putaran roda yang dalam hal ini mewakili kecepatan kendaraan sehingga terjadi proses regenerative di dalam motor listrik.

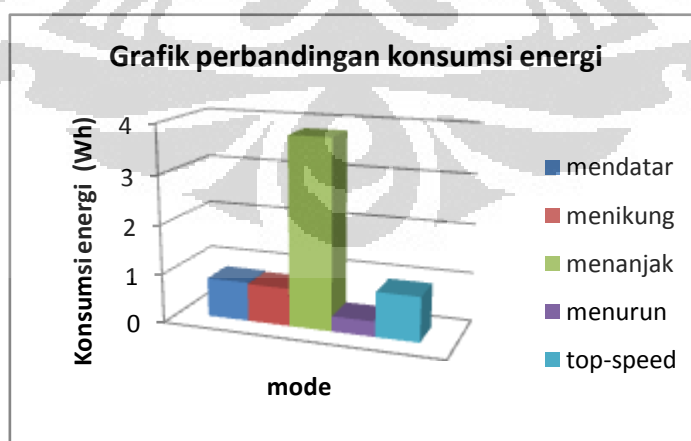
Berbicara konsumsi energi, mode top-speed ini memberikan karakter penggunaan energi yang cukup besar per satuan waktunya yaitu 0.910783 Wh untuk 10 sekon berkendara.

#### 4.6 Perbandingan Kecepatan, Akselerasi dan Tingkat Konsumsi Energi

Perbedaan konsumsi energi pada berbagai mode dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.8 Pemetaan konsumsi energi

Mode	Konsumsi energi (Wh)	Jarak tempuh (meter)	Konsumsi energi per satuan panjang jalan (Wh/m)
Jalan mendatar	0.7999	100	$7.9 \times 10^{-3}$
Jalan menikung	0.7713	100	$7.7 \times 10^{-3}$
Jalan menanjak (grade 20%)	3.81	100	$3.81 \times 10^{-2}$
Jalan menurun (grade 20%)	0.312678	100	$3.12 \times 10^{-3}$
Satu putaran track	3.68296	800	$4.6037 \times 10^{-3}$
Top-speed	0.910783	30	$3.03 \times 10^{-2}$



Grafik 4.8 Perbandingan konsumsi energi

Dari grafik dapat dilihat bahwa meskipun konsumsi energi paling minimal terjadi pada kondisi jalan mendatar yaitu 0.7999 Wh/m namun jarak yang ditempuh hanya 100 meter. Untuk jarak yang lebih jauh, konsumsi energi akan lebih minimal ketika terjadi gerakan melaju yang kontinu dari start hingga finish. Hal ini meminimalkan terjadinya beban besar yang muncul ketika mobil listrik mengalami deselerasi atau berhenti. Terbukti dari mode satu putaran lap yang menempuh jarak 800 meter dengan kondisi jalan tidak hanya mendatar tapi juga menikung dan menurun bahwa konsumsi energi sebesar 0.910783 Wh/m yang tidak terlalu berbeda jauh dengan mode jalan mendatar.

Beberapa faktor dari kendaraan dapat mempengaruhi konsumsi energi diantaranya konstruksi sistem kemudi, tekanan angin ban, suhu motor listrik dan suhu baterai. Selain itu, faktor eksternal seperti kondisi lingkungan atau kondisi *track* dan perilaku mengemudi dari pengendara (*driver*) juga memberikan pengaruh yang tidak sedikit.

Kendaraan dapat bergerak dengan kecepatan tertentu disebabkan karena memanfaatkan daya dorong sebagai hasil kerja motor listrik. Daya yang dihasilkan motor listrik kemudian diteruskan menuju roda melalui perantara struktur kendaraan seperti poros roda, *bearing* dan *knuckle*. Apabila kondisi beberapa komponen tersebut baik dan simetris maka persentase daya yang tersalurkan dari motor listrik menuju roda akan semakin besar dan juga sebaliknya. Daya dorong yang tersalurkan tersebut akan semakin berkurang ketika kendaraan melewati sebuah tikungan dimana terdapat ketidaksimetrisan antara roda belakang sebagai penggerak dengan roda depan yang dikendalikan melalui sistem kemudi. Sebagai hasilnya energi yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan lebih rendah dibandingkan energi yang diberikan dari motor listrik atau dengan kata lain terdapat energi yang terbuang.

Tekanan angin ban pada saat pengambilan data tidak menjadi variabel yang nilainya tetap sehingga cukup mempengaruhi hasil konsumsi energi. Besarnya tekanan angin ban rata-rata yang digunakan adalah 4.5 sampai 5 bar pada kondisi penggunaan normal dan akan lebih besar ketika suhu jalanan meningkat. Dengan tekanan angin yang tinggi maka beban untuk menggerakkan kendaraan akan menurun karena titik kontak



antara ban dengan jalanan semakin kecil sehingga gesekan antara keduanya pun turut menurun.

Faktor yang paling mempengaruhi data konsumsi energi pada setiap mode nya adalah faktor perilaku mengemudi pengendara. Kondisi fisik pengendara akan membuat konsentrasinya terpengaruh sehingga kestabilan dalam membuka throttle akan kurang akurat dan berbeda-beda setiap pengujian dilakukan.

Grafik 4.9 menunjukkan perbandingan kecepatan kendaraan ketika pengambilan data dilakukan. Grafik ini membandingkan hasil lima mode pengambilan data. Kecepatan maksimal yang mampu dicapai kendaraan adalah 36 m/s pada kondisi baterai terisi penuh. Pada mode mendatar dan menikung dengan elevasi jalanan yang sama terlihat bahwa ada perbedaan waktu 3 detik dalam mencapai kecepatan maksimal. Hal ini menunjukkan adanya resistansi tambahan ketika kendaraan menikung yang disebabkan oleh gesekan antara ban dengan jalanan. Namun secara keseluruhan performa kendaraan listrik pada kedua mode ini tidak berbeda jauh dan masih cukup handal.

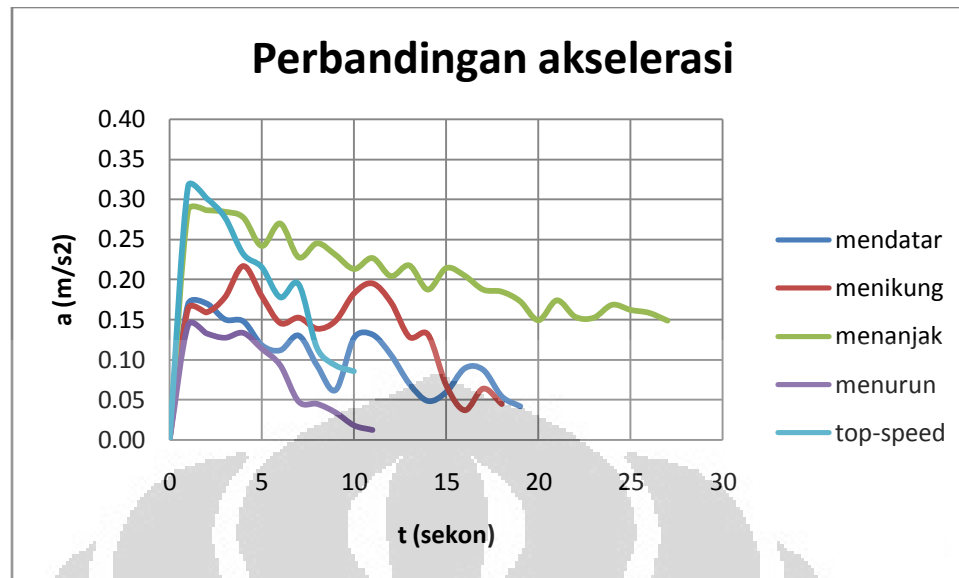
Dapat juga dilihat bahwa pada mode mendatar ketika bukaan throttle dilakukan secara bertahap maka laju peningkatan kecepatan tidak terlalu linear hal ini menggambarkan bahwa kontrol manual terhadap bukaan throttle yang dilakukan tidak diikuti dengan penambahan arus listrik dari kontroler secara responsif, masih terdapat *delay* ketika penambahan arus listrik diinginkan. Untuk mencapai hal tersebut maka setidaknya diperlukan kontrol secara elektronik melalui mikrokontroler dengan memasukan variabel arus dan tegangan untuk menghasilkan daya sebagai data input.



Grafik 4.9 Perbedaan kecepatan pada setiap mode

Pada jalan menanjak kecepatan maksimal kendaraan cukup sulit dicapai. Waktu yang dibutuhkan sekitar 27 detik dengan beberapa kali kecepatan hampir stabil yang ditunjukkan dengan grafik mendatar yaitu pada rentang waktu detik 10 dengan 15 dan detik 20 dengan 25. Apabila diselisihkan maka rentang waktu yang terjadi adalah sama yaitu 5 detik. Pada kedua rentang waktu tersebut penambahan arus (melalui penambahan bukaan *throttle*) tidak berdampak pada peningkatan kecepatan. Penyebab hal ini kemungkinan adalah jatuh tegangan baterai terlalu besar seperti yang diperlihatkan grafik 4.4. Beban kendaraan yang tidak mampu diatasi oleh motor listrik menyebabkan putaran motor terhambat dan arus listrik meningkat secara spontan sehingga tegangan baterai jatuh. Jika tegangan baterai jatuh terlalu rendah maka secara elektronik arus yang dikeluarkan akan diputus untuk pencegahan terjadinya kondisi *overload*. Apabila kondisi baterai terlalu sering mengalami hal seperti ini dikhawatirkan akan memperpendek usia pemakaian baterai.

Akselerasi kendaraan listrik pada penelitian ini selalu dihasilkan dan nilainya positif. Penambahan bukaan throttle memberikan keluaran arus listrik dari kontroler menuju motor listrik semakin besar sehingga meningkatkan daya output dari motor yang digunakan untuk meningkatkan kecepatan mobil listrik.

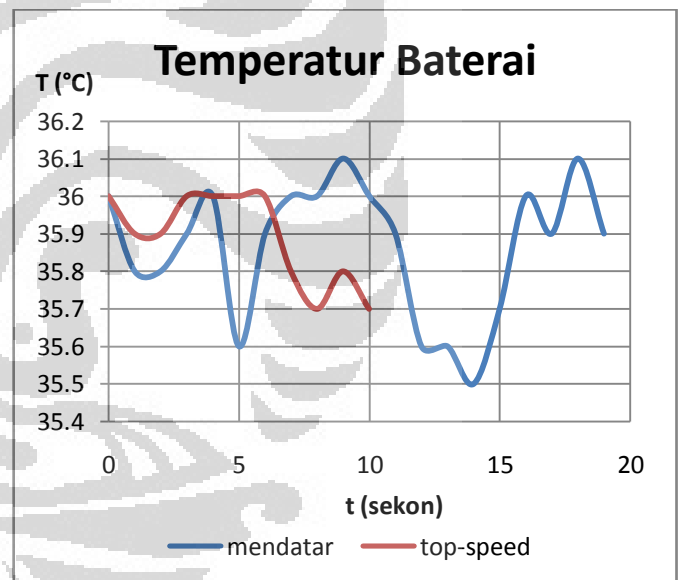
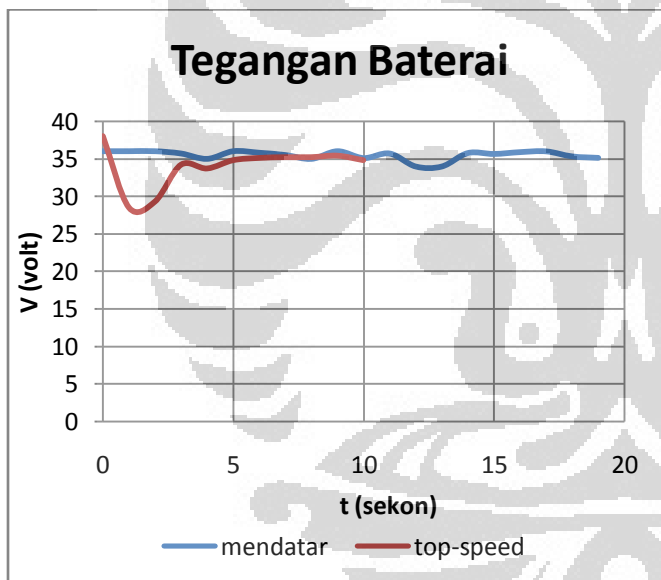
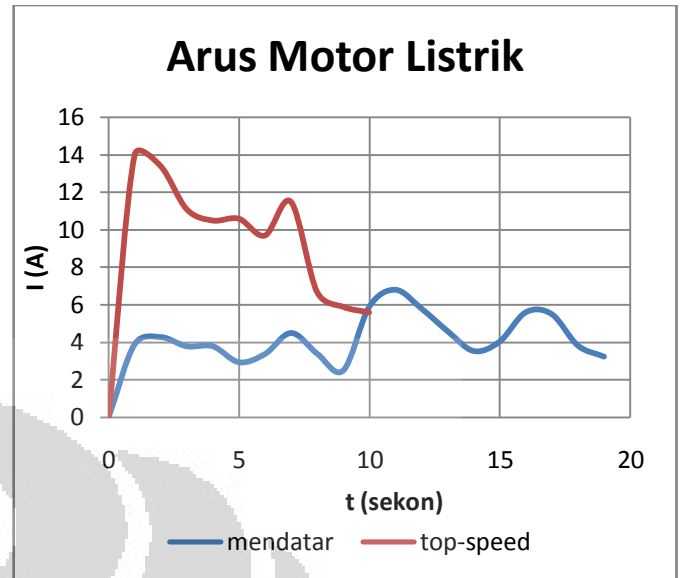
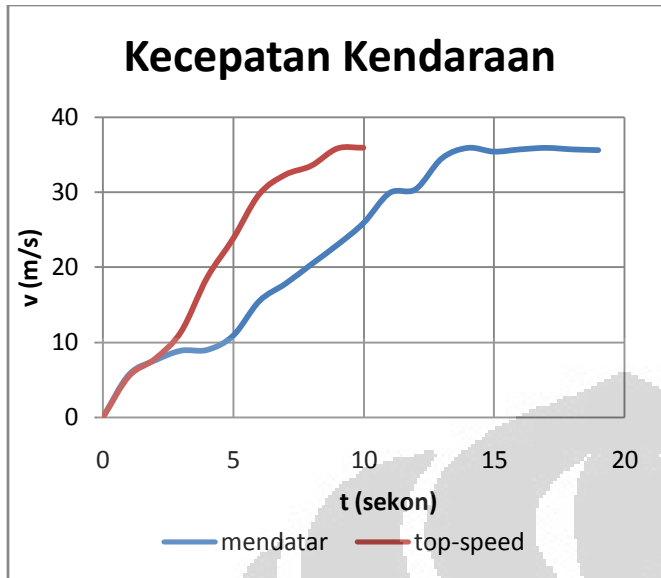


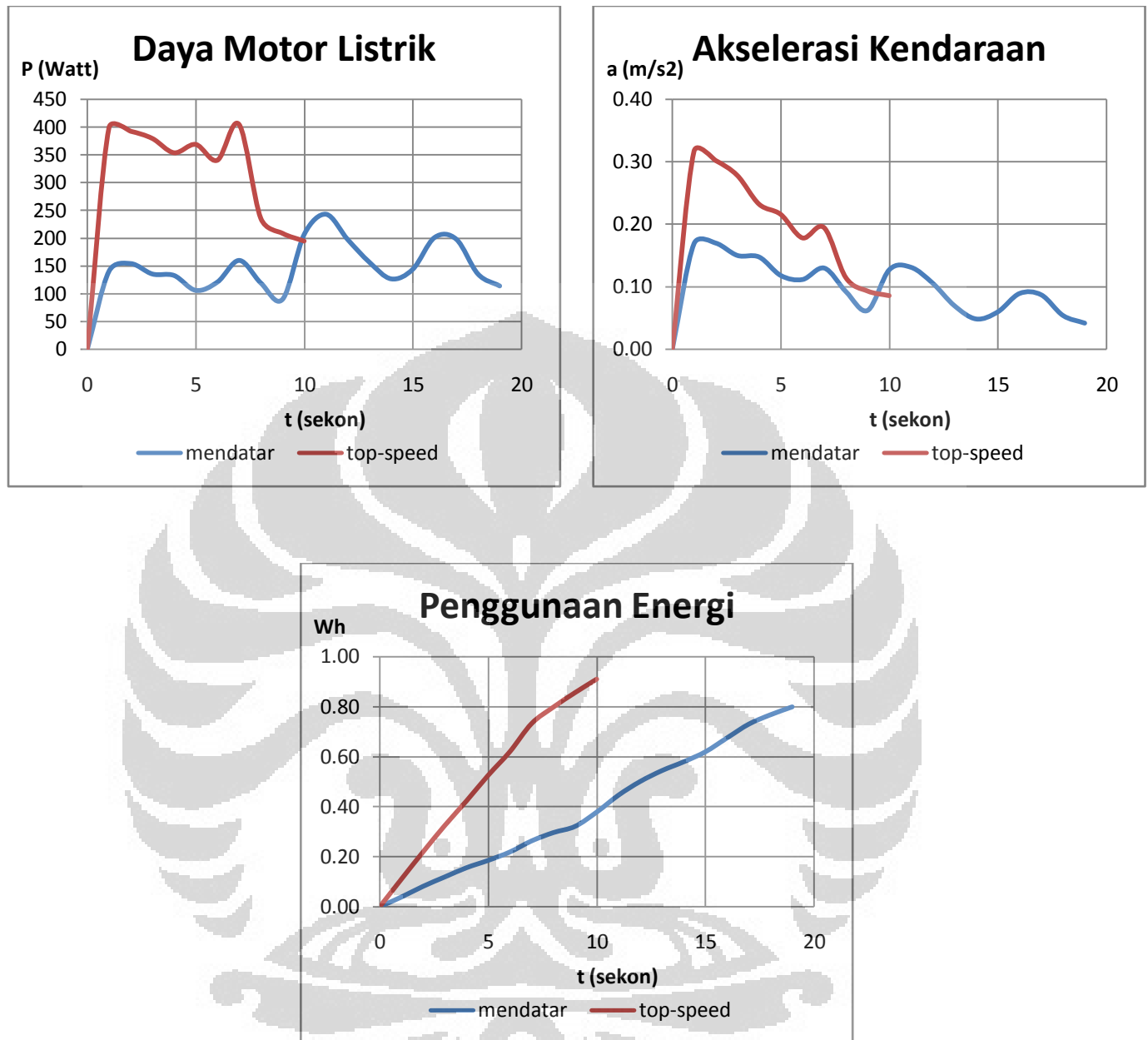
Grafik 4.10 Perbedaan akselerasi pada setiap mode

Akselerasi menunjukkan kemampuan motor listrik mengatasi beban kendaraan ketika start ataupun ketika melaju konstan melewati kontur jalanan yang berbeda-beda. Dengan metode bukaan throttle yang diupayakan meningkat secara bertahap maka akselerasi yang dihasilkan tidak terlalu besar yaitu maksimal  $0.32 \text{ m/s}^2$ . Akselerasi yang ditunjukkan grafik 4.10 diatas cenderung menurun dengan bertambahnya waktu. Hal ini disebabkan karena kecepatan penambahan bukaan throttle ternyata kurang cukup. Diperlukan bukaan throttle yang berakselerasi pula guna menghasilkan akselerasi kendaraan. Akselerasi kendaraan hampir berbanding lurus dengan akselerasi bukaan throttle sehingga untuk bukaan throttle yang tetap tidak akan dihasilkan akselerasi kendaraan secara cepat.

#### 4.7 Perbandingan Mode Mendatar 100 Meter Terhadap Mode *Top-Speed*

Untuk mengetahui karakter mobil listrik pada jalan lurus perlu dilakukan perbandingan terhadap dua mode penelitian yang dilakukan yaitu mode mendatar dengan jarak 100 meter dengan mode *top-speed*. Variabel yang dijadikan perbandingan disini tidak termasuk jarak tempuh karena terdapat perbedaan namun variabel umum lainnya tetap dapat diperbandingkan.





Grafik 4.11 Perbandingan performa kendaraan pada mode mendatar dengan *top-speed*

Hasil dari grafik 4.11 memperlihatkan perbedaan nilai parameter pada kedua mode yang dilakukan pada jalan yang sama. Mode mendatar 100 meter membuka putaran throttle secara perlahan dan bertahap hingga mencapai jarak tempuh 100 meter sehingga untuk mencapai kecepatan maksimum 36 km/jam membutuhkan daya motor listrik hanya sebesar 150 Watt dari daya maksimal yang dimiliki sebesar 350 Watt namun

dibutuhkan waktu hingga 14 detik untuk kemudian berjalan dengan kecepatan konstan. Sementara pada mode lainnya, yaitu mode top-speed, terdapat perbedaan signifikan karena putaran throttle dibuka secara penuh secara spontan ketika kendaraan mulai berjalan. Hasilnya daya motor listrik mencapai nilai maksimum sejak kendaraan berjalan dan kecepatan maksimum 36 km/jam dicapai hanya dalam waktu 9 detik. Hal yang perlu dicatat pada mode top-speed ini yaitu kestabilan daya motor listrik pada saat diberikan putaran throttle maksimum tidak terlalu baik, hal ini dapat dilihat dari grafik perbandingan daya motor listrik diatas bahwa ketika putaran throttle dipertahankan konstan maka daya akan naik seketika dan langsung jatuh pada detik berikutnya. Arus listrik yang mengalir dari baterai menuju motor juga mengalami fenomena serupa yang tidak menghasilkan kestabilan. Ini menunjukkan performa baterai sebagai sumber energi yang dibutuhkan motor listrik tidak memberikan arus keluaran yang stabil sehingga mengurangi performa kendaraan yang seharusnya menghasilkan akselerasi lebih tinggi.

Dari variabel konsumsi energi yang dihasilkan perbedaan antara kedua mode terlihat normal dimana konsumsi energi pada mode top-speed lebih besar dibandingkan mode mendarat. Nilai akselerasi berbanding terbalik dengan konsumsi energi sehingga untuk menggunakan energi secara efisien laju kendaraan harus dijaga agar meningkat secara konstan dan tidak perlu menggunakan daya dan arus yang besar hingga titik *turning point* pada kurva performa motor listrik tercapai.

Daya maksimal motor listrik yang digunakan merupakan faktor penting dalam menghasilkan performa kendaraan yang baik dan handal. Pada saat tertentu daya motor yang besar akan memberikan efisiensi penggunaan energi lebih baik dibandingkan dengan daya motor lebih rendah sehingga rasio antara daya motor listrik dengan beban kendaraan perlu diperhitungkan kembali.

## **Bab V**

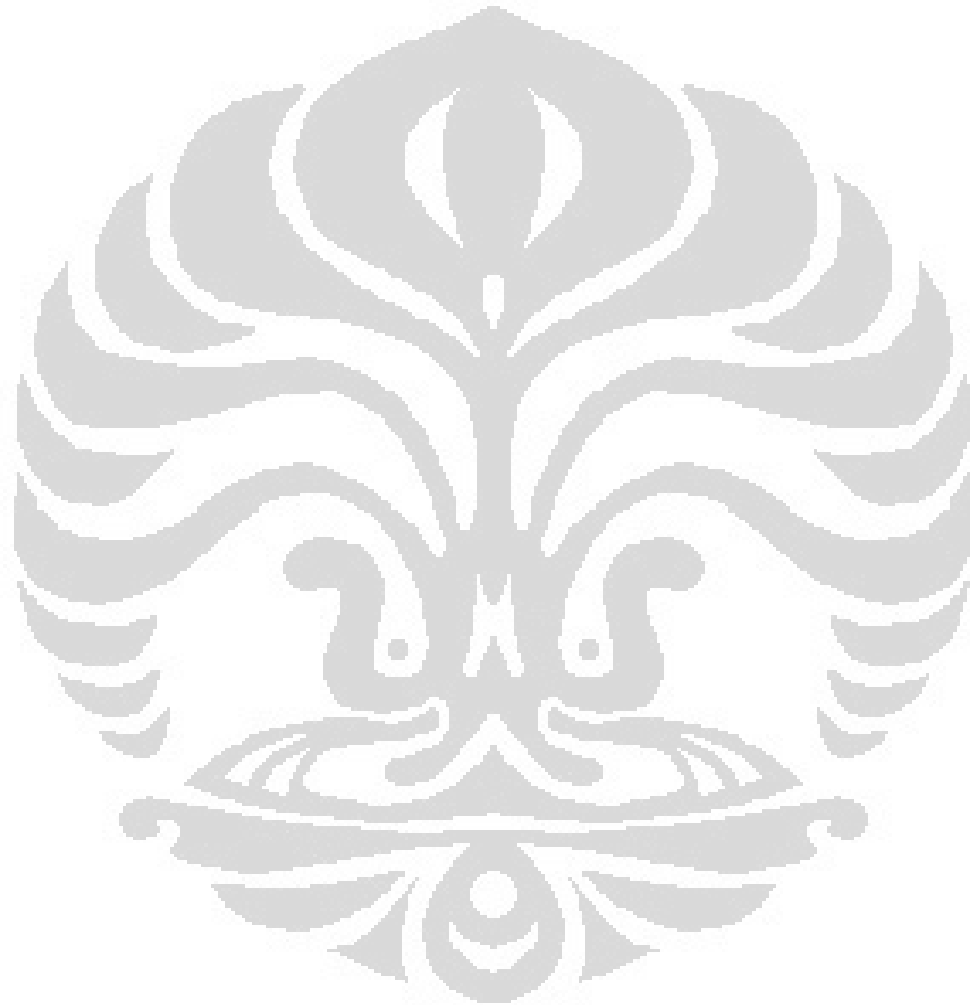
### **Kesimpulan dan Saran**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Peak-power mobil listrik dapat dicapai pada kecepatan 18 km/jam sebelum menurun. Setelah itu motor listrik akan berada pada kondisi stall tanpa adanya daya input untuk mempertahankan kecepatan sehingga hanya sedikit power yang mampu dihasilkan.
2. Performa motor listrik pada jalan mendatar dan menikung cukup baik dilihat dari daya yang mampu dihasilkan. Sementara pada jalan menanjak, daya 350 watt kurang bertenaga untuk kendaraan bermassa 120 kg. Pada jalanan menanjak waktu tempuh yang digunakan sangat lama dan berefek pada melonjaknya konsumsi energi menjadi 4 kali lipat dibandingkan pada jalan mendatar.
3. Rata-rata penggunaan energi mobil listrik adalah 15,286 kWh untuk 100 km jarak tempuh.
4. Penggunaan arus listrik yang besar pada awal akselerasi mampu meningkatkan daya dorong kendaraan untuk melaju lebih cepat meskipun dengan konsumsi energi sedikit lebih banyak. Hal ini terjadi ketika mode top-speed dilakukan.
5. Jatuh tegangan baterai pada setiap percobaan tidak terlalu besar meskipun beban kerja motor listrik cukup besar. Secara rata-rata suhu baterai hanya mengalami perubahan kurang dari 3% dari suhu saat start.

## 5.2 Saran

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik, data resistance dari motor listrik harus lebih akurat agar nilai akselerasi yang didapat lebih akurat dan tepat.
2. Konsumsi energi akan lebih dapat dianalisa dengan menggunakan mode penelitian dalam beberapa putaran lap sekaligus.





## Daftar Pustaka

Ashida.T, Tanaka. D, and Minami.S., A Method to Determine the Velocity Profiles from the Power Consumption of Mobil listrik, *Journal of Asian Mobil listrik*, Vol.5, No.2, 2007.

ETA-UTP00 Revision 0 Effective March 23, 2001, Implementation of SAE J1634 May93. *Mobil listrik Energy Consumption and Range Test Procedure*.

Mc-Graw-Hill's Acces Science Encyclopedia of Science and Technology Online.

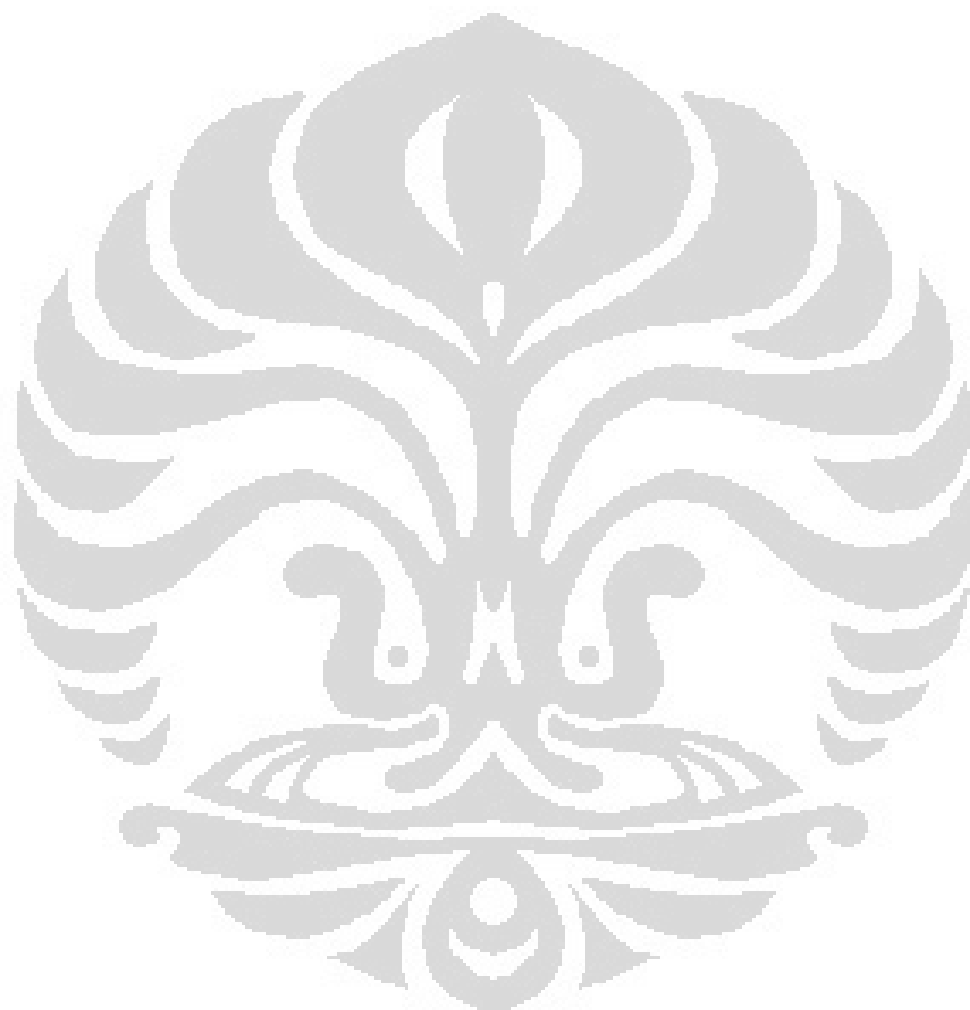
Diunduh pada tanggal 15 februari 2012. <http://www.ebikes.ca/simulator/>

Diunduh pada tanggal 18 februari 2012. <http://www.micromo.com/motor-calculations.aspx>

Diunduh pada tanggal 25 februari 2012. <http://machinedesign.com/article/selecting-dc-brush-and-brushless-motors-0217>



## Lampiran



# ETA-UTP003

Revision 0

Effective March 23, 2001

## Implementation of SAE J1634 May93 - “Electric Vehicle Energy Consumption and Range Test Procedure”

Prepared by  
Electric Transportation Applications

Prepared by: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_  
Steven R. Ryan

Approved by: \_\_\_\_\_ Date: \_\_\_\_\_  
Jude M. Clark

## TABLE OF CONTENTS

<b>1.0</b>	<b>Objectives</b>	<b>3</b>
<b>2.0</b>	<b>Purpose</b>	<b>3</b>
<b>3.0</b>	<b>Documentation Support</b>	<b>3</b>
<b>4.0</b>	<b>Initial Conditions and Prerequisites</b>	<b>4</b>
<b>5.0</b>	<b>Dynamometer Setup</b>	<b>7</b>
<b>6.0</b>	<b>Road Load Test Cycle</b>	<b>10</b>
<b>7.0</b>	<b>Data Reduction and Acceptability Criteria</b>	<b>14</b>
<b>8.0</b>	<b>Glossary</b>	<b>15</b>
<b>9.0</b>	<b>References</b>	<b>17</b>
<b>Appendices</b>		
	<b>Appendix A - Metrology Usage Sheet</b>	<b>17</b>
	<b>Appendix B - J1634 Data Sheet</b>	<b>18</b>
	<b>Appendix C - J1634 Road Test Data Sheet</b>	<b>21</b>
	<b>Appendix D - Energy Efficiency Calculation Sheet</b>	<b>23</b>

## 1.0 Objective

The objective of this procedure is to identify the proper methods for the control of testing activities pursuant to the requirements of SAE Standard J1634, "Electric Vehicle Energy Consumption and Range Test Procedure." These methods are not meant to supersede those of the testing facility, those specifically addressed by SAE Test Standards (except as noted) nor of any regulatory agency who may have or exercise control over the covered activities.

## 2.0 Purpose

The purpose of this procedure is to identify acceptable methods for the implementation of the test requirements of SAE-J1634. While the SAE-J1634 Recommended Practice establishes uniform procedures for testing electric battery-powered vehicles through the Urban Driving Schedule (UDS) and Highway Fuel Efficiency Tests (HWFET), this procedure establishes some requirements that are outside of the guidance of that SAE Standard. Additionally, this procedure authorizes deviations from some of the test requirements of the SAE J1634. These deviations are necessary to accomplish this test, and are clearly noted where they occur. This assures that relative performance between vehicles can be assessed.

## 3.0 Documentation

Documentation addressed by this procedure shall be consistent, easy to understand, easy to read and readily reproducible. This documentation shall contain enough information to "stand alone"; that is, be self-contained to the extent that all individuals qualified to review it could be reasonably expected to reach a common conclusion, without the need to review additional documentation. Review and approval of test documentation shall be in accordance with ETA-UAC004, "Review of Test Results." Storage and retention of records during and following testing activities shall be completed as described in Procedure ETA-UAC001, "Control, Close-out and Storage of Documentation."

## 4.0 Initial Conditions and Prerequisites

Prior to conduct of any portion of the testing, the following initial conditions and prerequisites should be met. Satisfactory completion of these items should be verified as complete and recorded on the Test Data Sheet.

- 4.1 Personnel conducting testing under this procedure shall be familiar with the requirements of this procedure, and when applicable, the appropriate SAE Test Instructions, Administrative Control Procedures, and be certified by the Program Manager or the Test Manager/Engineer prior to commencing any testing activities.
- 4.2 Ambient temperatures during testing shall be  $77^{\circ}\text{F} \pm 9^{\circ}\text{F}$ .
- 4.3 Battery temperatures at the beginning of testing shall be less than  $120^{\circ}\text{F}$ , and should be less than  $100^{\circ}\text{F}$ .
- 4.4 Dynamometer Testing
  - 4.4.1 The load shall be programmable at various vehicle speeds to simulate vehicle road load versus speed characteristics.
  - 4.4.2 Road load power settings shall be made based on SAE J1263 as described in ETA-UTP001 and this procedure.
  - 4.4.3 Dynamometer flywheel shall be engaged with the nearest available dynamometer inertia weight which equals or exceeds Gross Vehicle Weight Rating (GVWR). Weights which exceed the GVWR by more than 2% will be approved by the Program Manager or Test Director, as appropriate.
  - 4.4.4 During dynamometer operation, a fixed speed cooling fan shall be positioned so as to direct cooling air to the front of the vehicle. The fan capacity in general shall not exceed  $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $5300 \text{ ft}^3/\text{min}$ ). Auxiliary fans may be employed if needed to more closely duplicate on-road cooling conditions.
- 4.5 Vehicle shall be tested in its normal configuration with normal appendages (mirrors, bumpers, hubcaps, etc.). Certain items (hub caps, etc.) may be removed where necessary for safety on the dynamometer.
- 4.6 During dynamometer testing, vehicles may use tires which have had the tread “shaved” off. This reduces tire heating, tire squirm and prevents absorption of road load by the tires. **This is a departure from the requirements of SAE J1634.**
- 4.7 Dynamometer tire pressure shall be set as required to achieve consistent testing results and repeatability through the coastdown cycles. This will nominally be 50 psig (cold inflation pressure).

This is different than the pressure used to establish the dynamometer road load power setting in ETA-UTP001. **This is a departure from the requirements of SAE J1634.**

- 4.8 Normal manufacturer's recommended lubricants shall be employed.
- 4.9 Prior to dynamometer testing, vehicles shall have accumulated a minimum of 100 miles (300 miles recommended) by completing the requirements of procedures ETA-UTP004 and ETA-UTP005. **This is a departure from the requirements of SAE J1634.**
- 4.10 Full charge should be established using the manufacturer's recommended charging procedure and equipment in accordance with ETA-UTP008, "Battery Charging."
- 4.11 The following data shall be collected during conduct of the various tests specified by this procedure. Overall error in recording or indicating instruments shall not exceed  $\pm 2\%$  of the maximum value of the variable being measured, or as specifically excepted elsewhere. Periodic calibration shall be performed and documented to ensure compliance with this requirement.
  - 4.11.1 Battery voltage versus time
  - 4.11.2 Battery current versus time
  - 4.11.3 Vehicle speed versus time
  - 4.11.4 Distance versus time
  - 4.11.5 Battery temperature versus time
  - 4.11.6 Battery power versus time
- 4.12 The range of ambient temperature during the testing shall be recorded.
- 4.13 A description of the dynamometer load program shall be recorded.
- 4.14 The date, starting and ending times shall be recorded.
- 4.15 The beginning and ending vehicle odometer readings shall be recorded.
- 4.14 All instrumentation used in the test shall be listed on Appendix A and attached to the test data sheets/results and shall include the following information:
  - 4.14.1 Manufacturer
  - 4.14.2 Model Number
  - 4.14.3 Serial Number
  - 4.14.4 Last Calibration date
  - 4.14.5 Next Calibration date

- 4.15 Any deviation from the test procedure and the reason for the deviation shall be recorded in accordance with ETA-UAC002, “Control of Test Conduct.”
- 4.16 The speed-time measuring device and other necessary equipment shall be installed so they do not hinder vehicle operation or alter the operating characteristics of the vehicle.
- 4.17 A description of the dynamometer shall be recorded, including:
  - 4.17.1 Drum or roll diameter and number of tire contact points
  - 4.17.2 Road load power set points
  - 4.17.3 Dynamometer inertia weight
  - 4.17.4 Vehicle speed from dynamometer roll
- 4.18 Accessories shall not be used during testing activities.
- 4.19 All documentation required to complete the testing shall be completed, approved and issued prior to commencing the testing it addresses.
- 4.20 A copy of test documentation and methodologies/instructions used for testing shall be included in the final test documentation program. This is in accordance with ETA-UAC002, “Control of Test Conduct.”
- 4.21 Verify that procedures ETA-UAC006, “Vehicle Verification,” and ETA-UTP011, “Receipt Inspection,” have been, or are being, completed.
- 4.22 Portions of procedure ETA-UTP009, “Measurement and Evaluation of Magnetic Fields Generated by Electric Vehicles,” shall be completed in conjunction with this procedure.



## 5.0 Dynamometer Setup

The purpose of this section is to prepare the dynamometer for use in testing electric vehicles to the requirements of SAE J1634 as required in Section 6.

### CAUTION

**The dynamometer is started and run in this procedure. ALL personnel shall exercise appropriate cautions while in the vicinity of both the Power Absorption Unit and the Roller Section.**

### NOTE

Activities necessary to complete the test are identified in the following sections. All items shall be completed, whether they are required by J1634 or not. Any section which cannot be completed shall be so annotated, along with the appropriate justification in accordance with ETA-UAC002, "Control of Test Conduct."

### NOTE

For this test, vehicles shall be loaded at curb weight plus 332 pounds.

- 5.1 Start up the vibration monitor and control computer.
- 5.2 Conduct an initial warm-up of the dynamometer.
- 5.3 Conduct and complete the speed calibration of the dynamometer.
- 5.4 Conduct the Torque Calibration process for the dynamometer system.
- 5.5 Calibrate the Data Acquisition System (DAS) used in conjunction with the Dynamometer system.
- 5.6 Prepare the vehicle to be tested as follows:
  - 5.6.1 Verify the vehicle is weighted to curb weight plus 332 pounds (including the driver and test equipment).
  - 5.6.2 Install or verify that there are shaved tires installed on the test vehicle, as appropriate.
  - 5.6.3 Inflate the tires to a cold inflation pressure of 50 psig  $\pm 0.5$  psig. Record on Appendix B.
  - 5.6.4 Place the test vehicle on the dynamometer rollers, and center it on the rollers by slowly running it or turning the dynamometer rollers with the motor.
  - 5.6.5 If the vehicle will not center on the rollers, repeat step 5.6.4 until the vehicle is centered.

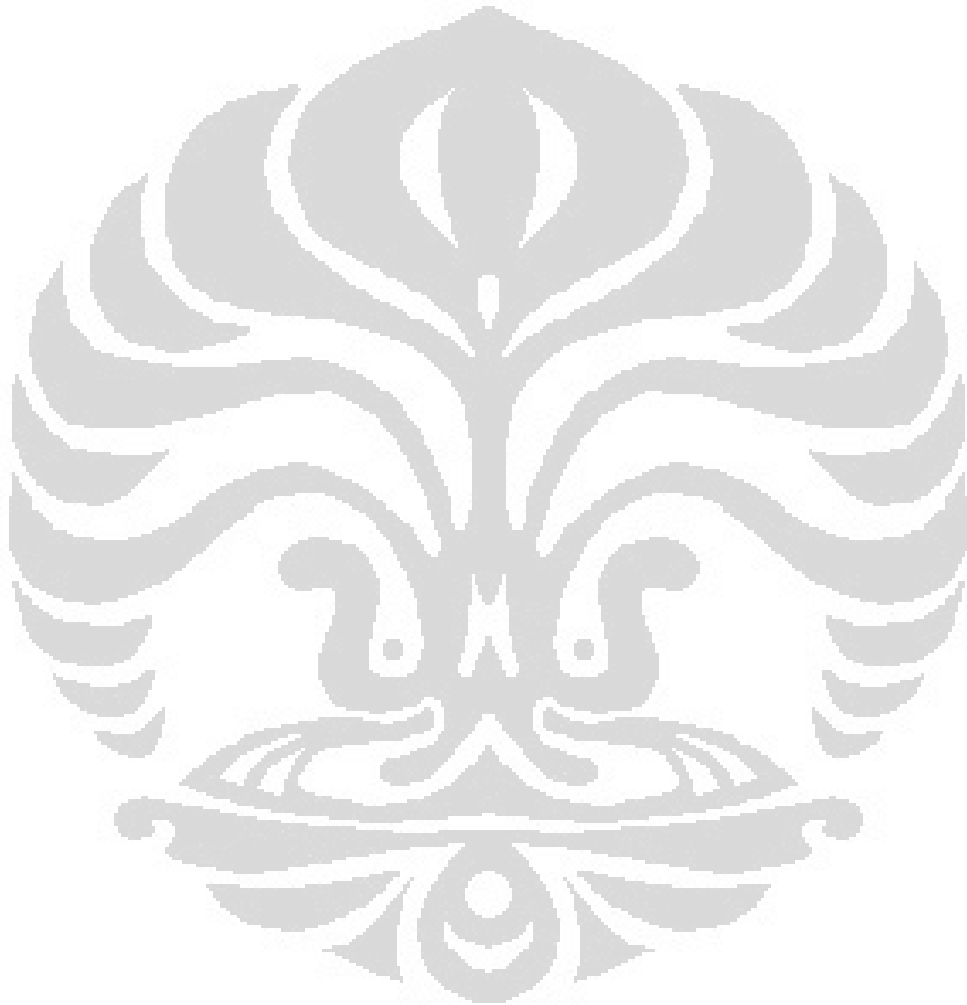
- 5.6.6 Place fan(s) in front of the vehicle and turn them on. Fans should be placed to simulate road air flow, not to exceed 2.5 m<sup>3</sup>/s (5300 ft<sup>3</sup>/min).
- 5.6.7 Attach tie-down straps to the vehicle.
- 5.6.8 Place wheel chocks at the non-driving wheels.

### CAUTION

**High Voltage may be present. To prevent personnel injury or equipment damage, use extreme caution when hooking up instrumentation leads.**

- 5.6.9 Hook up vehicle instrumentation leads to the DAS.
- 5.7 Determination of Dynamometer and Tire Parasitic Losses
  - 5.7.1 Place the vehicle in neutral.
  - 5.7.2 Set the inertial weight to the lowest appropriate weight. Record the weight on Appendix B.
  - 5.7.3 Using the motor on the dynamometer, run the vehicle for a minimum of ten minutes for tire warm-up.
  - 5.7.4 Record the tire temperatures on Appendix B.
  - 5.7.5 Using the dynamometer motor, accelerate the vehicle to 63 mph.
  - 5.7.6 Shift to neutral and coast to 9 mph.
  - 5.7.7 Record the tire temperatures and parasitic loss coefficients on Appendix B.
  - 5.7.8 Save the data on the DAS.
  - 5.7.9 Repeat this test at each applicable inertial weight. Record the inertial weights used and the results of each run on Appendix B.
- 5.8 Set up the dynamometer to achieve the desired coast-down times.
  - 5.8.1 Determine the coastdown time in the 55-45 mph speed range using an initial estimate of the A and C coefficients.
  - 5.8.2 If measured coastdown times are not within 1.5% of the desired coastdown times, adjust A and C as necessary until three consecutive coastdown times fall into the 3% ( $\pm 1.5\%$ ). Record the numerical results on Appendix B.
- 5.9 If the adjustment to A and C are greater than 3% from the initial calibration (the first time this procedure was conducted for the vehicle), an attempt to determine the cause of the “drift” should be

undertaken. This evaluation should include both the vehicle and the dynamometer.



## 6.0 Road Load Test Cycle

The purpose of this section is to determine the range achievable by an electric vehicle when subjected to the test schedules identified in SAE J1634. This section selectively implements portions of SAE J1634 in support of this purpose. The actual dynamometer instructions are developed by the entity operating the dynamometer and shall be used in conjunction with this procedure. As such, this procedure may be used at any facility utilizing a Clayton IM-240 Electric Dynamometer.

This procedure performs SAE Standard J1634 testing at an ambient temperature of  $77^{\circ}\text{F} \pm 9^{\circ}\text{F}$ . The load cycles shall follow the UDS road load schedule contained in SAE Standard J1634. Test room temperatures shall be controlled in accordance with existing facility instructions.

- 6.1 Conduct a warm-up of the dynamometer as follows:
  - 6.1.1 Verify that the proper inertia weight for the vehicle to be tested has been selected. Record this weight on Appendix C.
  - 6.1.2 Check the roller area and inform other people in the area that dynamometer operation is about to start.
  - 6.1.3 Verify that the rollers are clear of personnel and debris, cables, etc.
  - 6.1.4 Set the run time to at least 15 minutes and turn on the dynamometer motor. Monitor vibration levels for anomalies. Terminate operation if vibration levels exceed the manufacturer's/operator's recommended maximum or alert levels. Record the maximum allowable and achieved vibration levels on Appendix C.
- 6.2 Conduct a speed calibration of the dynamometer unit.
- 6.3 Conduct a torque calibration of the dynamometer and control system.
- 6.4 Conduct a calibration of the Data Acquisition System (DAS).
- 6.5 Conduct the SAE J1634 Road Load Simulation test as follows:
  - 6.5.1 Verify that the required ambient temperature in the test chamber has existed for at least 12 hours.
  - 6.5.2 Verify that the DAS instrumentation is connected.
  - 6.5.3 Verify the test vehicle has shaved tires installed with cold inflation tire pressures of  $50 \text{ psig} \pm 0.5 \text{ psig}$ . Record on Appendix C.
  - 6.5.4 Turn on the cooling fan(s).

- 6.5.5 Complete an initial tire warm-up for at least 15 minutes.
- 6.5.6 Enter the final A and C coefficients into the dynamometer control system. These were obtained in Step 5.8 of this procedure.
- 6.5.7 Record tire temperature on Appendix C.
- 6.5.8 Disconnect the vehicle from the charger.

**NOTE**

The SOC indicator reading shall be recorded at each significant datum (F, 1/2, 1/4, E, etc.).

- 6.5.9 Record traction battery SOC indicator reading on Appendix C.
- 6.5.10 The minimum traction battery voltage to be allowed during the test shall be obtained from ETA-UAC006, "Vehicle Verification." Record this value on Appendix C.
- 6.5.11 Record ambient temperature of test room on Appendix C.
- 6.5.12 Notify test vehicle driver that the test is about to begin.
- 6.5.13 Begin the test sequence of the SAE J1634 UDS Road Load Cycle.
- 6.5.14 Monitor the driver's performance and note the time, odometer reading, speed and distance at which an excursion from the drive cycle occurs, as well as the reason(s) for any such excursions on Appendix C.
- 6.5.15 Follow the Clayton software through both Urban Drive Cycles.
- 6.5.17 If the vehicle finishes the UDS cycles, complete the following:
  - 6.5.17.1 Turn off the fan(s)
  - 6.5.17.2 Turn off the ignition key
  - 6.5.17.3 Wait ten (10) minutes. Record the times on Appendix C.
  - 6.5.17.4 Take tire temperatures. Record on Appendix C.
- 6.5.18 Restart the Dynamometer Road Load test (two UDS cycles) at ten minutes after shut-down..

**NOTE**

Test termination criteria contained in SAE J1634 shall be the official method of determining vehicle distance traveled. However, this is not necessarily the criterion for terminating the test cycle. Testing shall be terminated based on traction battery voltage, or battery capacity as indicated by the sustained inability of the vehicle to attain or maintain speed, as opposed to the criteria contained in SAE J1634. **This is a deviation from the requirements of SAE J1634.**

6.5.19 Terminate the test based on the depletion of the vehicle batteries. Battery depletion shall be based on the manufacturer's specification of minimum voltage identified in ETA-UAC006, "Vehicle Verification," or by the Test Director or Test Manager.

6.5.20 Upon completion of the test, record the following on Appendix C:

6.5.20.1 Time of day

6.5.20.2 Test time

6.5.20.3 Odometer reading

6.5.20.4 Dynamometer distance

6.5.20.5 Total distance

6.5.20.6 Distance to SAE J1634 Cutoff criteria

6.5.20.7 Final SOC indicator reading

6.5.20.8 Final tire temperatures.

6.5.21 Remove the vehicle from the dynamometer.

**NOTE**

DC energy consumption may be calculated for the combined UDS-HWFET, a UDS cycle or a HWFET cycle. The equation is the same, but only the energy withdrawn during the test being evaluated should be used.

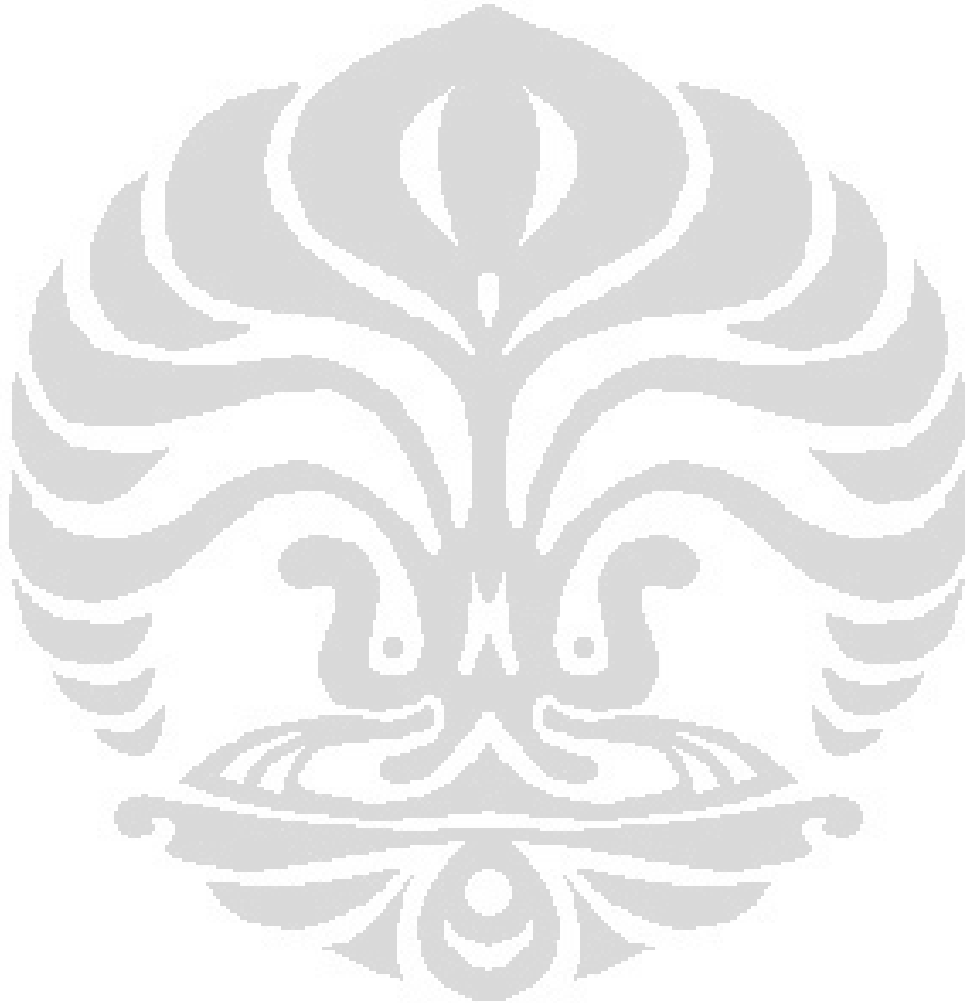
6.6 Calculate the DC energy consumption in Wh/mi delivered by the battery up to the point of test termination (where the test is officially terminated to the requirements of SAE J1634), using the following equation:

6.6.1 Using the official mileage from the test cycle, complete the following calculation:

	DC Energy from Battery During
Cycle	

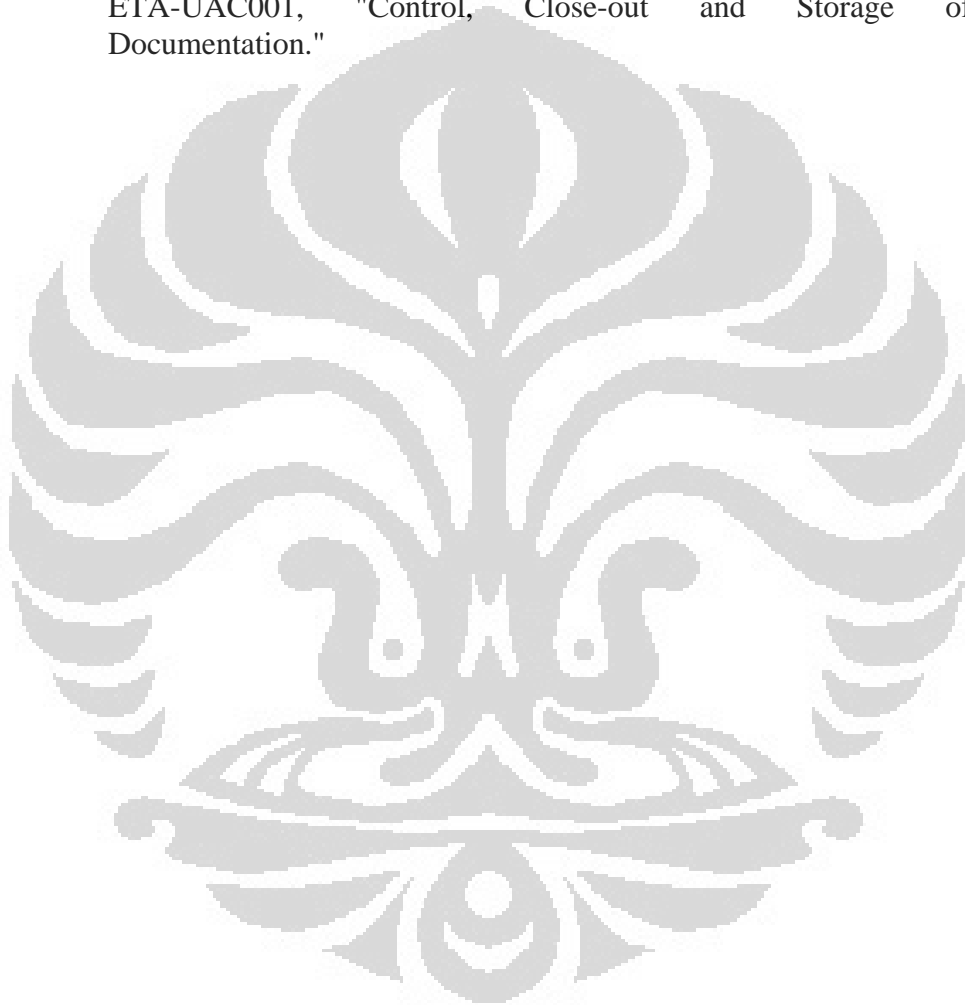
Vehicle DC Energy Consumption = -----  
-----  
(with units of DC Wh/mile)                      Distance Traveled

- 6.6.2 The system AC energy consumption shall be completed in accordance with ETA-UTP008, "Battery Charging." **This is a departure from the requirements of SAE J1634.**



## 7.0 Data Reduction and Acceptability Criteria

- 7.1 The requirements for data reduction are specifically addressed in Section 10 of SAE J1263. Refer to that standard when clarification for utilizing these techniques is required.
- 7.2 Acceptability requirements are presented in Section 10.4 of SAE J1263.
- 7.3 Distribution, Retention and destruction of all test documents shall be in accordance with the requirements identified in Procedure ETA-UAC001, "Control, Close-out and Storage of Documentation."





## 8.0 Glossary

- 8.1 Data Reduction - The techniques for analyzing a set of coastdown data and the correction factors employed in the determination of the coefficients of the road load equation. These corrected coefficients are used to set up the dynamometer to match the 55-45 mph coastdown time targets.
- 8.2 Effective Date - The date, after which a procedure has been reviewed and approved, that the procedure can be utilized in the field for official testing.
- 8.3 Effective Mass - The sum of the test mass and the effective inertia's of the driven and non-driven axles.
- 8.4 Gross Vehicle Weight Rating (GVWR) - The maximum design loaded weight of the vehicle specified by the manufacturer.
- 8.5 Initial Conditions - Conditions that must exist prior to an event occurring.
- 8.6 Prerequisites - Requirements that must be met or resolved prior to an event occurring.
- 8.7 Program Manager - As used in this procedure, the individual within Electric Transportation Applications responsible for oversight of the UEV America Performance Test Program. [Subcontract organizations may have similarly titled individuals, but they are not addressed by this procedure.]
- 8.8 Shall - Items which require adherence without deviation. Shall statements identify binding requirements. A go, no-go criterion.
- 8.9 Should - Items which require adherence if at all possible. Should statements identify preferred conditions.
- 8.10 State of Charge (SOC) - For this testing, the SOC of a battery is defined as the expected residual battery capacity, expressed in amperes-hours or watt-hours or miles, as a percentage of the total available. The 100% SOC basis (available ampere-hours, kilowatt hours or miles) is determined by the actual discharge capability of the main propulsion battery when discharged to the requirements of the 35 mph Constant Speed Range Test portion of procedure ETA-UTP004.
- 8.11 Test Director - The individual within Electric Transportation Applications responsible for all testing activities associated with the UEV America Performance Test Program.
- 8.12 Test Director's Log - A daily diary kept by the Test Director, Program Manager, Test Manager or Test Engineer to document major activities and decisions that occur during the conduct of a Performance Test Evaluation Program. This log is normally a running commentary, utilizing timed and dated entries to document the days activities. This log is edited to develop the Daily Test Log published with the final report for each vehicle.

## 8.0 Glossary (continued)

- 8.13 Test Engineer - The individual(s) assigned responsibility for the conduct of any given test. [Each contractor/subcontractor should have at least one individual filling this position. If so, they shall be responsible for adhering to the requirements of this procedure.]
- 8.14 Test Manager - The individual within Electric Transportation Applications responsible for the implementation of the test program for any given vehicle(s) being evaluated to the requirements of the UEV America Performance Test Program. [Subcontract organizations may have similarly titled individuals, but they are not addressed by this procedure.]
- 8.15 Test Mass/Weight - The mass/weight of the vehicle as tested; including driver, operator (if necessary) and all instrumentation.



## 9.0 References

- 9.1 SAE Recommended Practice - "Road Load Measurement and Dynamometer Simulation Using Coastdown Techniques." - SAE J1263 Feb96
- 9.2 SAE Recommended Practice - "Electric Vehicle Energy Consumption and Range Test Procedure." SAE J1634, May93
- 9.3 UEV America Technical Specifications
- 9.4 ETA-UAC001, Revision 0 - "Control, Close-out and Storage of Documentation"
- 9.5 ETA-UAC002, Revision 0 - "Control of Test Conduct"
- 9.6 ETA-UAC004, Revision 0 - "Review of Test Results"
- 9.7 ETA-UAC005, Revision 0 - "Training and Certification Requirements For Personnel Utilizing ETA Procedures"
- 9.8 ETA-UAC006, Revision 0 - "Vehicle Verification"
- 9.9 ETA-UAC007, Revision 0 - "Control of Measuring and Test Equipment"
- 9.10 ETA-UTP001, Revision 0 - "Road Load Measurement and Dynamometer Simulation Using Coastdown Techniques"
- 9.11 ETA-UTP004, Revision 0 - "Electric Vehicle Range at Steady Speed Test"
- 9.12 ETA-UTP005, Revision 0 - "Electric Vehicle Rough Road Course Test"
- 9.13 ETA-UTP008, Revision 0 - "Battery Charging"
- 9.14 ETA-UTP009, Revision 0 - "Measurement and Evaluation of Magnetic Fields Generated by Electric Vehicles",
- 9.15 ETA-UTP010, Revision 0 - "Battery Charger Test"
- 9.16 ETA-UTP011, Revision 0 - "Receipt Inspection"

**APPENDIX-A**  
**Electric Vehicle Metrology Setup Sheets**  
**(Page 1 of 1)**

Vehicle VIN: \_\_\_\_\_

Instrument/Device:	Calibration Due Date:	Initials / Date:
Fifth Wheel S/N:		
Fifth Wheel Calibrator S/N:		
DAS S/N:		
DAS Set-up Sheet S/N		
kWh Meter S/N:		
Shunt S/N:		
Tire Pressure Gauge S/N:		
Misc:		
Misc:		
Misc:		
Misc:		
Comments (initials/date):		
Completed By:		
(Printed Name)	(Signature)	(Date)
Reviewed By (QA):		
(Printed Name)	(Signature)	(Date)

**APPENDIX-B  
SAE J1634 Test Data Sheet  
(Page 1 of 3)**

**VIN Number:** \_\_\_\_\_

Project No.:	Test Date(s):
Root File No.:	
Test Driver: (Initials)	(Date)
Test Engineer: (Initials)	(Date)

**Vehicle Setup**

VEHICLE WEIGHTS AS TESTED WITH DRIVER & INSTRUMENTATION (Curb weight plus 332 pounds)			
Left Front: (lbs or kg)	Right Front: (lbs or kg)	Total Front: (lbs or kg)	Percent Front: %
Left Rear: (lbs or kg)	Right Rear: (lbs or kg)	Total Rear: (lbs or kg)	Percent Rear: %
		Total Weight:	(lbs or kg)
COLD (SHAVED) TIRE PRESSURE (50 psig ±0.5 psig)			
Left Front: (psig or kPa)		Right Front (psig or kPa)	
Left Rear (psig or kPa)		Right Rear psig or kPa (	

**Determination of Dynamometer and Tire Parasitic Losses**

Inertial Weight Setting:				
TIRE WARM-UP TEMPERATURES				
Left Front: (°F or °C)		Right Front: (°F or °C)		
Left Rear: (°F or °C)		Right Rear: (°F or °C)		
Parasitic Loss - V _____				
	Base	_____	_____	_____
C1				
C2				
C3				
C4				
Tire Temperatures [°F]				
	Base	_____	_____	_____
Left				
Right				

**APPENDIX-B**  
**SAE J1634 Test Data Sheet**  
**(Page 2 of 3)**

VIN Number: \_\_\_\_\_

Repeatability: \_\_\_\_\_

Parasitic Loss -V _____				
	Base	_____	_____	_____
C1				
C2				
C3				
C4				
Tire Temperatures [°F]				
	Base	_____	_____	_____
Left				
Right				
Parasitic Loss -V _____				
	Base	_____	_____	_____
C1				
C2				
C3				
C4				
Tire Temperatures [°F]				
	Base	_____	_____	_____
Left				
Right				
Parasitic Loss -V _____				
	Base	_____	_____	_____
C1				
C2				
C3				
C4				
Tire Temperatures [°F]				
	Base	_____	_____	_____
Left				
Right				



**APPENDIX-C**  
**SAE J1634 Road Test**  
**Data Sheet (Page 1 of 2)**

**VIN Number:** \_\_\_\_\_

Inertial Weight Setting: <small>(lbs)</small>	Maximum Allowable Vibration:
<b>TIRE PRESSURES (50 psig <math>\pm</math>0.5 psig)</b>	
Left Front: <small>(psig or kPa)</small>	Right Front <small>(psig or kPa)</small>
Left Rear <small>(psig or kPa)</small>	Right Rear <small>(psig or kPa)</small>
<b>TIRE TEMPERATURES</b>	
Left Front: <small>(°F or °C)</small>	Right Front: <small>(°F or °C)</small>
Left Rear: <small>(°F or °C)</small>	Right Rear: <small>(°F or °C)</small>
Traction Battery State of Charge:	
Minimum Allowable Traction Battery Voltage:	
Test Room Ambient Temperature:	<small>(°F or °C)</small>
<b>EXCURSIONS FROM TEST CYCLE (see next page)</b>	
Odometer Reading:	Time Waited:
<b>TIRE TEMPERATURES</b>	
Left Front: <small>(°F or °C)</small>	Right Front: <small>(°F or °C)</small>
Left Rear: <small>(°F or °C)</small>	Right Rear: <small>(°F or °C)</small>
Time of Day:	Test Time:
Odometer Reading:	Total Distance:
<b>FINAL TIRE TEMPERATURES</b>	
Left Front: <small>(°F or °C)</small>	Right Front: <small>(°F or °C)</small>
Left Rear: <small>(°F or °C)</small>	Right Rear: <small>(°F or °C)</small>

**Excursions from Drive Cycle:**

Time:	Speed:	Distance:	Comments:	Initials:





**APPENDIX-D**  
**SAE J1634 Energy Efficiency Calculation Data Sheet (Page 1 of 1)**

**VIN Number:** \_\_\_\_\_

AC into the Charger: _____ <small>(kWh)</small>	DC into the battery: _____ <small>(kWh)</small>
Calculations (initials/date): System DC Energy Consumption = $\frac{\text{DC Energy from Battery While Driving}}{\text{Distance Traveled}}$ System DC Energy Consumption = _____ = _____ <small>(with units of DC Wh/mile)</small> <small>(with units of DC Wh/mile)</small>	
Completed By: (Printed Name) _____	(Signature) _____ (Date) _____
Reviewed By: (Printed Name) _____	(Signature) _____ (Date) _____
Approved By: (Printed Name) _____	(Signature) _____ (Date) _____

