



UNIVERSITAS INDONESIA

**PROTOTIPE MOBIL LISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN
MOTOR DC MAGNET PERMANEN 0,37 HP**

SKRIPSI

**M ANDRI ZUMAIN
04 05 23 032 9**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA EKSTENSI
DEPOK
JULI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PROTOTIPE MOBIL LISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN
MOTOR DC MAGNET PERMANEN 0,37 HP**

SKRIPSI

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

**M ANDRI ZUMAIN
04 05 23 032 9**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : M ANDRI ZUMAIN

NPM : 04 05 23 032 9

Tanda Tangan :

Tanggal : 06 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

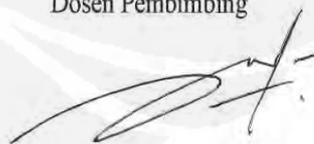
Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : M Andri Zumain
NPM : 04 05 23 032 9
Program Studi : Teknik Elektro

Skripsi dengan judul :

Prototipe Mobil Listrik Dengan Menggunakan
Motor DC Magnet Permanen 0,37 HP

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi sarjana teknik pada program studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan dalam ujian skripsi.

Depok, 17 juni 2009
Dosen Pembimbing



(Dr. Ir. Feri Yusivar M.Eng)

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : M Andri Zumain

NPM : 04 05 23 032 9

Program Studi : Teknik Elektro

Judul Skripsi : Prototipe Mobil Listrik Dengan Menggunakan Motor DC Magnet
Permanen 0,37 HP

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Feri Yusivar M.Eng ()

Penguji : Ir. Wahidin Wahab MSc, PhD ()

Penguji : Ir. Aries Subiantoro M. SEE ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Juni 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Feri Yusivar M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua tercinta, kakak-kakak dan adikku, serta Cacha yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
- (3) Teman-teman yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini Bapak Adi Purnomo, Helly Andri, Setyadi, Surya dan yang lainnya tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu

Depok, 06 Juli 2009

M Andri Zumain

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : M Andri Zumain
NPM : 04 05 23 032 9
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

Prototipe Mobil Listrik Dengan Menggunakan Motor DC Magnet Permanen 0,37 HP.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 06 Juli 2009
Yang menyatakan

(M Andri Zumain)

M Andri Zumain
NPM : 04 05 23 032 9
Electrical Engineering Department

The lecturer of consultant
Dr. Ir. Feri Yusivar M.Eng

Electrical Car Prototype Using DC Motor With Permanent Magnet 0,37 HP

ABSTRAC

The concept of the electric car is not new thing. The essential battery technology was developed in the late nineteenth century and many such cars were being manufactured by 1900. The advances in the automotive technology have increased the need of the fossil fuel for the conventional vehicle. With the increased of the fossil fuel price, so the electric car developments would be the problem solver on this case.

The uses of the electric car is considered as an effective way to reduce the impact of the air pollution problem and The other reason of uses of the electric vehicles is because of it has more simple machines construction. Every electric car needs an electric machine to move it on. So that, in this final assignment is released a simple electric car which uses a dc motor with permanent magnet at its stator. The reason of uses of this motor is because the dc motor is well proven device and has been used for many years on electric car. It is called as dc motor with permanent magnet because it uses two or more permanent magnet in its stator. Mean while the rotating part or rotor consists of winding that connected to mechanical commutator through the carbon brush.

The advances in battery technology have increased the range of power and speed of the electric vehicles. Battery is considered as important component in the electric car because of its function as the source of the renewable energy. So that electric car is expected to be powerful and mechanically more dependable and durable than its fossil fuelled car equivalent.

Keywords : electric car, dc motor with permanent magnet, inverter, dc drive.

M Andri Zumain
NPM : 04 05 23 032 9
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Feri Yusivar M.Eng

Prototipe Mobil Listrik Dengan Menggunakan Motor DC Magnet Permanen 0,37 HP

ABSTRAK

Konsep mobil listrik bukanlah barang baru. Seiring bertambah majunya teknologi baterai pada akhir abad ke 19, beberapa kendaraan listrik sudah mulai dibuat. Perkembangan dunia otomotif, menyebabkan peningkatan kebutuhan akan bahan bakar minyak yang dipakai sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Dengan kenaikan harga minyak bumi yang terus meningkat, maka pengembangan mobil listrik berpeluang besar menjadi penyelesaian masalah tersebut.

Penggunaan mobil listrik dirasa efektif selain tidak menimbulkan polusi udara dan konstruksi mesinnya yang lebih sederhana. Penggunaan mobil listrik tentunya membutuhkan mesin listrik. Pada skripsi ini telah dilakukan pembuatan mobil listrik sederhana yang menggunakan motor listrik jenis motor dc dengan magnet permanen pada statornya. yaitu motor dc, karena motor dc lebih mudah diatur kecepatan putarnya dibandingkan dengan motor ac. Disebut sebagai motor dc magnet permanen karena motor ini menggunakan dua atau lebih magnet permanen pada statornya. Sedangkan bagian motor yang berputar, atau rotor, terdiri dari lilitan yang akan terhubung pada suatu komutator mekanik melalui karbon *brush*.

Dengan berkembangnya teknologi baterai maka berpengaruh terhadap meningkatnya kemampuan dan kecepatan mobil listrik, karena fungsi baterai yang sangat vital sebagai sumber tenaga listrik yang dapat diisi kembali. Pada akhirnya mobil listrik ini diharapkan untuk dapat lebih cepat dan lebih bertenaga serta memiliki ketahanan (kemampuan yang lebih) dibandingkan dengan mobil konvensional berbahan bakar minyak fosil.

Kata kunci : mobil listrik, motor dc magnet permanen, inverter, dc drive.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMAKASIH	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN TUGAS AKHIR	1
1.3 BATASAN MASALAH	2
1.4 SISTEMATIKA PENULISAN	2
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 TERMINOLOGI DASAR	4
2.1.1 Gaya	4
2.1.2 Torsi	4
2.1.3 Kecepatan	6
2.1.4 Kecepatan Pada Objek Berputar	6
2.1.5 Percepatan	7
2.2 MOTOR DC	8
2.2.1 Karakteristik Motor DC seri	10
2.2.2 Konstruksi Motor DC	11
2.2.3 Prinsip Kerja Motor DC	14
2.2.4 Pengaturan Kecepatan Putaran Motor DC	15
2.2.5 Torsi Motor Listrik	17

2.2.6	Rating Motor DC	18
2.3	BATERAI	19
2.3.1	Saat Baterai Aki Menerima Arus	21
2.3.2	Kapasitas Baterai	22
2.3.3	Faktor Yang Mempengaruhi Kapasitas Aki	23
2.4	INVERTER	23
2.5	<i>DC DRIVE</i>	26
2.6	POTENSIOMETER	27
2.7	<i>GEARBOX</i>	28
2.7.1	Roda Gigi	29
2.7.2	Perbandingan Roda Gigi	30
2.8	KONSEP MOBIL LISTRIK	30
2.9	BLOK DIAGRAM MOBIL LISTRIK YANG KOMPLEK	33
2.9.1	Jenis Motor Penggerak Pada Mobil Listrik	35
BAB III PERANCANGAN SISTEM		40
3.1	PERANCANGAN DIAGRAM BLOK	42
3.2	PERANCANGAN DUDUKAN MOTOR	44
3.3	PERANCANGAN SISTEM MEKANIK	46
3.4	PERANCANGAN SISTEM ELEKTRIK	49
3.5	PERAKITAN ALAT	55
3.6	CARA KERJA ALAT	58
BAB IV PENGUKURAN DAN ANALISA SISTEM		60
4.1	PENGUKURAN DAN ANALISA SISTEM MEKANIK	60
4.1.1	Hasil Pengukuran Sistem Mekanik	61
4.1.2	Analisa Hasil Pengukuran Sistem Mekanik	61
4.2	PENGUKURAN DAN ANALISA SISTEM ELEKTRIK	64
4.2.1	Pengukuran Pada Output Baterai	66
4.2.1.1	Hasil Pengukuran Dengan Menggunakan Multimeter Digital	66

4.2.1.2	Analisa Hasil Pengukuran Dengan Perhitungan Secara Teori	66
4.2.2	Pengukuran Pada output Inverter	70
4.2.2.1	Hasil Pengukuran Dengan Menggunakan Multimeter Digital	70
4.2.2.2	Analisa Hasil Pengukuran Dengan Perhitungan Secara Teori	71
4.2.3	Pengukuran Pada Output <i>DC Drive</i>	75
4.2.3.1	Hasil Pengukuran Dengan Menggunakan Multimeter Digital	75
4.2.3.2	Analisa Hasil Pengukuran Dengan Perhitungan Secara Teori	76
4.3	PERFORMANSI DAN SPESIFIKASI MOBIL LISTRIK	80
BAB V PENUTUP		82
5.1	KESIMPULAN	82
5.2	SARAN	83
DAFTAR PUSTAKA		84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Torsi pada porosnya	4
Gambar 2.2 Torsi pada pengungkit	5
Gambar 2.3 Ilustrasi kecepatan suatu objek	6
Gambar 2.4 Ilustrasi kecepatan putar suatu objek	6
Gambar 2.5 Ilustrasi percepatan suatu objek	7
Gambar 2.6 Ilustrasi percepatan dan perlambatan suatu objek	7
Gambar 2.7 Motor dc	8
Gambar 2.8 Rangkaian motor seri	9
Gambar 2.9 Rangkaian motor shunt	9
Gambar 2.10 Rangkaian motor compound	10
Gambar 2.11 Karakteristik motor DC seri bermagnet permanen	11
Gambar 2.12 Konstruksi mesin dc	12
Gambar 2.13 Konstruksi stator motor dc	12
Gambar 2.14 Rotor atau jangkar motor dc	12
Gambar 2.15 Komutator	13
Gambar 2.16 <i>Brush</i> dan pemegangnya	13
Gambar 2.17 Prinsip kerja motor dc	15
Gambar 2.18 Pengaturan kecepatan dengan mengatur tahanan medan	16
Gambar 2.19 Pengaturan kecepatan pada tegangan terminal	16
Gambar 2.20 Pengaturan kecepatan pada medan shunt	17
Gambar 2.21 Hubungan antara torsi dan kecepatan	18
Gambar 2.22 Contoh <i>nameplate</i> motor dc	18
Gambar 2.23 Sel baterai	20
Gambar 2.24 Simbol inverter (konverter dc ke ac)	24
Gambar 2.25 Rangkaian pengubah tegangan dc ke ac dengan model jembatan	25
Gambar 2.26 Bentuk tegangan keluaran	25
Gambar 2.27 Potensiometer putar dan geser	27
Gambar 2.28 <i>Nameplate</i> untuk <i>gearbox</i> yang memiliki rasio 1 : 28	28

Gambar 2.29 Rasio roda gigi (<i>Gear ratios</i>)	29
Gambar 2.31 Blok diagram mobil listrik yang sudah kompleks	33
Gambar 2.32 Karakteristik pengontrolan	34
Gambar 2.33 Motor ac pada mobil listrik	35
Gambar 2.34 Motor yang dikontrol secara elektrtonik	37
Gambar 2.35 Motor dc seri yang dikontrol menggunakan thyristor	38
Gambar 3.1 Ilustrasi mobil listrik	40
Gambar 3.2. Blok diagram perancangan sistem mobil listrik	42
Gambar 3.3 Perancangan dudukan motor menggunakan <i>corel draw</i>	45
Gambar 3.4 Dudukan motor setelah pengecatan	46
Gambar 3.5 Perancangan batang as menggunakan <i>corel draw</i>	47
Gambar 3.6 Batang as untuk <i>gear</i> penggerak melalui proses pembubutan	48
Gambar 3.7 <i>Gear</i> penggerak melalui proses pembubutan	48
Gambar 3.8 Proses batang as dengan mesin bubut	49
Gambar 3.9 Motor dc magnet permanen yang dipakai pada mobil listrik ini	51
Gambar 3.10 Bagian-bagian motor dc magnet permanent	51
Gambar 3.11 Pengontrol tegangan dc (<i>dc drive</i>)	52
Gambar 3.12 Potensiometer 10 K Ω	53
Gambar 3.13 Inverter (a) tampak atas, (b) tampak depan dan (c) tampak belakang	54
Gambar 3.14 Baterai yang dipakai pada mobil listrik	55
Gambar 3.15 Hasil perakitan perangkat mekanik mobil listrik	56
Gambar 3.16 Skema perakitan untuk pengontrol tegangan dc	57
Gambar 3.17 Hasil perakitan potensiometer pada rangka mobil listrik	58
Gambar 4.1 Rangkaian pengukuran pada sistem elektrik	65
Gambar 4.2 Grafik hasil pengukuran pada output baterai	69
Gambar 4.3 Grafik hasil pengukuran pada output inverter	74
Gambar 4.4 Grafik hasil pengukuran pada output dc drive	79
Gambar 4.5 Minimum turning radius mobil listrik	80

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data hasil pengukuran pada output baterai	68
Tabel 2 Data hasil pengukuran pada output inverter	73
Tabel 3 Data hasil pengukuran pada output <i>dc drive</i>	77
Tabel 4 Performansi dan Spesifikasi mobil listrik	81

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Perkembangan dunia otomotif, menyebabkan peningkatan kebutuhan akan bahan bakar minyak yang dipakai sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Dengan kenaikan harga minyak bumi yang terus meningkat (meskipun tren harga minyak akhir-akhir ini sedang turun), maka tidak ada salahnya kalau industri otomotif mulai mengembangkan mobil hybrid, dan mobil listrik.

Penggunaan mobil listrik dirasa efektif selain tidak menimbulkan polusi udara dan konstruksi mesinnya yang lebih sederhana. Penggunaan mobil listrik tentunya membutuhkan mesin listrik, yaitu motor dc, karena motor dc lebih mudah diatur kecepatan putarnya dibandingkan dengan motor ac.

Motor dc yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu motor dc dengan magnet permanen pada statornya. Disebut demikian karena motor ini menggunakan dua atau lebih magnet permanen pada statornya. Sedangkan bagian motor yang berputar, atau rotor, terdiri dari lilitan yang akan terhubung pada suatu komutator mekanik melalui karbon brush.

Alasan penulis memanfaatkan motor dc jenis ini, karena motor dc jenis ini mempunyai kelebihan yaitu dapat dengan mudah untuk digerakkan untuk dua arah putaran (*reversible*) hanya dengan mengubah polaritas positif (+) dan negative (-) pada tegangan dc sumbernya. Selain itu motor dc jenis ini juga memiliki rating putaran rpm yang tinggi (sampai 3000 rpm).

1.2 TUJUAN TUGAS AKHIR

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang bangun prototipe mobil listrik menggunakan motor dc magnet permanen.
2. Sebagai cikal bakal (embrio) pengembangan kendaraan listrik yang lebih kompleks dimasa mendatang.

1.3 BATASAN MASALAH

Pada tugas akhir ini hanya akan membahas pada konsep mobil listrik murni, pengaturan kecepatan motor dc dengan menggunakan *dc drive*.

Motor dc jenis ini mempunyai keunggulan dibanding dengan motor dc yang lain, akan tetapi pada operasinya masih muncul suatu masalah, yaitu karena motor dc jenis ini tidak memiliki torsi yang besar, hanya sekitar 0,37 HP. Sehingga pada saat motor dibebani, maka untuk dorongan putaran awal kurang kuat untuk bergerak.

Untuk mengatasi masalah itu maka diperlukan tambahan dengan memakai perangkat *gearbox* sehingga berakibat pada penurunan kecepatan, namun menghasilkan dampak positif berupa peningkatan torsi.

Pengaturan kecepatan motor menggunakan potensiometer geser yang dihubungkan pada bagian input *setpoint* perangkat *dc drive*, sedangkan perubahan arah putaran motor dilakukan secara manual dengan menggunakan switch dpdt yang akan mengubah polaritas positif (+) dan negative (-) pada tegangan masukan ke motor dc. Karena dc drive yang digunakan membutuhkan tegangan masukan 220 volt ac, maka dibutuhkan perangkat inverter yang akan menyediakan tegangan sebesar 220 volt ac untuk *dc drive*. Inverter berfungsi mengubah daya dc menjadi daya ac yang presisi. Daya dc disediakan oleh dua buah baterai yang dipakai untuk periode waktu yang terbatas, tergantung pada kapasitas baterai. Daya yang ada pada baterai akan berkurang, sampai pada akhirnya habis sehingga baterai tersebut harus diisi ulang (*charging*) dengan menggunakan *charger* baterai sehingga daya dc yang ada pada baterai tersebut dapat digunakan lagi untuk digunakan pada masukan tegangan inverter.

1.4 SISTEMATIKA PENULISAN

Dalam penulisan tugas akhir ini akan disusun secara sistematis yang terdiri atas bagian-bagian yang saling berhubungan sehingga diharapkan akan mudah dipahami dan dapat diambil manfaatnya. Adapun uraian singkat tentang hal ini adalah sebagai berikut.

Bab I Pendahuluan

Berisi latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

Bab II Landasan Teori

Teori Motor dc, inverter, pengontrol tegangan dc (*dc drive*), baterai dan potensiometer, konsep mobil listrik.

Bab III Perancangan Sistem

Perancangan mobil listrik dan cara kerja alat.

Bab IV Uji Coba dan Analisa

Menampilkan hasil uji coba disertai analisa dari sistem mobil listrik.

Bab V Penutup

Berisikan beberapa kesimpulan dari dasar-dasar system dan perancangan system, serta saran agar tercapai system yang baik.

Daftar Pustaka**Lampiran**

BAB II

DASAR TEORI

Sebelum mendiskusikan motor dc maupun motor ac, penting bagi kita untuk mengetahui beberapa terminologi dasar yang berhubungan dengan sistem operasi motor secara umum. Banyak dari terminologi ini yang sering kita gunakan dalam beberapa konteks lainnya, antara lain: gaya, gaya bersih, torsi, inersia, gesekan, kecepatan, percepatan dan perlambatan, dan terminologi lainnya.

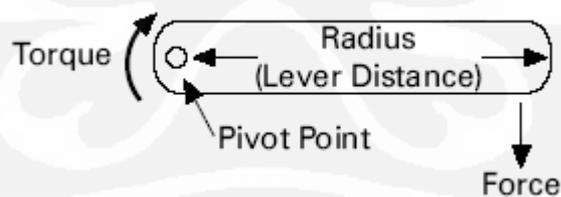
2.1 TERMINOLOGI DASAR

2.1.1 Gaya

Dalam terminologi umum, suatu gaya adalah tarikan atau dorongan. Gaya dapat dihasilkan oleh elektromagnet, gravitasi, atau kombinasi dari gaya-gaya fisik lain. Gaya mempunyai satuan newton (N).

2.1.2 Torsi

Torsi adalah gaya puntir yang dapat menyebabkan suatu objek berputar. Sebagai contoh, suatu gaya yang diterapkan terhadap ujung pengungkit menyebabkan efek puntir atau torsi pada titik porosnya.



Gambar 2.1 Torsi pada porosnya

Torsi (T) dihasilkan dari perkalian hasil gaya dan jari-jari (panjang lengan pengungkit) dan diberi satuan N-m.

$$T = F \cdot r$$

Dimana

$$T = \text{Torsi (Nm)}$$

$F = \text{Gaya (N)}$

$r = \text{Jari-jari (m)}$

Gaya untuk motor listrik dapat kita hitung dengan rumus:

$$F = B \cdot I \cdot l$$

Dimana

$B = \text{kuat medan magnet (Wb / m}^2\text{)}$

$I = \text{arus yang mengalir pada lilitan motor (A)}$

$l = \text{panjang kawat lilitan (m)}$

Berdasarkan aturan tangan kiri *Fleming's* maka rumus diatas dapat dikembangkan lebih lanjut untuk menghitung torsi motor dengan sejumlah lilitan *armature* sebagai berikut.

$$T = B \cdot I \cdot l \cdot r \cdot Z$$

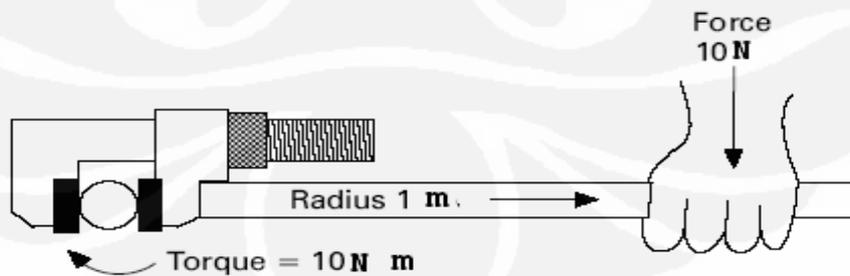
Dimana

$T = \text{torsi (Nm)}$

$r = \text{Jari- jari } \textit{armature} \text{ (m)}$

$Z = \text{jumlah lilitan } \textit{armature} \text{ yang aktif}$

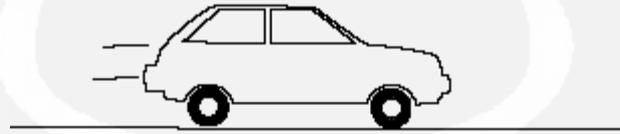
Dari persamaan diatas terlihat bahwa penambahan nilai gaya atau jari-jari, akan meningkatkan torsi. Sebagai contoh, jika gaya 10 N diterapkan pada pengungkit dengan panjang 1 m, maka torsi yang dihasilkan adalah sebesar 10 N-m. Penambahan besar gaya menjadi 20 N, atau panjang pengungkit menjadi 2 m, akan meningkatkan torsi menjadi sebesar 20 N-m.



Gambar 2.2 Torsi pada pengungkit

2.1.3 Kecepatan

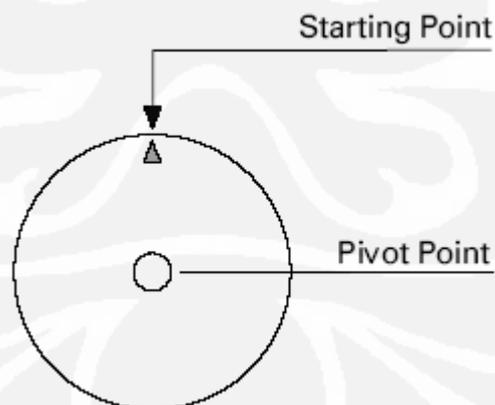
Suatu objek yang bergerak akan menempuh jarak tertentu dalam waktu yang ditentukan. Kecepatan adalah perbandingan jarak tempuh dan waktu yang digunakan untuk menempuhnya. Contoh, suatu mobil menempuh jarak 60 km dalam waktu satu jam. Maka kecepatan mobil tersebut adalah 60 km/jam.



Gambar 2.3 Ilustrasi kecepatan suatu objek

2.1.4 Kecepatan Pada Objek Berputar

Kecepatan juga diterapkan untuk benda yang berputar, seperti ban mobil atau as motor. Dalam hal ini dikenal dengan kecepatan putar. Kecepatan dari benda yang berputar adalah suatu ukuran berapa lama suatu titik pada benda yang berputar dapat menyelesaikan satu perputaran penuh. Kecepatan putar suatu benda umumnya dinyatakan dalam putaran per menit (RPM- *revolution per minute*). Suatu benda yang berhasil membuat sepuluh putaran penuh dalam dalam satu menit mempunyai kecepatan 10 RPM.



Gambar 2.4 Ilustrasi kecepatan putar suatu objek

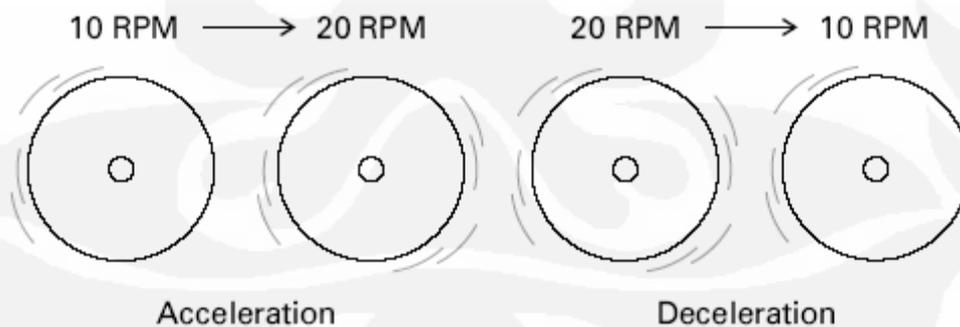
2.1.5 Percepatan

Suatu objek dapat berubah kecepatannya. Perubahan kecepatan ini disebut dengan percepatan. Percepatan hanya terjadi ketika ada perubahan pada gaya total (gaya bersih) yang bekerja pada objek, yang menyebabkan perubahan kecepatan. Suatu mobil menambah kecepatan dari 30 km/jam menjadi 60 km/jam, berarti telah ada perubahan kecepatan sebesar 30 km/jam. Suatu objek dapat juga berubah dari kecepatan tinggi ke kecepatan yang lebih rendah. Hal ini disebut dengan perlambatan (*deceleration /negative acceleration*).



Gambar 2.5 Ilustrasi percepatan suatu objek

Percepatan dan perlambatan juga dapat diterapkan untuk objek yang berputar. Sebagai contoh, suatu objek yang berputar dapat dipercepat dari 10 RPM menjadi 20 RPM, atau diperlambat dari 20 RPM menjadi 10 RPM.



Gambar 2.6 Ilustrasi percepatan dan perlambatan suatu objek

2.2 MOTOR DC

Motor listrik menggunakan energi listrik dan energi magnet untuk menghasilkan energi mekanis. Operasi motor tergantung pada interaksi dua medan magnet. Secara sederhana dikatakan bahwa motor listrik bekerja dengan prinsip bahwa dua medan magnet dapat dibuat berinteraksi untuk menghasilkan gerakan. Tujuan motor adalah untuk menghasilkan gaya yang menggerakkan (torsi).

Sedangkan motor arus searah (dc) digunakan dimana kontrol torsi dan kecepatan dengan rentang yang lebar diperlukan untuk memenuhi kebutuhan aplikasi. Arah putaran motor dc magnet permanen ditentukan oleh arah arus yang mengalir pada kumparan jangkar (*armature*). Pembalikan ujung-ujung jangkar tidak membalik arah putaran. Salah satu keistimewaan motor dc ini adalah kecepatannya dapat dikontrol dengan mudah. Kecepatan motor magnet permanen berbanding langsung dengan harga tegangan yang diberikan pada kumparan jangkar. Semakin besar tegangan jangkar, semakin tinggi kecepatan motor.

Berikut ini salah satu contoh motor dc yang banyak digunakan di dunia industri :

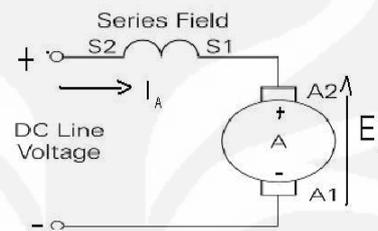


Gambar 2.7 Motor dc

Ada beberapa tipe motor dc yang berbeda-beda dalam metode penggunaannya antara lain :

a. Motor dc jenis seri

Motor dc jenis seri terdiri dari medan seri yang dibuat dari sedikit lilitan kawat besar yang dihubungkan seri dengan jangkar. Jenis motor dc ini mempunyai karakteristik torsi start dan kecepatan variabel yang tinggi, ini berarti bahwa motor dapat start atau dapat menggerakkan beban yang sangat berat, tetapi kecepatan akan bertambah kalau beban turun.



Gambar 2.8 Rangkaian motor seri

b. Motor dc jenis *shunt*

Kumparan medan shunt dibuat dengan banyak lilitan kawat kecil, karena itu mempunyai tahanan yang tinggi. Motor *shunt* mempunyai rangkaian jangkar dan medan yang dihubungkan paralel yang memberikan kekuatan medan dan kecepatan motor yang sangat konstan. Untuk membalik motor dc *shunt*, adalah dengan membalik aliran arus pada medan *shunt* atau jangkar.

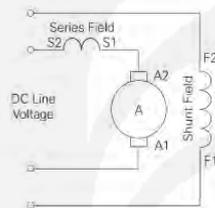


Gambar 2.9 Rangkaian motor *shunt*

c. Motor dc jenis *compound*

Motor dc jenis ini menggunakan lilitan seri dan *shunt*. Hubungan dua lilitan ini menghasilkan karakteristik pada motor medan *shunt* dan

motor medan seri. Kecepatan motor tersebut bervariasi lebih sedikit dibandingkan motor shunt, tetapi tidak sebanyak motor seri. Motor dc jenis *compound* juga mempunyai torsi starting yang agak besar, jauh lebih besar dibandingkan dengan motor *shunt*, tetapi sedikit lebih kecil dibandingkan motor seri. Keistimewaan gabungan ini membuat motor *compound* memberikan variasi penggunaan yang luas. Biasanya motor dipasang untuk mengerjakan pekerjaan tertentu yang memerlukan arah putaran yang tepat. Arah putaran motor dc tergantung pada arah medan dan arah aliran arus pada jangkar.



Gambar 2.10 Rangkaian motor *compound*

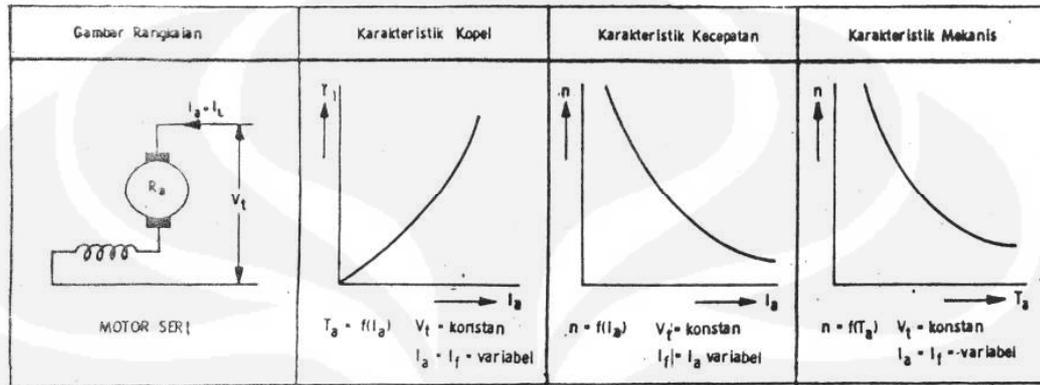
d. Motor dc dengan magnet permanen

Motor (dc) magnet permanen menggunakan magnet permanen untuk menyuplai fluks magnet. Motor dc jenis ini, memiliki torsi *start* dan regulasi kecepatan yang bagus. Kekurangan dari motor dc jenis ini adalah keterbatasan dari besar beban yang dapat ditarik. Motor ini tersedia pada alat-alat dengan HP rendah. Elektromagnetik digunakan untuk medan sekunder atau fluks jangkar. Gambar 6 menggambarkan operasi motor magnet permanen. Arus mengalir melalui kumparan jangkar dari sumber tegangan DC, menyebabkan jangkar beraksi sebagai magnet. Kutub jangkar ditarik kutub medan dari polaritas yang berbeda, menyebabkan jangkar berputar.

2.2.1 Karakteristik Motor DC Seri

Seperti yang telah dijelaskan pada penjelasan di atas bahwa motor dc seri terdiri dari medan seri yang dibuat dari sedikit lilitan kawat besar yang dihubungkan seri dengan jangkar. Jenis motor dc ini mempunyai karakteristik torsi start dan kecepatan variabel yang tinggi, ini berarti

bahwa motor dapat start atau dapat menggerakkan beban yang sangat berat, tetapi kecepatan akan bertambah kalau beban turun. Oleh karena motor dc magnet permanen yang digunakan merupakan motor dc jenis seri maka berikut ini ditampilkan karakteristik untuk motor dc seri :

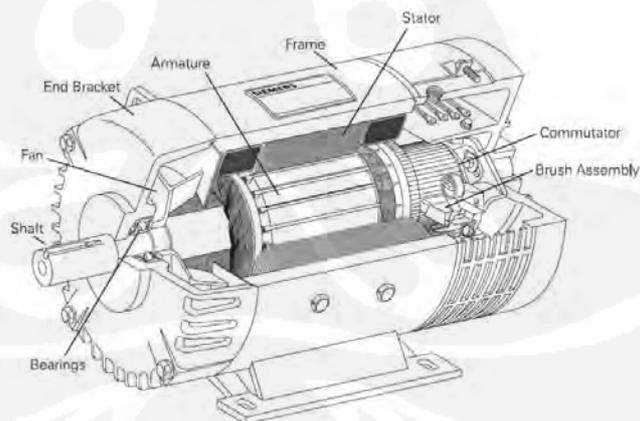


Gambar 2.11 Karakteristik motor DC seri bermagnet permanen

2.2.2 Konstruksi Motor DC

Secara umum konstruksi motor arus searah (dc) adalah seperti gambar

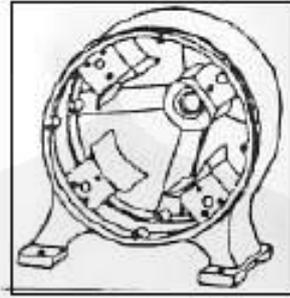
2.12.



Gambar 2.12 Konstruksi mesin dc

a. Stator motor dc

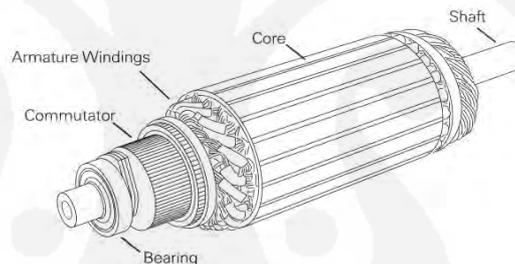
Fungsi stator sebagai bagian dari rangkaian magnetik, dan oleh karenanya mempunyai seperangkat kutub medan yang dipasang dan disebelah dalam stator.



Gambar 2.13 Konstruksi stator motor dc

b. Rotor atau jangkar motor dc

Fungsi dari rotor atau jangkar yaitu untuk merubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk gerak putar. Rotor terdiri dari poros baja dimana tumpukan keping-keping inti yang berbentuk silinder dijepit. Pada inti terdapat alur-alur dimana lilitan rotor diletakkan.



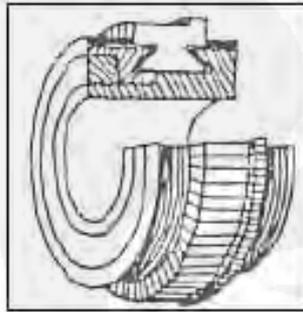
Gambar 2.14 Rotor atau jangkar motor dc

c. Komutator

Konstruksi dari komutator terdiri dari batangan tembaga yang dikeraskan (*drop forged*) yang diisolasi dengan sejenis mika. Fungsi komutator ini adalah mengumpulkan arus induksi dari konduktor jangkar dan mengkonversinya menjadi arus searah melalui sikat.

Secara mekanik motor dc merupakan alat yang kompleks, dan cenderung banyak persoalan. Sebagai contoh, kotoran pada komutator, dapat menghambat suplai listrik menuju rotor. Beberapa jenis perawatan dibutuhkan pada saat menggunakan motor dc, pada beberapa pemakain dengan lingkungan tertentu. Misalnya pada lingkungan asam, akan

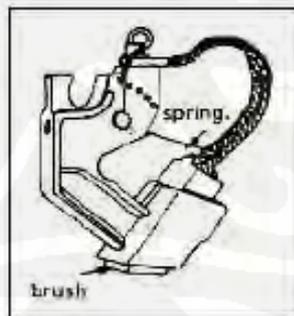
memunculkan karat yang dapat merusak komutator. Akibatnya, gesekan antara karbon dan komutator dapat menyebabkan arus singkat yang dapat membahayakan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.15 Komutator

d. Sikat (*Brush*)

Sikat (*brushes*) terbuat dari karbon, *graphite*, logam *graphite* atau campuran karbon dan grafit yang dilengkapi dengan pegas penekan dan kontak sikatnya. *Brushes* biasanya dipasang dengan menumpangkannya pada sisi komutator untuk menyuplai listrik ke motor.



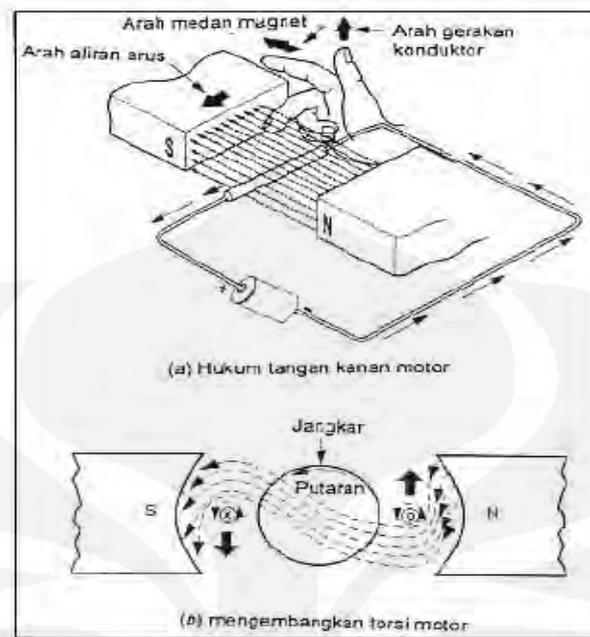
Gambar 2.16 *Brush* dan pemegangnya

Pegas digunakan untuk menekan sikat agar terjadi kontak dengan permukaan segmen komutator untuk menyalurkan arus listrik. Jadi *brush* selalu tertekan ke *segment*. Ini untuk menjamin koneksi elektrik yang bagus. Karbon yang ada diusahakan memiliki konduktivitas yang tinggi

untuk mengurangi rugi-rugi listrik, dan koefisien gesekan yang rendah untuk mengurangi keausan (*excessive wear*).

2.2.3 Prinsip Kerja Motor DC

Berdasarkan pada prinsip kemagnetan, maka motor dc menggunakan prinsip kemagnetan diatas. Penghantar yang mengalirkan arus ditempatkan tegak lurus pada medan magnet, cenderung bergerak tegak lurus terhadap medan. Besarnya gaya yang didesakkan untuk menggerakkan berubah sebanding dengan kekuatan medan magnet, besarnya arus yang mengalir pada penghantar, dan panjang penghantar. Untuk menentukan arah gerakan penghantar yang mengalirkan arus pada medan magnet, digunakan hukum tangan kanan motor (Gambar 2.17 (a)). Ibu jari dan dua jari yang pertama dari tangan kanan disusun sehingga saling tegak lurus satu sama lain dengan menunjukkan arah garis gaya magnet dari medan, dan jari tengah menunjukkan arah arus yang mengalir (min ke plus) pada penghantar. Ibu jari akan menunjukkan arah gerakan penghantar, seperti diperlihatkan pada (Gambar 2.17 (b)). Gambar tersebut menggambarkan bagaimana torsi motor dihasilkan oleh kumparan yang membawa arus atau loop pada kawat yang ditempatkan pada medan magnet. Interaksi pada medan magnet menyebabkan pembengkokan garis gaya. Apabila garis cenderung lurus keluar, pembengkokan tersebut menyebabkan loop mengalami gerak putaran. Penghantar sebelah kiri ditekan kebawah dan penghantar sebelah kanan ditekan keatas, menyebabkan putaran jangkar berlawanan dengan arah putaran jarum jam.



Gambar 2.17 Prinsip kerja motor dc

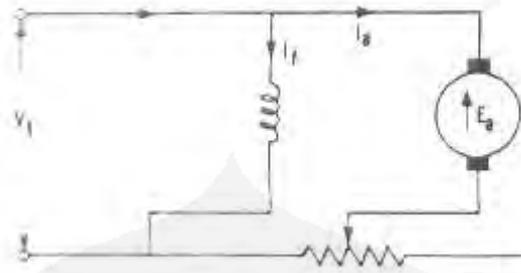
2.2.3 Pengaturan Kecepatan Putaran Motor DC

Motor dc magnet permanen adalah motor yang fluks magnet utamanya dihasilkan oleh magnet permanen. Karena nilai fluks magnet konstan (tetap), maka pengendalian kecepatan putaran motor dc ini dilakukan dengan cara mengubah tegangan masukan.

Pengaturan kecepatan memegang peranan penting dalam motor arus searah, karena motor arus searah mempunyai karakteristik kopel-kecepatan yang lebih menguntungkan dibandingkan dengan jenis motor yang lainnya. Tiga cara pengaturan kecepatan motor arus searah :

1. Pengaturan kecepatan dengan mengatur tahanan medan

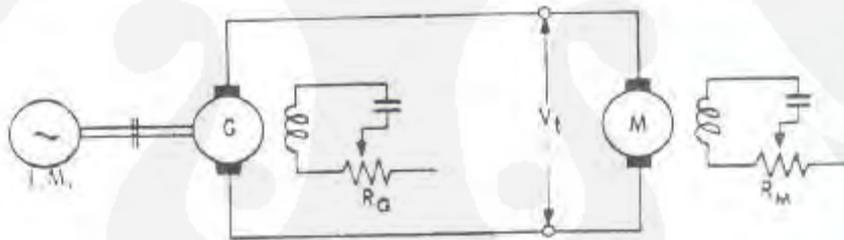
Pengaturan kecepatan motor dapat dilakukan dengan mengubah tahanan medan dengan menambahkan tahanan medan pada kumparan motor maka akan mengurangi arus, akibatnya torsi juga akan turun maka kecepatan turun.



Gambar 2.18 Pengaturan kecepatan dengan mengatur tahanan medan

Dengan menyisipkan tahanan variabel secara seri terhadap tahanan jangkar, sehingga dengan demikian tahanan jangkar pun dapat diatur, berarti pula kecepatan motor dapat dikontrol. Namun cara ini jarang dipakai, karena penambahan tahanan seri terhadap tahanan jangkar menimbulkan rugi panas yang cukup besar.

2. Pengaturan kecepatan dengan mengatur tegangan terminal (V_t).



Gambar 2.19 Pengaturan kecepatan pada tegangan terminal

Jika Tegangan sumber (V_T) naik maka Arus (I_A) juga akan naik maka torsi juga akan naik pada saat kejenuhan kecepatan motor akan tetap. Penggerak mula (biasanya motor induksi) digunakan untuk menggerakkan generator pada suatu kecepatan yang konstan. Perubahan resistansi medan akan mengubah tegangan V_t yang diberikan pada motor. Perubahan ini mempunyai batas yang cukup lebar.

Kadang-kadang pengaturan V_t ini juga disertai dengan pengaturan fluks medan motor Φ , yaitu dengan mengatur tahanan medan (R_m). Cara ini akan menghasilkan suatu pengaturan kecepatan yang sangat halus dan

banyak dipakai untuk lift, mesin bubut dan lain-lainnya. Namun satu-satunya kerugian sistem ini adalah biaya yang sangat tinggi, akibat dari penambahan generator dan penggerak mula.

3. Pengaturan kecepatan dengan mengatur medan *shunt* (Φ)



Gambar 2.20 Pengaturan kecepatan pada medan *shunt*

Dengan menyisipkan tahanan variabel yang dipasang secara seri terhadap kumparan medan (pada motor *shunt*), maka dapat diatur arus medan I_f dan fluksnya. Cara ini sangat sederhana dan murah, selain itu rugi panas yang ditimbulkan kecil pengaruhnya. Karena besarnya fluks yang bisa dicapai oleh kumparan medan terbatas, kecepatan yang dapat diatur juga terbatas. Kecepatan terendah didapat dengan membuat tahanan variabel sama dengan nol, sedangkan kecepatan tertinggi dibatasi oleh perencanaan mesin dimana gaya sentrifugal maksimum tidak sampai merusak rotor. Kopel maksimum didapatkan pada kecepatan terendah. Motor yang biasa diatur dengan cara ini adalah motor *shunt* atau motor *compound*.

2.2.4 Torsi Motor Listrik

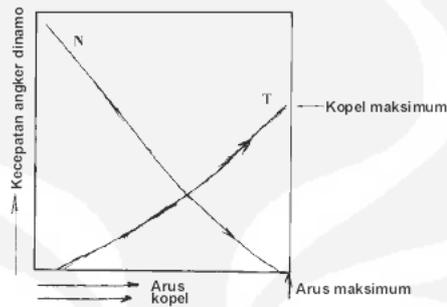
Untuk motor listrik, torsi adalah perbandingan langsung hasil dari flux magnet dengan arus. Poros armatur kecepatannya bertambah, torsinya berkurang.

$$\text{Torsi} = \text{flux magnet} \times \text{arus}$$

$$T = \Phi \times I \text{ (Nm)}$$

Untuk motor dc arus yang mengalir secara maksimum adalah kondisi berhenti yakni kecepatan armatur adalah nol revolusi/menit. Dibawah ini flux

magnet berinteraksi antara medan magnet armatur dan medan utama, akibatnya terjadi torsi maksimum. Kecepatan armatur bertambah, aliran listrik dari motor starter berkurang, akibatnya torsi berkurang. Di bawah ini ditunjukkan diagram hubungan antara torsi dengan kecepatan motor dc.



Gambar 2.21 Hubungan antara torsi dan kecepatan

2.2.5 Rating Motor DC

Name Plate pada motor merupakan kumpulan data (informasi) penting yang menjelaskan rating dan spesifikasi yang terkait dengan motor tersebut. *Name plate* sangat dibutuhkan pada saat proses perancangan suatu sistem yang menggunakan motor sebagai penggerakannya. Spesifikasi berikut biasanya disebutkan di dalam *nameplate*: Tipe dan desain rangka, Hp pada kecepatan tertentu, Temperatur *ambient* maksimum, klas isolasi, kecepatan pada tingkat beban tertentu, tegangan jangkar, tegangan medan, jenis kumparan medan (*shunt*, *series*, *compound*, *permanent magnet*), dan jenis *enclosure*.

SIEMENS					
HP	10	RPM	1180	VOLTS	500
ARM AMPS	17.0	WOUND	SHUNT		
FLD AMPS	1.4/2.8	FLD OHMS 25C	156		
INSUL CLASS	F	DUTY	CONT	MAX AMBIENT	40° C
PAR SUP CODE	C	FLD VOLTS	300/150		
TYPE	E	ENCL	DP	INSTR	
MOD			SER		
NPS0047026AP				DIRECT CURRENT MOTOR MADE IN U.S.A.	

Gambar 2.22 Contoh *nameplate* motor dc

2.3 BATERAI

Apabila dua macam batang logam kita masukkan kedalam larutan, yang didalam ilmu kimia, dinamakan garam, asam dan basa, serta selanjutnya dari luar dihubungkan satu sama lain dengan sebuah penghantar, maka ternyata ia dapat dilalui arus. Susunan yang terdiri dari larutan tadi (elektrolit), dengan kedua batang logam (elektroda) kita sebut sebagai sel atau elemen.

GGL suatu elemen sama sekali tidak bergantung pada ukuran-ukurannya, tetapi hanya bergantung pada elektrolit dan elektroda yang kita gunakan. Tahanan dalam sebuah elemen bergantung pada jarak antara elektroda-elektroda dan kepada penampang. Sehingga tahanan dalam elemen berbanding lurus dengan jarak antara elektroda, namun sebaliknya tahanan dalam elemen berbanding terbalik dengan penampang elektroda. Batang logam yang dipergunakan sebagai elektroda dapat berupa seng dan tembaga, batang seng tersebut lambat-laun akan habis karena proses kimia, oleh karena itu maka elemen yang mempunyai ukuran yang besar akan lebih lama memberikan arus. Bergantung kepada ukurannya, sebuah elemen dapat memberikan sejumlah arus listrik tertentu. Apabila dinyatakan kekuatannya adalah 10 Amp.jam, maka ini berarti bahwa hasil perkalian dari arus yang keluar dan lama waktu yang diberikan adalah 10. Tetapi jangan keliru bahwa selama 10 jam terus-menerus elemen tersebut dapat memberikan arus sebesar 1 Amp, karena ini terlalu berat bagi elemen tersebut untuk melakukannya. Kumpulan dari beberapa elemen tersebut kita sebut sebagai baterai/ aki/ *accu*.

Baterai merupakan bagian yang cukup vital pada kendaraan listrik dalam hal menyimpan energi listrik untuk dapat digunakan sebagai daya penggerak motor dan kontrolnya. Baterai adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian / *charge* energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran / *discharge* energi kimia diubah menjadi energi listrik (ketika baterai tersebut memberikan arus). Elektroda, yang juga dinamakan sebagai pelat-pelat aki, terdiri dari pelat-pelat positif dan negatif. Pelatnya sendiri terdiri dari rangka yang dibuat dari timah keras dan didalamnya terdapat superoksida timah yang berwarna coklat. Superoksida timah inilah yang merupakan masa aktif dari elektroda dan

yang tercampur dengan kotoran-kotoran (*chloor* misalnya), yang berakibat rusaknya pelat-pelat tersebut. Biasanya pabrik pembuat baterai aki menyertakan jenis asam sulfat seperti apa yang dapat dipakai untuk baterai aki tersebut. asam sulfat pekat tadi harus dicampur dengan air sulingan. Apabila kita kesulitan untuk mendapatkan air suling tersebut, maka sebagai pengganti air hujanlah yang paling bagus, ditampung dalam bejana gelas bersih, setelah hujan turun beberapa lama (jadi kotoran-kotoran dari udara telah hilang).

Baterai aki yang telah kosong tidak boleh didiamkan saja dan harus lekas kita isi kembali, karena sulfat timah tadi akan berubah menjadi kristal yang akan menutupi lubang-lubang masa aktif dan menghalangi asam masuk ke dalamnya. Baterai dalam keadaan tak terisi (*discharge*). Air memiliki berat jenis 1 kg/dm^3 (1 kg per 1000 cm^3 atau 1 liter) dan asam sulfat memiliki berat jenis $1,285 \text{ kg/dm}^3$ pada suhu 20 derajat Celcius.

- kg = kilogram
- dm^3 = decimeter kubik = liter
- cm^3 = centimeter kubik / cc (centimeter cubic)
- $1 \text{ dm} = 1 \text{ liter} = 1000 \text{ cm}^3 = 1000 \text{ cc}$

2.3.1 Saat Baterai Aki Menerima Arus

Baterai yang menerima arus adalah baterai yang sedang diisi dengan cara dialirkan listrik DC, dimana kutub positif baterai dihubungkan dengan arus listrik positif dan kutub negatif dihubungkan dengan arus listrik negatif. Tegangan yang dialiri biasanya sama dengan tegangan total yang dimiliki baterai, artinya baterai aki 12 V dialiri tegangan 12 V DC, baterai aki 6 V dialiri tegangan 6 V DC, dan dua baterai aki 12 V yang dihubungkan secara seri dialiri tegangan 24 V DC (baterai aki yang dihubungkan seri total tegangannya adalah jumlah dari masing-masing tegangan baterai: $(\text{Voltase}_1 + \text{Voltase}_2 = \text{Voltase}_{\text{total}})$).

Pada saat baterai aki menerima arus, mula-mula tegangannya akan mengalami kenaikan dengan cepat dan kemudian akan mengalami kenaikan lagi hingga mencapai tegangan maksimumnya. Apabila tegangan maksimum itu telah dicapai, maka kita akan lihat baterai aki tersebut ” mendidih ”, yaitu karena gelembung-gelembung gas yang terdapat dilarutan elektrolit. Zat cair dan asam

akan dipisahkan dari larutan asam sulfat dan meninggalkan larutan elektrolit. Pada pelat negatif dipisahkan dua bagian zat cair dan satu bagian zat asam pada pelat positifnya.

Campuran kedua gas ini menimbulkan gas yang mudah meletus apabila dibakar itulah sebabnya gas ini disebut sebagai gas letus. Oleh karena itu, pada saat proses pengisian baterai aki kita dilarang membawa sesuatu yang mudah terbakar (api) didekatnya. Selama proses pengisian baterai aki, maka berat jenis elektrolit akan naik sampai $1,24 \text{ kg/dm}^3$. Apabila tegangan maksimum baterai aki telah tercapai, dan berat jenis larutan asam tidak mengalami kenaikan lagi setelah ditunggu beberapa lama, maka kita dapat menghentikan proses pengisian tersebut.

Cara yang tepat untuk memeriksa baterai aki baik dalam keadaan kosong maupun berisi, ialah dengan mengukur tegangan jepit dan berat jenis asamnya. Namun dari kedua cara pemeriksaan tersebut, pengukuran berat jenis larutan asam dengan alat hydrometer adalah lebih tepat dari pada melihat besarnya tegangan jepit. Setelah kita menghentikan proses pengisian baterai aki, maka tegangan jepitnya akan turun sebesar 2 %..

Berapa kuat arus (ampere) yang harus dialiri bergantung juga dari kapasitas yang dimiliki baterai tersebut.

2.3.2 Kapasitas Baterai

Kapasitas baterai adalah jumlah ampere jam ($Ah = \text{kuat arus/Ampere} \times \text{waktu/hour}$), artinya baterai dapat memberikan/menyuplai sejumlah isinya secara rata-rata sebelum tiap selnya menyentuh tegangan/voltase turun (*drop voltage*) yaitu sebesar 1,75 V (ingat, tiap sel memiliki tegangan sebesar 2 V; jika dipakai maka tegangan akan terus turun dan kapasitas efektif dikatakan sudah terpakai semuanya bila tegangan sel telah menyentuh 1,75 V). Misal, baterai 12 V 75 Ah. Baterai ini bisa memberikan kuat arus sebesar 75 Ampere dalam satu jam artinya memberikan daya rata-rata sebesar 900 Watt. Secara hitungan kasar dapat menyuplai alat berdaya 900 Watt selama satu jam atau alat berdaya 90 Watt selama 10 jam. Jadi ampere hour (Ah) adalah satuan banyaknya listrik. Jumlah Ah

yang harus diberikan pada proses pengisian tentu lebih besar dari Ah yang diberikan oleh baterai aki.

Hasil bagi antara kapasitas dalam Ah terhadap besarnya Ah pada proses pengisian kemudian dikalikan dengan 100 % disebut sebagai randemen Ah dari baterai aki. Untuk baterai aki yang baru randemennya berkisar antara 90 % sampai 95 %.

2.3.3 Faktor Yang Mempengaruhi Kapasitas Aki

a. Jumlah bahan aktif

Makin besar ukuran pelat yang bersentuhan dengan cairan elektrolit maka makin besar kapasitasnya makin banyak pelat yang bersentuhan dengan cairan elektrolit maka makin besar kapasitasnya. Jadi untuk mendapatkan kapasitas yang besar luas pelat dan banyaknya pelat haruslah ditingkatkan.

b. Temperatur

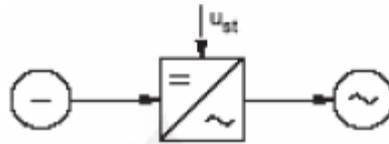
Makin rendah temperatur (makin dingin) maka makin kecil kapasitas baterai saat digunakan karena reaksi kimia pada suhu yang rendah makin lambat tidak peduli apakah arus yang digunakan tinggi ataupun rendah. Kapasitas baterai biasanya diukur pada suhu tertentu, biasanya 25 derajat Celcius.

b. Waktu dan arus pengeluaran

Pengeluaran lambat (berupa pengeluaran arus yang rendah) mengakibatkan waktu pengeluaran juga makin lama pemakaiannya. Sebaliknya jika arus pengeluarannya besar maka energi yang tersimpan pada baterai aki akan cepat habis.

2.4 INVERTER

Inverter (*konverter dc to ac*) merupakan suatu perangkat yang dipakai untuk mengubah daya arus searah (dc) menjadi daya arus bolak-balik (ac), yang tegangan dan frekuensinya dapat diatur (presisi). Tegangan bolak-balik (ac) yang dihasilkan berbentuk gelombang persegi dan pada pemakaian tertentu diperlukan filter untuk menghasilkan bentuk gelombang sinus.



Gambar 2.24 Simbol inverter (konverter dc ke ac)

Pada umumnya suatu inverter terdiri dari rangkaian jembatan thyristor dan rangkaian pengatur penyalan. Rangkaian pengatur penyalan digunakan untuk mengatur tegangan dan frekuensi yang dihasilkan oleh inverter. Periode pulsa yang memacu thyristor akan menentukan frekuensi yang dihasilkan, sedangkan tegangan efektifnya ditentukan oleh lebar pulsa tersebut.

Berdasarkan bentuk gelombang keluarannya terdapat dua jenis inverter yaitu :

1. Inverter dengan tegangan dan frekuensi keluaran konstan.

Biasanya daya masukan system arus searah yang masuk ke inverter konstan dan tidak terbatas.

2. Inverter dengan tegangan dan frekuensi keluaran berubah-ubah.

Pada umumnya perbandingan tegangan dan frekuensi keluaran tetap dipergunakan bila sumber daya searah terbatas karena ketidakmampuan pembangkit listrik untuk menghasilkan tegangan yang konstan. Contohnya seperti pada pembangkit listrik tenaga surya (fotovoltaic). Prinsip kerjanya sama seperti inverter yang pertama, kecuali terdapat rangkaian yang dapat mengubah besar perubahan tegangan menjadi perubahan frekuensi keluaran .

Perbandingan tegangan dan frekuensi keluaran inverter dijaga tetap dengan mengubah-ubah jumlah pulsa pemacu pada setiap siklus sinusoidal. Jika tegangan masuk ke inverter besar, maka periode gelombang sinusoidal diperkecil agar daerah yang dibatasi oleh tegangan dan waktu selalu konstan. Dengan demikian daerah volt detik yang dibatasi oleh setengah siklus gelombang tegangan keluar harus sama pada semua frekuensi.

Sehingga dengan demikian saklar bekerja berganti-gantian akan menghasilkan tegangan bolak-balik yang berbentuk persegi yang besarnya ditentukan oleh sumber, dan frekuensinya ditentukan oleh kecepatan perpindahan saklar. Inverter sederhana yang menggunakan saklar mekanik memiliki banyak kekurangan dan kesukaran, oleh karena itu perlu dikembangkan. Thyristor dan kapasitor dapat digunakan sebagai pengganti saklar mekanik tersebut.

Penyalan kedua thyristor pada saat yang bersamaan akan menyebabkan terjadinya hubungan singkat pada jepitan sumber. Gelombang yang terjadi berbentuk gelombang persegi dan bila diperlukan dapat dibuat menjadi gelombang sinus melalui proses filtrasi dengan menggunakan filter.

2.5 DC DRIVE

DC drive (Pengontrol Tegangan dc) ini secara khusus dirancang untuk mengontrol kecepatan motor dc *shunt* dan motor dc dengan magnet permanent baik pada rotor ataupun statornya. *dc drive* ini ditujukan untuk dapat berfungsi pada power supply dengan range 110/120V ac atau 220/240V ac 50/60 Hz.

Pengontrolan yang terkait dengan motor dc dapat dicapai dengan menggunakan sebuah sinyal umpan balik *closed loop linear* yang bergantung pada tegangan armature motor dc tersebut, sehingga memungkinkan untuk dapat mempertahankan kecepatan motor yang konstan meskipun dengan beban motor yang bervariasi.

Proses pengukuran kecepatan motor dapat diperoleh dengan menggunakan sebuah tacho-generator, yang dihubungkan pada rotor motor, sehingga dapat menghasilkan sinyal umpan balik.

Dc drive ini dapat juga digunakan pada mode torsi motor yang linear dengan menggunakan suatu *setpoint* yang dapat diatur. Pengoperasian pada mode ini maka batas *over-speednya* diset sesuai *defaultnya*.

Apabila terjadi kelebihan beban atau juga terjadi *fault* pada rangkaian *field* dari *dc drive*, maka kedua hal ini akan menyebabkan *dc drive* ini mengalami *stalled*. Selanjutnya sebuah *timer stall* yang ada pada *dc drive* ini akan meniadakan arus pada motor kira-kira setelah 15 detik. Sehingga terhindar dari arus beban lebih pada *armature* karena sistem proteksi dari *over-current trip* tadi.

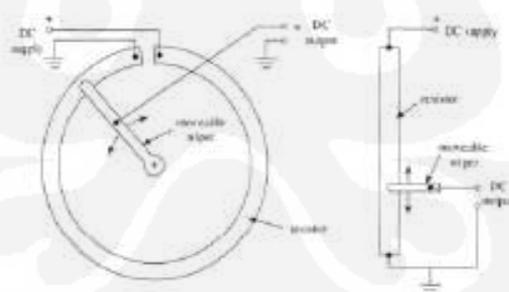
Stall merupakan suatu kejadian yang terjadi pada motor saat motor tersebut kehilangan kecepatannya yang diakibatkan oleh terjadinya trip (pendeteksian beban berlebih atau karena kesalahan (*fault*) pada *dc drive* tersebut).

Pada *dc drive* terdapat tiga macam terminal, yaitu : terminal kontrol, terminal power, dan terminal tambahan (*auxiliary*). Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas tentang *dc drive* ini, maka berikut ini diberikan penjelasan tentang pengertian dari masing-masing terminal tersebut :

2.6 POTENSIOMETER

Potensiometer terbagi menjadi dua jenis berdasarkan perbandingan perubahan nilai resistansi potensiometer dengan kedudukan kontak gesernya yaitu potensiometer linier dan potensiometer logaritmis. Potensiometer linier adalah jenis potensiometer yang perubahan nilai resistansinya sebanding dengan kedudukan kontak gesernya. Tetapi sebaliknya jika perubahan nilai resistansi

potensiometer tersebut tidak sebanding dengan kedudukan kontak gesernya maka potensiometer semacam ini disebut potensiometer disebut potensiometer logaritmis.



Gambar 2.27 Potensiometer putar dan geser

Potensiometer sebagai resistor yang nilai resistansinya dapat diubah-ubah, seperti yang tercantum dari namanya, memiliki sebuah terminal tahanan yang dapat diubah harganya dengan memutar dial, knob, ulir atau apa saja yang sesuai untuk suatu aplikasi. Mereka bisa memiliki dua atau tiga terminal, akan tetapi kebanyakan potensiometer memiliki tiga terminal. Dial, knob, dan ulir pada

tengah kemasannya mengendalikan gerak sebuah kontak yang dapat bergerak sepanjang elemen hambatan yang dihubungkan antara dua terminal luar. Tahanan antara terminal luar selalu tetap pada harga penuh yang terdapat pada potensiometer, tidak terpengaruhi pada posisi lengan geser. Dengan kata lain tahanan antar terminal luar untuk potensiometer 10 Kohm, akan selalu 10 Kohm, tidak ada masalah bagaimana kita putar elemen kendali. Tahanan antara lengan geser dan salah satu terminal luar dapat diubah-ubah dari harga minimum yaitu nol ohm sampai harga maksimum yang sama dengan harga penuh potensiometer tersebut. Jumlah tahanan antara lengan geser dan masing-masing terminal luar harus sama dengan besar tahanan penuh potensiometer. Apabila tahanan antara lengan geser dan salah satu kontak luar meningkat, maka tahanan antara lengan geser dan salah satu terminal luar yang lain akan berkurang.

2.7 GEARBOX

Untuk memperkuat torsi sebuah motor yang biasanya dinyatakan dalam kg-cm digunakan gear reduksi. Torsi diukur berdasarkan kemampuan sebuah tuas sepanjang 1 cm untuk menggerakkan benda sebesar x kg. Semakin lambat putaran motor akibat penambahan gear maka semakin kuat torsi yang dihasilkan. Perubahan putaran ini berbanding terbalik dengan perbedaan diameter gear. Kecepatan motor akan turun dua kali lipat untuk gear yang dua kali lebih besar. Perlu diperhatikan bahwa gear yang digunakan harus memiliki ukuran gigi yang sama persis.



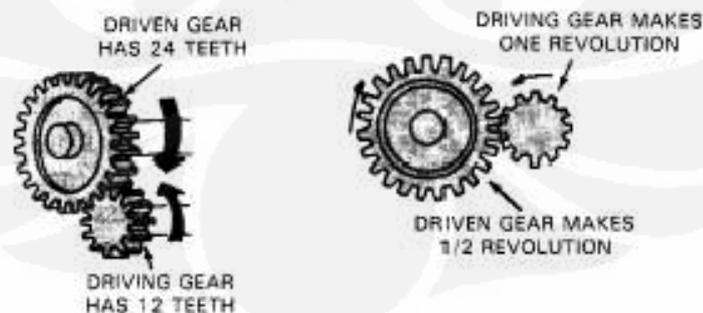
Gambar 2.28 Nameplate untuk gearbox yang memiliki rasio 1 : 28

Rasio dari sepasang roda gigi adalah perbandingan antara jumlah satu putaran roda gigi masukan dan jumlah 1 putaran penuh roda gigi keluaran. Roda gigi dengan jumlah gigi lebih banyak akan membuat putaran lebih kecil dibandingkan dengan roda gigi yang sedikit. Apabila terdapat roda gigi yang lebih dari dua maka perhitungan rasio tergantung dari susunan roda gigi tersebut. Pada transmisi roda gigi apabila pereduksian kecepatan maka torsi yang dihasilkan bertambah sehingga bisa diandaikan tidak ada tenaga yang hilang.

2.7.1 Roda Gigi

Roda gigi atau *gears* adalah roda yang terbuat dari besi yang mempunyai gerigi pada permukaannya. *Gear* disusun sedemikian rupa bekerja secara berpasangan dan setiap pasangan terdapat sebuah roda gigi yang menggerakkan (*driving gear*) dan sebuah roda gigi yang digerakkan (*driven gear*).

Dasar dari operasi sistem transmisi adalah roda gigi penggerak (*driving gears*), roda gigi yang digerakkan (*driven gears*) dan rasio/perbandingan roda gigi (*gears ratio*). Perubahan rasio pada transmisi mengakibatkan perubahan gaya torsi yang dikirimkan ke roda penggerak. Rasio roda gigi adalah jumlah putaran yang harus ditempuh roda penggerak (*driving gears*) sebelum *driven gear* berputar satu putaran penuh. Sebagai contoh, jika jumlah gerigi pada *driven gear* adalah 24 buah dan pada *driving gear* 12 buah maka rasio giginya adalah dua banding satu (2:1). Hal ini berarti *driving gear* berputar dua kali untuk setiap satu putaran *driven gear*.



Gambar 2.29 Rasio roda gigi (*Gear ratios*)

2.7.2 Perbandingan Roda Gigi

Perbandingan roda gigi adalah perbandingan antara kecepatan Yang masuk dengan kecepatan bagian yang keluar. Perbandingan dua roda gigi yang berpasangan mempunyai jumlah gigi 10 dan 30 Kecepatan putarnya adalah fungsi dari ukuran dan putaran roda gigi terkecil rata-rata dua kali kecepatan roda gigi besar, Sebagai contoh: Jika roda gigi kecil menggerakkan roda gigi besar, rasionya 3:1, Jika roda gigi besar menggerakkan roda gigi kecil maka rasionya 1:3

Roda gigi besar mempunyai 1 putaran untuk 3 putaran roda gigi kecil.

$$\text{Perbandingan gigi} = \frac{\text{jumlah gigi dari roda gigi yang digerakkan}}{\text{jumlah gigi dari roda gigi yang menggerakkan}}$$

Hubungan roda-roda gigi terdiri dari tiga jenis yaitu :

1. Dua roda gigi yang dihubungkan sepusat (satu poros)
hubungan roda jenis ini mempunyai arah putaran searah dan kecepatan sudut yang sama, tetapi dengan kecepatan linear yang berbeda.
2. Dua roda gigi yang dihubungkan bersinggungan
hubungan roda jenis ini mempunyai arah putaran kedua rodanya berlawanan arah dan memiliki kecepatan linear yang sama, tetapi dengan kecepatan sudut yang berbeda..
3. Dua roda gigi yang dihubungkan dengan tali, sabuk, atau rantai
hubungan roda jenis ini mempunyai arah putaran searah dan kecepatan linear yang sama tetapi dengan kecepatan sudut yang berbeda.

2.8 KONSEP MOBIL LISTRIK

Selama sepuluh tahun terakhir ini desakan untuk memproduksi suatu kendaraan yang bertenaga listrik (mobil listrik) semakin gencar dikampanyekan. Bahkan beberapa waktu yang lalu telah dicanangkan suatu aturan yang mengatur untuk memproduksi kendaraan tanpa emisi (*zero emission*) untuk beberapa tahun yang akan datang. Setidaknya beberapa pabrik mobil ternama telah memproduksi prototipe mobil listrik yang sudah kompleks. Mitsubishi sudah siap memasarkan

mobil listrik. Langkah ini ditempuh demi mendukung program langit bersih. Tapi bagaimana infrastrukturnya?

Masalah itulah yang dipikirkan Mitsubishi dalam memperkenalkan mobil listriknya yang diberi nama iMiEV. Mobil listrik yang dikembangkan oleh Pabrik Mitsubishi tersebut merupakan mobil Lancer bertenaga listrik murni. Namun tidak ada blok transmisi. Teknologi yang diterapkan adalah langsung memasang dinamo pada setiap roda, berarti ada empat dinamo. Ukuran dinamo itu berdiameter persis dengan diameter teromol. Ada dugaan cara yang dilakukan Mitsubishi lebih efisien, karena tidak ada perubahan rasio jika dibandingkan dengan dinamo memutar dulu transmisi/gigi.

Sebenarnya iMiEV bukanlah mobil yang belum diketahui khalayak. Mobil mungil ini sudah diajak jalan-jalan ke sejumlah negara untuk menunjukkan kehebatan teknologi mobil listrik Mitsubishi kepada dunia. Berbeda dengan mobil bermesin hibrida yang belum murni meninggalkan minyak fosil, iMiEV sudah tak lagi menengak minyak fosil. Mobil berpintu empat ini melaju mengandalkan tenaga baterai yang dapat menempuh jarak sekitar 100 km dalam sekali mengisi penuh baterai (*charge*).

Soal harga, managing director for product development Mitsubishi, Tetsuro Aikawa, mengatakan, Selasa (18/3), iMiEV akan dilepas dengan harga antara US\$ 25.000 hingga US\$ 30.000 per unit di Jepang. Ini lebih mahal US\$ 7.000 dibandingkan kembarannya yang masih bermesin konvensional berbahan bakar bensin).

Untuk tahap awal, untuk mengisi penuh baterainya butuh waktu setengah hari. Sesuatu yang sangat mengganggu bagi mereka yang sibuk dengan mobilitas tinggi. Sebagai gambaran, iMiEV membutuhkan 14 jam untuk mengisi baterai melalui stop kontak berdaya 110 volt, atau 7 jam untuk pengisian dengan stop kontak berdaya 220 volt.

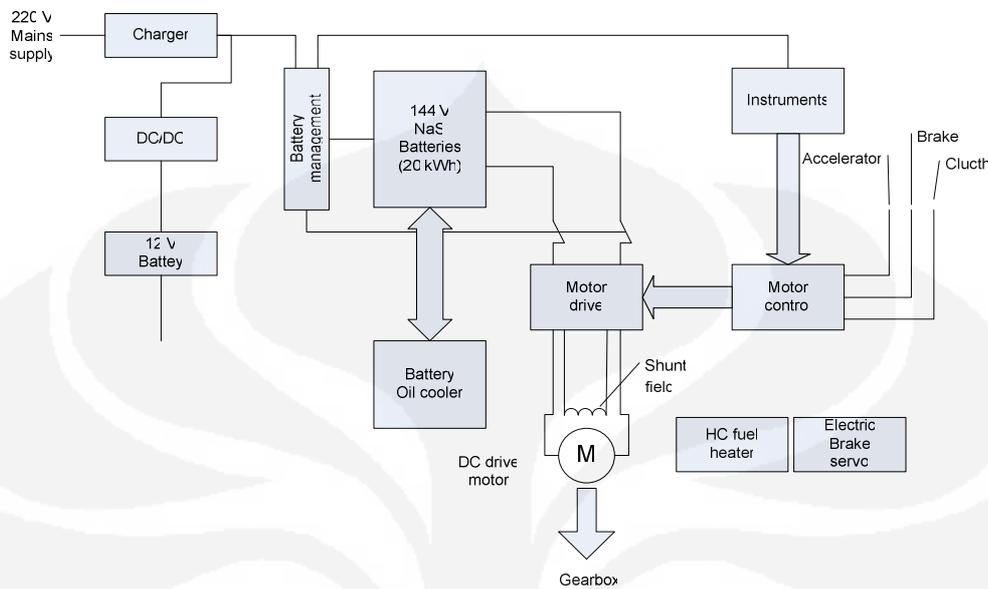
Guna mengatasi masalah ini, Jepang kini mengembangkan sejumlah stasiun pengisian cepat yang akan membuat pengisian baterai hanya butuh waktu 30 menit. Tetapi sebenarnya kendala agar mobil tanpa suara dan asap ini bisa diterima masyarakat luas, belum semuanya teratasi. Masalah tambahan itu tetap berkulat di soal baterai. Mitsubishi mengembangkan iMiEV ini sejak 2005

Berbeda dari pabrikan Mitsubishi, baru-baru ini produsen mobil sport Subaru, memperkenalkan mobil konsep bertenaga listrik. Mobil ini merupakan penjelmaan teknologi dari model R1e concept. Subaru Stella akan menjadi prototipe pengembangan mobil listrik masa depan Subaru. Untuk memperlancar pengembangannya, Subaru juga menggandeng perusahaan energi Tokyo Electric Power. Meski berbentuk mini, mobil konsep yang berbobot 1.060 kg ini, nyaman dinaiki oleh 4 orang dewasa.

Kecepatan maksimum yang dapat dicapai adalah 80 km/jam dengan kemampuan tempuh 80 km untuk sekali isi ulang baterai. Sementara model R1e concept juga menggunakan teknologi mesin yang sama. Mobil tersebut sudah diuji coba selama satu tahun di Jepang dan Amerika. Salah satu warisan teknologi yang akan dikembangkan dari R1e adalah daya simpan energi baterai dan daya tahannya. Sehingga baterai memiliki usia pakai yang panjang meski berkali-kali diisi ulang.

Untuk pemilihan tipe baterai yang digunakan dalam suatu mobil listrik secara garis besar yaitu jenis baterai *lead acid* dan baterai *sodium sulphur*. Baterai jenis *lead acid* memiliki suatu keuntungan yaitu teknologi yang sudah matang dan juga sudah diterima secara luas oleh dunia industri, namun sayangnya kelemahan baterai jenis ini yaitu daya yang dimilikinya masih sangat rendah. Berbeda dengan baterai jenis yang pertama, baterai jenis *sodium sulphur* tampaknya mempunyai keunggulan dari segi daya yang dimilikinya, namun sayangnya baterai tipe ini memiliki harga yang lebih tinggi dibandingkan baterai jenis *lead acid*. Selain itu juga teknologi tambahan untuk mengatasi masalah mengenai temperature yang tinggi yang dialami baterai jenis ini.

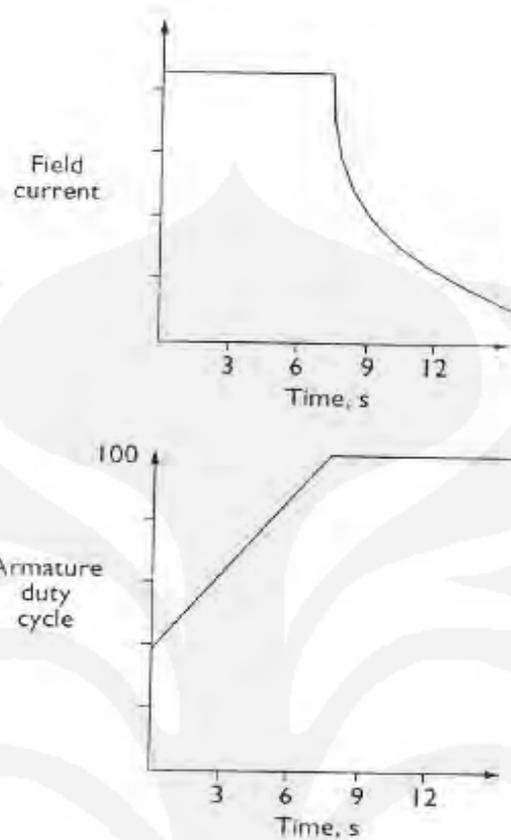
2.9 BLOK DIAGRAM MOBIL LISTRIK YANG KOMPLEK



Gambar 2.31 Blok diagram mobil listrik yang sudah kompleks

Hubungan antar komponen pada blok diagram mobil listrik akan sangat bergantung pada tipe baterai dan motor listrik penggerakannya. Gambar blok diagram di atas menggunakan baterai jenis sodium sulphur dan motor listrik penggerak tipe motor dc jenis lilitan shunt dengan menggunakan brush.

Kecepatan dan torsi untuk motor jenis ini dapat diubah dengan mengubah arus yang mengalir pada *field* dan/atau arus yang mengalir pada *armature*. Karakteristik pengontrolan yang dapat digunakan pada system ini ditunjukkan pada gambar 2.31 Mobil listrik akan mulai bergerak saat waktu = 0. pada saat awal melakukan percepatan (bergerak), arus yang mengalir pada *field* dibuat konstan sedangkan arus yang mengalir pada *armature* dibatasi sesuai kebutuhan. Seiring dengan naiknya kecepatan, kemudian arus yang mengalir di *field* dikurangi, yang akan berakibat pada melemahnya medan *field* motor tersebut. Hal ini akan mengakibatkan pengurangan EMF balik yang berasal dari *armature*. Sehingga terjadi peningkatan pada arus yang mengalir pada *armature*, maka hal ini akan memungkinkan terjadinya peningkatan pada kecepatan motor dc tersebut.



Gambar 2.32 Karakteristik pengontrolan

Sebuah system pengereman secara regeneratif digunakan untuk meningkatkan efisiensi system, sehingga hal ini memungkinkan baterai untuk dapat diisi selama proses pengereman.

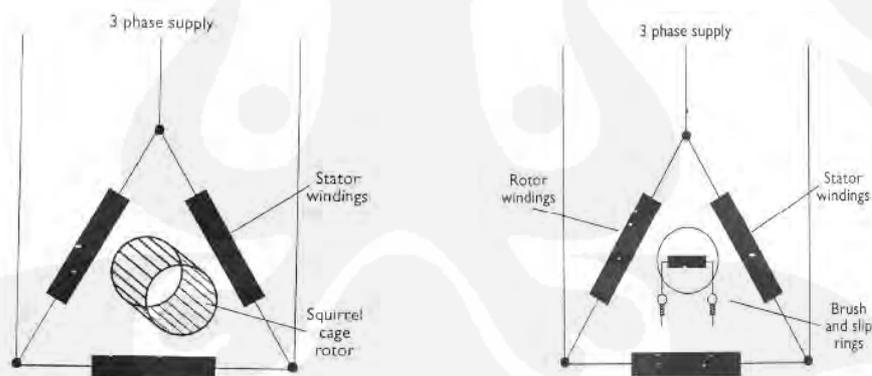
Baterai biasanya dihubungkan secara seri untuk meningkatkan tegangan. Perancangan motor menjadi lebih mudah untuk tegangan tinggi, pada umumnya hal ini disebabkan oleh kekurangan arus yang dibutuhkan untuk pemindahan daya yang sama. Suatu system manajemen baterai dipakai untuk memastikan bahwa proses pengisian (*charging*) dan dan pengeluaran (*discharging*) energi baterai rata-rata terkontrol pada nilai yang optimum. Sejumlah fungsi peringatan dapat dibuat untuk mengindikasikan suatu ketidaknormalan. Informasi ini dapat ditampilkan pada suatu instrument. Sedangkan untuk pengontrol motor dapat dibuat dengan menggunakan teknologi transistor daya yang sudah ada. Dimana transistor daya tersebut dikontrol menggunakan mikrokontroller yang mana proses pengontrolannya dapat dilakukan dengan didukung oleh *software*.

Pengontrol tersebut menerima sinyal input dari pedal pengerem dan akselerator dengan menggunakan suatu potensiometer yang sederhana, sedangkan pengontrol yang lain didapat dari switch biasa. Salah satu metode pengontrolan yang sederhana untuk mengetahui sisa energi yang terdapat pada baterai, adalah dengan menempatkan baterai jenis *lead acid* biasa 12 volt. Baterai ini dapat diisi kembali saat dibutuhkan yang berasal dari pengontrol baterai melalui sebuah *dc to dc converter*.

2.9.1 Jenis Motor Penggerak Pada Mobil Listrik

Terdapat beberapa pilihan tipe motor listrik penggerak. Namun pada dasarnya dibedakan menjadi motor ac dan dc. Meskipun motor ac memiliki keuntungan dalam hal pengontrolan, namun tetap membutuhkan tegangan dc yang dihasilkan oleh baterai untuk kemudian diubah menjadi tegangan ac oleh inverter.

Motor dc tipe lilitan shunt yang memiliki daya rata-rata 45 KW menjadi pilihan yang sangat pas untuk dipakai untuk mobil listrik yang lebih kecil. Motor tipe ini pernah dipakai di mobil listrik pertama yang dibuat oleh Peugeot.



Gambar 2.33 Motor ac pada mobil listrik

Motor listrik ac secara umum memiliki prinsip yang sama. Lilitan tiga fasa tersebar pada stator dan menghasilkan medan magnetic yang berputar. Kecepatan dari medan magnetic yang berputar dapat dihitung dengan rumus :

$$n = 60 f / p \quad \text{dimana}$$

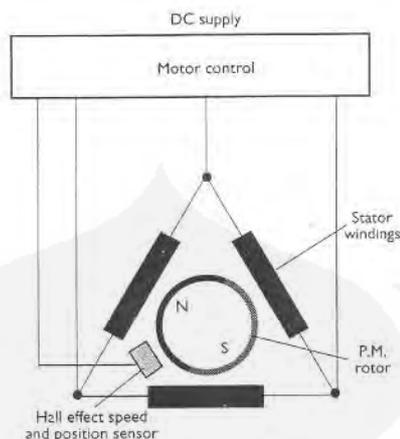
n = kecepatan putaran dalam putaran per menit

f = frekuensi suplai dalam Hz

p = jumlah pasang kutub

Motor ac dibagi lagi menjadi dua macam yaitu : motor ac *asynchronous* dan motor ac *synchronous* dengan eksitasi permanen.

- Motor ac *asynchronous* biasanya digunakan dengan rotor *squirrel cage* yang dibuat dengan sejumlah pasang kutub. Listrik statornya biasanya tiga fasa dan bias lilitan yang berbentuk hubung bintang (*star*) atau segitiga (*delta*). Medan magnetic yang berputar pada stator akan menginduksi suatu EMF pada rotor, yang mana karena sebuah rangkaian lengkap sehingga menyebabkan arus mengalir, akibatnya hal ini akan menghasilkan magnetisasi yang kemudian akan bereaksi dengan medan alami yang disebabkan oleh stator sehingga menyebabkan rotor berputar. Jumlah slip (perbedaan antara kecepatan medan rotor dan stator) sekitar 5 % pada saat motor berada pada efisiensi yang tinggi.
- Motor ac *synchronous* dengan eksitasi permanent memiliki lilitan rotor yang dikenal sebagai inductor. Lilitan tersebut dimagnetisasi oleh suatu sumber dc melalui dua *slip ring*. Magnetisasi tersebut akan menghasilkan medan magnet yang berputar dan menghasilkan torsi yang konstan. Apabila kecepatannya kurang dari n (jumlah putaran), maka torsi berfluktuasi dan arus yang besar dapat mengalir. Sehingga motor ini perlu pengaturan untuk putaran awal. Keuntungannya motor tersebut dapat berfungsi sebagai generator yang ideal.
- Motor yang terkontrol secara elektronik merupakan perpaduan antara motor ac dan motor dc. Prinsip dasarnya hampir sama dengan motor *synchronous* di atas kecuali bahwa rotornya dari magnet permanent sehingga menyebabkan tidak terjadinya *slip ring*. Motor jenis ini biasanya dikenal dengan nama motor *brushless*.



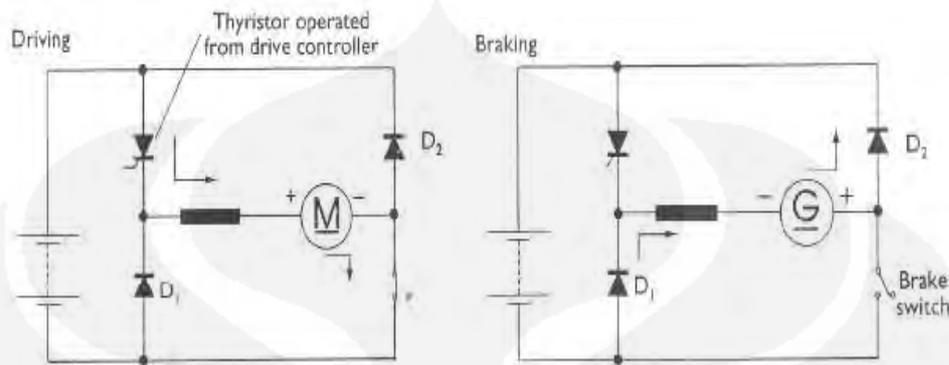
Gambar 2.34 Motor yang dikontrol secara elektronik

Cara kerjanya adalah saat rotor mengoperasikan sensor yang kemudian menyediakan *feedback* ke rangkaian control dan elektronik. System control ini akan menghasilkan medan magnet yang berputar, di mana frekuensi akan menentukan kecepatan motor. Karakteristik torsi motor jenis ini yaitu ketika motor ini digunakan sebagai motor penggerak, sebuah *gearbox* diperlukan untuk memastikan bahwa efisiensi kecepatan motor tetap terjaga. Ada pemikiran bahwa ketika motor ini disuplai dengan pulsa gelombang *square* maka motor ini bertindak sebagai motor dc, namun ketika motor ini disuplai dengan pulsa gelombang sinusoidal maka motor ini bertindak sebagai motor ac. Lalu timbul pertanyaan apa yang terjadi jika motor ini disuplai dengan pulsa gelombang *trapezoidal*.

Motor dc secara garis besar dibagi lagi menjadi dua macam yaitu : motor dc dengan lilitan seri dan motor dc dengan lilitan *shunt* yang tereksitasi secara terpisah. Motor dc dikenal sebagai motor yang terbukti memiliki banyak keunggulan dan telah banyak dipakai sebagai penggerak pada kendaraan listrik (*electric vehicles*), contohnya pada *truck forklift*. Kekurangan utamanya adalah bahwa arus yang besar harus dialirkan ke melalui *brush* dan komutator.

- Motor dc dengan lilitan seri telah lama dikenal karena memiliki torsi yang tinggi pada kecepatan rendah. Gambar dibawah ini menunjukkan bagaimana motor dc dengan lilitan seri dapat dikontrol menggunakan

sebuah thyristor dan bagaimana motor tersebut dapat berfungsi sebagai pengereman regeneratif.



Gambar 2.35 Motor dc seri yang dikontrol menggunakan thyristor

- Motor dc dengan lilitan *shunt* yang tereksitasi secara terpisah, fieldnya dapat dikontrol baik dengan menambahkan sebuah resistansi atau menggunakan *chopper control* untuk dapat mengubah-ubah kecepatannya. Torsi awal biasanya menjadi suatu masalah pada motor ini, namun dengan sebuah pengontrol yang tepat, maka masalah tersebut dapat diatasi. Motor dc jenis ini juga cocok digunakan untuk pengereman regeneratif dengan cara meningkatkan kekuatan medan magnet pada saat yang tepat. Pada beberapa system kendaraan listrik pengubahan kuat medan magnetnya hanya terjadi pada saat normal, akan tetapi hal ini dapat menjadi masalah saat kecepatan rendah karena tingginya arus.

Konsep mobil listrik bukanlah barang baru. Sejak bertambah majunya teknologi baterai pada akhir abad ke 19, beberapa kendaraan listrik sudah mulai dibuat. Meskipun beberapa model tersebut telah mencapai kecepatan yang tinggi pada saat ini, akan tetapi mobil listrik secara umum kecepatannya masih lamban dan memerlukan biaya yang tinggi untuk mengoperasikannya. Selain itu juga mobil listrik dibatasi dengan ketergantungannya pada fasilitas berupa stasiun pengisian baterai. Sebagian masalah tersebut mungkin telah teratasi, namun belum seluruhnya. Kendalanya adalah dana (klasik memang), tetapi perlu dicatat. Akan

tetapi tingginya biaya tersebut bernilai relative ketika konsekuensi logis yang dipertimbangkan adalah masalah polusi udara. Sehingga biaya mungkin tidak senilai dengan manfaat yang akan diperoleh nantinya.

Dengan teknologi baterai telah mengalami kemajuan, sehingga mengakibatkan pada meningkatnya kecepatan mobil listrik. Pada akhirnya mobil listrik ini diharapkan untuk dapat lebih cepat dan lebih bertenaga serta memiliki ketahanan (kemampuan yang lebih) dibandingkan dengan mobil konvensional berbahan bakar minyak fosil.

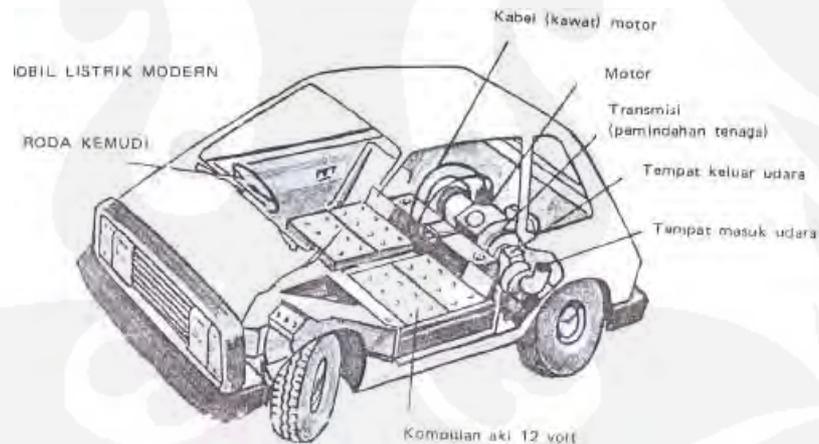
BAB III

PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan disajikan mekanisme perancangan alat, berupa perangkat keras untuk mewujudkan pembuatan prototipe mobil listrik dengan menggunakan motor dc bermagnet permanen pada statornya.

Penulis sebelumnya mencari bahan dasar perbandingan mengenai konsep mobil listrik yang sederhana melalui media internet dan koran. Dan berdasarkan pencarian tersebut, penulis menemukan sebuah situs yang memperlihatkan beberapa model mobil listrik yang dikembangkan oleh beberapa pabrikan mobil. Situs itu (<http://www.geocities.com/sorefets/forsa/forsa.htm>)

Berbeda dengan mobil bermesin hibrida yang belum murni meninggalkan minyak fosil, iMiEV sudah tak lagi menengak minyak fosil. Mobil berpintu empat ini melaju mengandalkan tenaga baterai yang dapat menempuh jarak sekitar 100 km dalam sekali mengisi penuh baterai (*charge*).



Gambar 3.1 Ilustrasi mobil listrik

Untuk tahap awal, untuk mengisi penuh baterainya butuh waktu setengah hari. Sesuatu yang sangat mengganggu bagi mereka yang sibuk dengan mobilitas tinggi. Sebagai gambaran, iMiEV membutuhkan 14 jam untuk mengisi baterai melalui stop kontak berdaya 110 volt, atau 7 jam untuk pengisian dengan stop kontak berdaya 220 volt.

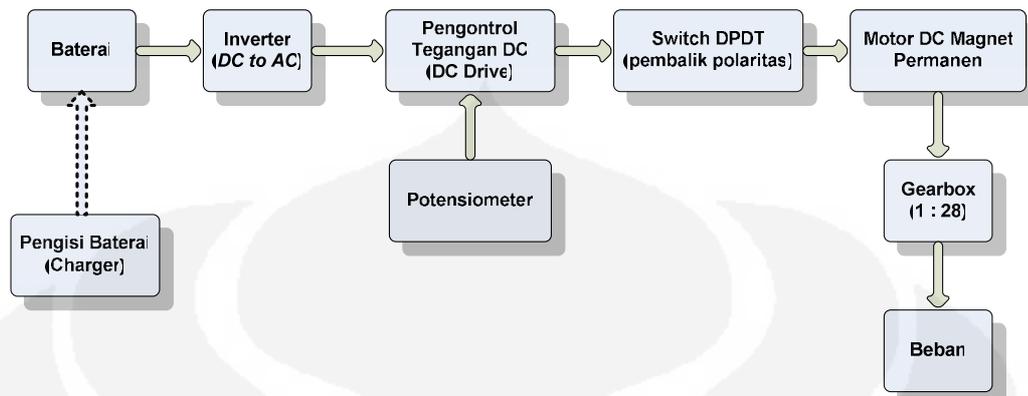
Bahkan dalam sebuah situs lainnya di internet penulis menemukan sebuah wacana tentang urutan langkah-langkah untuk mengubah mobil bermesin bensin menjadi bermesin dinamo alias dari kendaraan berbahan bakar minyak menjadi kendaraan listrik. Memang hal tersebut dimungkinkan, sepanjang ada teknologi yang mendukung, kreativitas, dan kemauan. Tahapan perancangan dimulai dari perancangan secara diagram, perancangan perangkat keras. Berikut adalah uraian dari langkah-langkah perancangan tersebut.

Proses diawali dengan mengganti blok mesin dengan satu dinamo yang ditenagai baterai alias dinamo dc. Bagian yang disisakan adalah blok transmisi dan roda gila. Diperlukan adapter (dudukan) untuk menggabungkan dinamo dengan rumah transmisi. Memang, penggantian itu menyebabkan ruang mesin menjadi luas, lalu tangki bensin, knalpot dicopot. Ada pengurangan bobot kendaraan sekian kilogram, namun perlu diperhitungkan pula perubahan pembagian beban antara bagian depan dan belakang, karena mesin dan tangki bensin dicabut. Namun ada beban baru, yaitu sejumlah baterai yang digunakan sebagai pemasok arus dc ke dinamo. penempatan dan pemasangannya harus benar-benar pas agar titik berat kendaraan tetap terjaga.

Namun dalam kenyataannya rancangan mobil listrik yang dibuat penulis bukanlah tergolong sebagai mobil listrik yang sudah kompleks, melainkan hanya berupa prototipe mobil listrik yang sederhana. Seperti yang telah dikemukakan dalam rencana penelitian, langkah-langkah perencanaan pembuatan prototipe mobil listrik ini terdiri dari beberapa langkah yaitu :

1. Perancangan diagram blok.
2. Perancangan dudukan motor.
3. Perancangan perangkat mekanik.
4. Perancangan perangkat elektrik.
5. Pengujian alat dan pengambilan data.

3.1 PERANCANGAN DIAGRAM BLOK



Gambar 3.2. Blok diagram perancangan sistem mobil listrik

Seperti umumnya pada pembuatan alat yang lain, maka pada pembuatan prototipe mobil listrik ini dilakukan dalam beberapa tahapan. Yang pertama yaitu tahapan perancangan dan pembuatan diagram blok sistem. Tahapan perancangan diagram blok ini sangat penting karena berfungsi sebagai dasar (pondasi) dari proses rancang bangun alat ini. Perancangan dan pembuatan alat ini diharapkan akan dapat memberikan kontribusi. Fungsi dari masing–masing blok dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Gearbox

Untuk memperkuat torsi sebuah motor yang biasanya dinyatakan dalam kg-cm digunakan gear reduksi. Torsi diukur berdasarkan kemampuan sebuah tuas sepanjang 1 cm untuk menggerakkan benda sebesar x kg. Semakin lambat putaran motor akibat penambahan gear maka semakin kuat torsi yang dihasilkan. Perubahan putaran ini berbanding terbalik dengan perbedaan diameter gear. Kecepatan motor akan turun dua kali lipat untuk gear yang dua kali lebih besar.

2. Motor dc magnet permanen

Motor dc magnet permanen menggunakan energi listrik dan energi magnet permanen untuk menghasilkan energi mekanis. Operasi motor tergantung pada interaksi dua medan magnet. Secara sederhana dikatakan bahwa motor listrik bekerja dengan prinsip bahwa dua medan magnet

dapat dibuat berinteraksi untuk menghasilkan gerakan. Tujuan motor adalah untuk menghasilkan gaya yang menggerakkan (torsi).

Pada perancangan ini motor dc dicatu oleh tegangan dc yang berasal dari keluaran dc drive yang nilai tegangannya bervariasi mulai dari 0,2 volt dc sampai dengan 165 volt dc sesuai dengan perubahan nilai hambatan pada potensiometer. Sehingga akibatnya perubahan kecepatan pada motor dc ditentukan oleh perubahan nilai hambatan pada potensiometer.

3. Pengontrol tegangan dc (*dc drive*)

Pengontrol tegangan dc (*dc drive*) yang akan digunakan pada mobil listrik ini berfungsi untuk mengubah tegangan masukan jala-jala PLN sebesar 220 volt ac menjadi tegangan dc yang nilai keluarannya bervariasi mulai dari 0,2 volt dc sampai dengan 165 volt dc sesuai dengan perubahan nilai hambatan pada potensiometer tersebut.

4. Inverter

Inverter (konverter dc ke ac) merupakan suatu perangkat yang dipakai untuk mengubah daya arus searah (dc) menjadi daya arus bolak-balik (ac). Pada perancangan ini inverter berfungsi sebagai sumber untuk menyediakan daya arus bolak-balik (ac) yang akan disuplai untuk masukan *dc drive* sebesar 220 volt ac, sehingga seolah-olah inverter berfungsi sebagai pengganti tegangan jala-jala PLN.

5. Potensiometer

Potensiometer ini digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor dc. Pada perancangan ini potensiometer akan dihubungkan ke pin terminal control pada bagian *dc drive*, sehingga perubahan nilai hambatan yang terjadi pada potensiometer kemudian diubah menjadi perubahan nilai tegangan pada output dc drive tersebut. Pada akhirnya potensiometer ini berfungsi sebagai elemen untuk mengatur kecepatan mobil listrik atau dalam mobil konvensional fungsinya sama seperti pedal gas.

6. Baterai

Baterai merupakan bagian yang cukup vital pada kendaraan listrik dalam hal menyimpan energi listrik untuk dapat digunakan sebagai daya penggerak motor dan kontrolnya. Baterai adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian / *charge* energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran / *discharge* energi kimia diubah menjadi energi listrik (ketika baterai tersebut memberikan arus).

Pada perancangan ini baterai berfungsi sebagai sumber untuk menyediakan daya arus searah (dc) yang akan di suplai untuk masukan inverter sebesar 12 volt dc untuk kemudian diubah oleh inverter menjadi daya arus bolak-balik (ac) yang konstan sebesar 220 volt ac.

7. Pengisi baterai (*battery charger*)

Pengisi baterai (*battery charger*) merupakan suatu perangkat tambahan yang berfungsi untuk mengisi muatan baterai yang sudah berkurang atau bahkan habis karena pemakaian baterai (*discharging process*). Pada perancangan ini pengisi baterai bertindak sebagai perangkat eksternal atau tambahan karena tidak berada pada mobil listrik (terpisah).

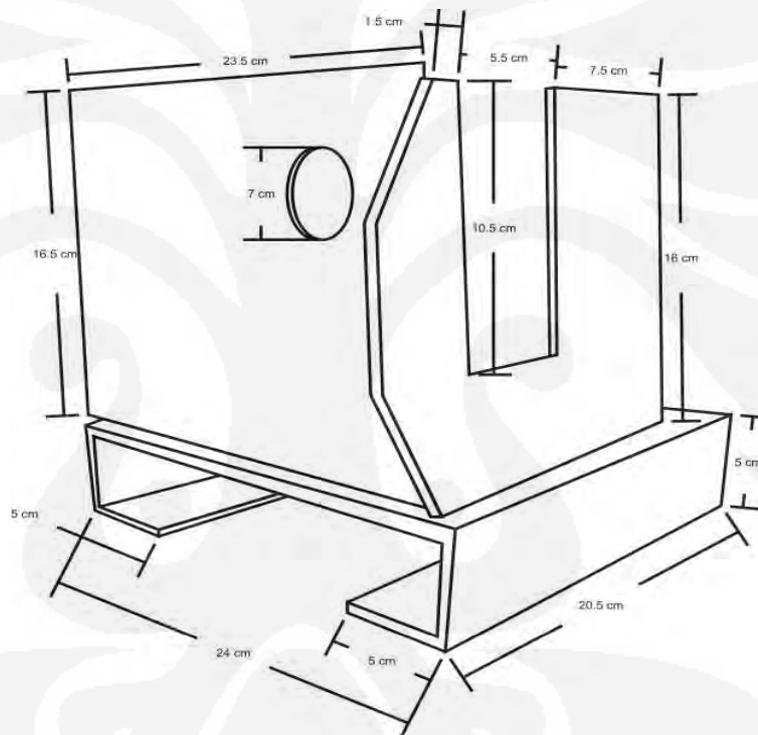
3.2 PERANCANGAN DUDUKAN MOTOR

Setelah selesai melaksanakan tahapan yang pertama, maka selanjutnya dilanjutkan dengan tahapan yang kedua yaitu tahapan perancangan dudukan motor. Tahapan perancangan ini juga dianggap penting karena untuk dapat menempatkan sebuah motor dc dan *gearbox*, maka dibutuhkan suatu dudukan motor yang tepat dan kuat untuk menopang beban motor dc beserta *gearbox* yang nantinya akan menggerakkan beban berat mobil listrik itu sendiri.

Oleh karena itu maka dilakukanlah proses perancangan dudukan motor dc beserta *gearbox* ini dengan menyesuaikan kondisi tempat (*space*) yang tersedia pada rangka mobil listrik yang sudah ada. Hal ini perlu dipertimbangkan agar mempermudah proses perakitan alat ini nantinya.

Untuk melaksanakan tahapan ini maka terdapat beberapa urutan proses yaitu :

1. Melakukan serangkaian pengukuran pada lubang baut dan mur yang ada di motor dc. Hasil pengukuran tersebut sangat berpengaruh pada proses perakitan alat nantinya.
2. Setelah pengukuran pada lubang baut dan mur dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan menggambar dudukan motor dc tersebut dalam bentuk tiga dimensi, dengan menggunakan program *corel draw*. Sesuai dengan gambar berikut ini :



Gambar 3.3 Perancangan dudukan motor menggunakan *corel draw*

3. Setelah kedua langkah di atas dilaksanakan, maka dilanjutkan dengan membuat bentuk dudukan motor dc kedalam bentuk dan ukuran yang sesungguhnya, namun dengan menggunakan bahan kertas kardus (maket), dilengkapi dengan lubang-lubang yang sesuai dengan ukuran baut dan mur motor dc. Hal ini perlu dilakukan untuk memudahkan kita dalam pembuatan dudukan yang sebenarnya.

4. Kemudian dilanjutkan dengan dengan pembuatan dudukan motor yang sebenarnya sesuai dengan langkah diatas, namun bahan yang digunakan tidak lagi memakai kardus, melainkan plat besi baja dengan tebal 8 milimeter.
5. Setelah dudukan motor dc sudah terbentuk melalui proses pengelasan dan pengeboran pada lubang-lubangnya, maka langkah yang terakhir adalah pengecatan pada dudukan motor dc tersebut dengan memakai cat besi. Langkah pengecatan ini perlu dilakukan agar dudukan motor yang dibuat tersebut tidak berkarat. Sesuai dengan gambar dibawah ini :



Gambar 3.4 Dudukan motor setelah pengecatan

3.3 PERANCANGAN SISTEM MEKANIK

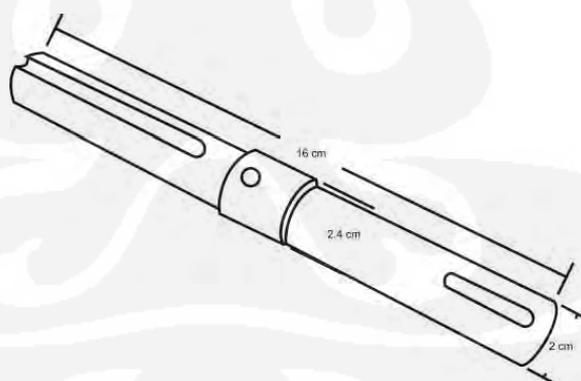
Setelah selesai melaksanakan tahapan yang kedua, maka selanjutnya dilanjutkan dengan tahapan yang ketiga yaitu tahapan perancangan system mekanik. Sama seperti halnya pada perancangan dudukan motor, tahapan perancangan ini juga dianggap penting karena untuk dapat mentransmisikan tenaga (torsi) yang berasal dari motor ke *gearbox* dan melalui gear penggerak yang dihubungkan dengan rantai untuk menggerakkan *gear* yang digerakkan, sehingga mobil listrik dapat bergerak. Sehingga dengan demikian system mekanik ini perlu dirancang.

Oleh karena itu maka dilakukanlah proses perancangan system mekanik ini dengan menyesuaikan kondisi perangkat dan tempat (*space*) yang tersedia terhadap rangka mobil listrik yang sudah ada. Hal ini perlu dipertimbangkan agar nantinya proses transmisi tenaga (torsi) yang berasal dari motor tidak mengalami penurunan (rugi-rugi torsi) yang besar. Selain itu juga agar mempermudah proses perakitan alat ini nantinya.

Sedangkan macam-macam perangkat yang perlu dirancang pada sistem mekanik ini yaitu : batang as untuk *gear* penggerak, *gear* penggerak, sepi pengganjal untuk batang as (pen) dan rantai, lainnya.

Untuk melaksanakan tahapan ini maka terdapat beberapa urutan proses yaitu :

1. Melakukan serangkaian pengukuran diameter pada lubang *gearbox* yang sudah ada. Hasil pengukuran tersebut sangat berpengaruh pada proses perakitan batang as untuk *gear* penggerak pada *gearbox* nantinya.
2. Setelah pengukuran diameter pada lubang *gearbox* dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan menggambar batang as untuk *gear* penggerak tersebut dalam bentuk tiga dimensi, dengan menggunakan program *corel draw*. Sesuai dengan gambar berikut ini :



Gambar 3.5 Perancangan batang as menggunakan *corel draw*

3. Setelah kedua langkah di atas dilaksanakan, maka dilanjutkan dengan membuat bentuk batang as untuk *gear* penggerak kedalam bentuk dan ukuran yang sesungguhnya, namun dengan menggunakan bahan kayu yang mudah di bentuk dengan pisau *cutter*, langkah yang kedua ini disebut

sebagai langkah pembuatan maket, dilengkapi dengan lubang-lubang yang sesuai dengan ukuran baut pengunci ke *gearbox*. Hal ini perlu dilakukan untuk memudahkan kita dalam pembuatan batang as untuk *gear* penggerak yang sebenarnya.

4. Langkah yang terakhir pada tahapan perancangan sistem mekanik dilanjutkan dengan dengan pembuatan batang as untuk *gear* penggerak yang sebenarnya sesuai dengan langkah diatas, namun bahan yang digunakan tidak lagi memakai kayu yang lunak, melainkan dengan batang besi baja selinder dengan diameter 2,8 milimeter dengan menggunakan mesin bubut. Setelah batang as untuk *gear* penggerak sudah terbentuk melalui proses pembubutan dan pengeboran pada lubang baut pengunci ke *gearbox*, maka hasil jadi dari batang as untuk *gear* penggerak adalah seperti gambar berikut ini :

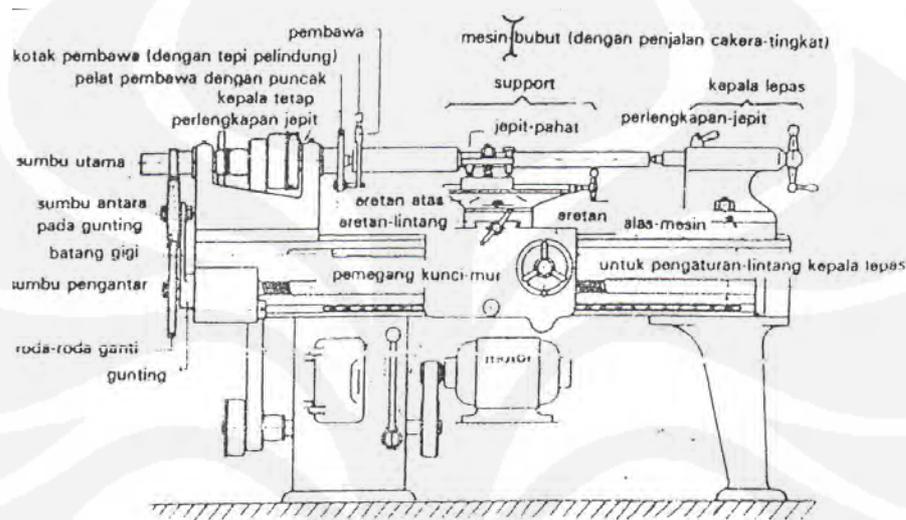


Gambar 3.6 Batang as untuk *gear* penggerak melalui proses pembubutan



Gambar 3.7 *Gear* penggerak melalui proses pembubutan

Untuk proses perancangan pada *gear* penggerak dan sepi pengganjal untuk batang as (pen) proses perancangannya memiliki langkah-langkah yang sama seperti melakukan perancangan dan pembuatan batang as untuk gear penggerak selain itu juga menggunakan cara yang sama yaitu dengan proses pembubutan dengan mesin bubut.



Gambar 3.8 Proses batang as dengan mesin bubut

Namun untuk proses pengerjaan rantai, langkah yang dilakukan berbeda dari proses pengerjaan pada batang as dan gear penggerak serta pen, karena dalam pengerjaan rantai tidak dilakukan dengan proses pembubutan dengan mesin bubut, tetapi hanya memakai rantai bekas sepeda motor.

Untuk panjang rantai yang dibutuhkan sepanjang 74 *gear* atau sekitar 124 centimeter. Panjang rantai ini disesuaikan dengan kebutuhan, agar rantai tidak terlalu tegang, ataupun terlalu kendur.

3.4 PERANCANGAN SISTEM ELEKTRIK

Setelah selesai melaksanakan tahapan yang ketiga, maka selanjutnya dilanjutkan dengan tahapan yang keempat yaitu tahapan perancangan sistem elektrik. Sama seperti halnya pada ketiga perancangan sebelumnya, maka tahapan perancangan ini juga dianggap penting karena sebuah sistem mobil listrik harus

memiliki sistem kelistrikan yang akan memberikan tenaga listrik, yang akan dikonversikan menjadi tenaga gerak oleh motor penggerak, dalam hal ini yang digunakan sebagai motor penggerak adalah motor listrik dc magnet permanen pada statornya. Karena tanpa memiliki sistem kelistrikan, maka sebuah mobil listrik tidak akan dapat digerakkan dan diatur kecepatannya. Sehingga dengan demikian sistem elektrik ini perlu dirancang.

Oleh karena itu maka dilakukanlah proses perancangan sistem elektrik ini dengan menyesuaikan kondisi perangkat dan tempat (*space*) yang tersedia terhadap rangka mobil listrik yang sudah ada. Hal ini perlu dipertimbangkan agar nantinya proses pemindahan energi dari sumber listrik sampai ke motor listrik penggerak tidak mengalami masalah dan gangguan. Selain itu juga agar mempermudah proses perakitan alat ini nantinya.

Sedangkan macam-macam perangkat yang perlu dipilih dan dirancang pada sistem elektrik ini yaitu : motor penggerak, regulator tegangan, converter tegangan, sumber tegangan, cara pembalikan polaritas tegangan, switch, soket, pengkabelan, dan terminal blok

Untuk melaksanakan tahapan ini maka terdapat beberapa urutan proses yaitu :

1. Menentukan jenis motor penggerak yang akan digunakan dalam mobil listrik

Ada dua macam motor listrik penggerak, yaitu motor listrik ac dan motor listrik dc. Namun motor listrik dc memiliki keunggulan dibandingkan motor listrik ac dalam hal pengaturan, motor listrik dc memiliki kontrol torsi dan kecepatan dengan rentang yang lebar.

Sedangkan motor listrik arus searah (dc) itu sendiri terdiri dari beberapa macam yaitu motor dc jenis seri, motor dc jenis *shunt*, motor dc jenis *compound* dan motor dc dengan magnet permanen.

Namun dari keempat jenis motor dc tersebut, motor dc dengan magnet permanent memiliki beberapa kelebihan.

- Memiliki torsi *start* besar (bagus)
- Kecepatannya dapat dikontrol dengan mudah. Kecepatan motor magnet permanen berbanding langsung dengan harga tegangan yang

diberikan pada kumparan jangkar. Semakin besar tegangan jangkar, semakin tinggi kecepatan motor.

- Arah putaran motor dc magnet permanen ditentukan oleh arah arus yang mengalir pada kumparan jangkar (*armature*).
- Ukurannya lebih kecil dan lebih ringan apabila dibandingkan dengan motor dc jenis lainnya untuk besar HP (*horse power*) yang sama.
- Magnet permanent pada statornya memiliki eksitasi yang konstan, sehingga sangat cocok digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan karakteristik *speed* dan torsi yang konstan.
- Alasan yang paling penting adalah kemudahan untuk mendapatkannya



Gambar 3.9 Motor dc magnet permanen yang dipakai pada mobil listrik ini



Gambar 3.10 Bagian-bagian motor dc magnet permanen

Namun motor dc magnet permanen tetap memiliki kekurangan dibandingkan dengan motor dc jenis lainnya yaitu keterbatasan dari besar beban yang dapat ditarik.

2. Menentukan jenis pengontrol tegangan dc untuk motor penggerak yang akan digunakan dalam mobil listrik

Pengontrol tegangan dc (*dc drive*) yang akan digunakan pada mobil listrik ini berfungsi untuk mengubah tegangan masukan jala-jala PLN sebesar 220 volt ac menjadi tegangan dc yang nilai keluarannya bervariasi mulai dari 0,2 volt dc sampai dengan 165 volt dc sesuai dengan perubahan nilai hambatan pada potensiometer tersebut. Pengontrolan tegangan dc ini dipilih karena memiliki beberapa kelebihan yaitu :

- Memiliki range tegangan output yang cocok dengan range tegangan yang dibutuhkan untuk mencatu motor dc magnet permanen yang digunakan pada mobil listrik ini yaitu 0,2 volt sampai dengan 165 volt dc.



Gambar 3.11 Pengontrol tegangan dc (*dc drive*)

Pengontrolan tegangan dc ini merupakan alat yang sudah jadi, sehingga memudahkan dalam perakitannya pada tempat yang dibutuhkan. Dalam pemasangannya pengontrol tegangan ini tidaklah berdiri sendiri, tetapi justru membutuhkan suatu komponen tambahan berupa potensiometer tipe linear dan memiliki hambatan sebesar 10 K Ω .



Gambar 3.12 Potensiometer 10 K Ω

Potensiometer ini digunakan untuk mengatur kecepatan putar motor dc. Pada perancangan ini potensiometer akan dihubungkan ke pin terminal kontrol pada bagian pengontrol tegangan dc (*dc drive*), sehingga perubahan nilai hambatan yang terjadi pada potensiometer kemudian diubah menjadi perubahan nilai tegangan pada output dc drive tersebut. Pada akhirnya potensiometer ini berfungsi sebagai elemen untuk mengatur kecepatan mobil listrik atau dalam mobil konvensional fungsinya sama seperti pedal gas.

3. Menentukan jenis konverter tegangan 12 volt dc menjadi 220 volt yang akan digunakan untuk menyediakan catu daya untuk pengontrolan tegangan dc.

Alasan pemilihan dan pemakaian inverter dalam perancangan ini yaitu karena untuk mencatu pengontrol tegangan dc (*dc drive*) dibutuhkan tegangan dari jala-jala PLN sebesar 220 volt ac, namun karena sumber tegangan tersebut tidak dapat bergerak kemana-mana, sedangkan suatu mobil listrik membutuhkan suatu sumber tegangan ac yang dapat bergerak (*mobile*), sehingga dengan demikian peran dari sumber tegangan jala-jala PLN tersebut dapat digantikan oleh sebuah inverter (pengubah daya arus searah menjadi daya arus bolak-balik) yang akan mengubah daya arus searah sebesar 12 volt dc yang berasal dari baterai menjadi daya arus

bolak-balik sebesar 220 volt ac. Berikut merupakan gambar dari inverter yang dipakai pada mobil listrik ini :



(a)



(b)



(c)

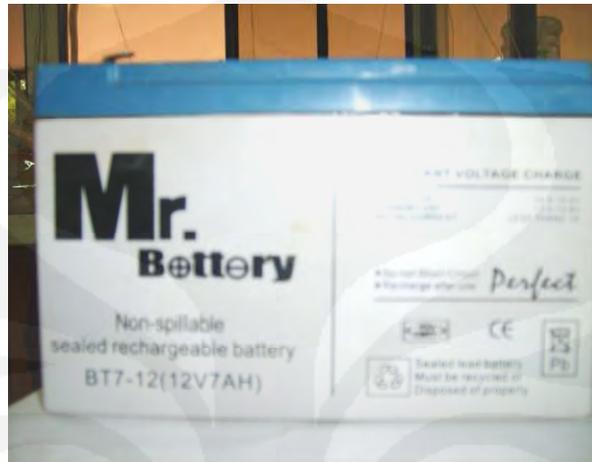
Gambar 3.13 Inverter (a) tampak atas, (b) tampak depan dan (c) tampak belakang

4. Menentukan jenis sumber tegangan 12 volt dc yang akan digunakan untuk mencatu inverter.

Untuk mencatu inverter, maka dibutuhkan suatu sumber tegangan dc yang memiliki syarat sebagai berikut:

- Sumber tegangan dc itu harus bersifat *mobile* (dapat dibawa kemana-mana).
- Bobot sumber tegangan dc tersebut harus ringan, sehingga tidak terlalu membebani mobil listrik yang akan dibuat.
- Sumber tegangan dc tersebut memiliki tegangan yang konstan, tidak mengalami fluktuasi yang terlalu tinggi.

- Sumber tegangan dc tersebut dapat diisi ulang kembali saat muatannya mulai berkurang atau bahkan habis, dan pengisiannya juga harus mudah dilakukan.



Gambar 3.14 Baterai yang dipakai pada mobil listrik

Dari keempat syarat yang disebutkan di atas maka baterai / *accu* memenuhi syarat, sehingga dengan demikian dipilihlah baterai sebagai sumber tegangan dc pada mobil listrik ini. Besar tegangan baterai yang dipilih disesuaikan dengan besarnya tegangan yang dibutuhkan untuk mencatu inverter tersebut.

3.5 PERAKITAN ALAT

Setelah selesai melaksanakan tahapan yang keempat, maka tahapan yang selanjutnya adalah tahapan yang kelima (tahapan yang terakhir dalam perancangan alat ini). Tahapan yang kelima merupakan tahapan perakitan alat. Alat-alat yang tadinya masih berdiri sendiri dan hanya memiliki fungsi masing-masing, kemudian dirangkai sesuai dengan gambar diagram blok alat, sehingga kemudian alat-alat tersebut memiliki fungsi yang baru dan satu sama lain memiliki keterkaitan fungsi. Sehingga, apabila salah satu alat tidak berfungsi sebagaimana mestinya maka hal tersebut akan berpengaruh terhadap fungsi alat ini secara keseluruhan atau bahkan dapat menyebabkan tidak bekerja alat ini.

Sehingga dengan demikian proses perakitan alat ini perlu dilakukan dengan benar. Oleh karena itu maka dilakukanlah proses perakitan alat ini dengan menyesuaikan kondisi perangkat dan tempat (*space*) yang tersedia terhadap rangka mobil listrik yang sudah ada. Sedangkan proses perakitan itu sendiri terdiri dari dua macam yaitu perakitan perangkat mekanik dan perakitan perangkat elektrik.

Berikut ini merupakan langkah perakitan mekanik :

1. Pasangudukan motor ke tempat yang tersedia pada rangka mobil listrik tersebut, kemudian hubungkan kedudukan motor dan rangka mobil listrik dengan keempat baut dan mur ukuran 13.
2. Hubungkan *gearbox* ke motor dc, kemudian tempatkan keduanya pada kedudukan motor, selanjutnya hubungkan dengan menggunakan baut dan mur 12 sebanyak empat buah.
3. Masukkan pen ke batang as untuk *gear* penggerak, lalu masukkan batang as tersebut kedalam lubang poros *gearbox*, kemudian kunci batang as tersebut dengan menggunakan baut L6 sebelumnya diberi ring ke poros batang as dan kencangkan dengan menggunakan kunci L6.
4. Masukkan gear penggerak ke batang as, lalu kunci posisi gear penggerak dengan mengencangkan baut dengan menggunakan obeng min.
5. Terakhir, hubungkan gear penggerak dengan gear yang digerakkan dengan menggunakan rantai. Lalu kunci rantai tersebut dengan pen penguncinya.



Gambar 3.15 Hasil perakitan perangkat mekanik mobil listrik

5. Potensiometer 10 K Ω yang telah dihubungkan ke pin terminal kontrol pada pengontrol tegangan dc (*dc drive*) kemudian dirakit pada tuas gas pada mobil listrik.



Gambar 3.17 Hasil perakitan potensiometer pada rangka mobil listrik

3.6 CARA KERJA ALAT

Pengaturan kecepatan motor menggunakan potensiometer geser yang dihubungkan pada bagian input *setpoint* perangkat *dc drive*, sedangkan perubahan arah putaran motor dilakukan secara manual dengan menggunakan switch dpdt yang akan mengubah polaritas positif (+) dan negative (-) pada tegangan masukan ke motor dc. Karena *dc drive* yang digunakan membutuhkan tegangan masukan 220 volt dc, maka dibutuhkan perangkat inverter yang akan menyediakan tegangan sebesar 220 volt dc untuk *dc drive*. Inverter berfungsi mengubah daya dc menjadi daya ac yang presisi. Daya dc disediakan oleh dua buah baterai yang dipakai untuk periode waktu yang terbatas, tergantung pada kapasitas baterai. Daya yang ada pada baterai akan berkurang, sampai pada akhirnya habis sehingga baterai tersebut harus diisi ulang (*charging*) dengan menggunakan *charger* baterai sehingga daya dc yang ada pada baterai tersebut dapat digunakan lagi untuk digunakan pada masukan tegangan inverter.

Namun karena motor dc yang digunakan ini tidak memiliki torsi yang besar, hanya sekitar 0,37 HP. Sehingga pada saat motor dibebani, maka untuk dorongan putaran awal kurang kuat untuk bergerak.

Untuk mengatasi masalah itu maka diperlukan perangkat mekanik tambahan berupa *gearbox* dengan perbandingan rasio 1 : 28₂ sehingga berakibat

pada penurunan kecepatan, namun menghasilkan dampak positif berupa peningkatan torsi, dengan demikian peningkatan torsi ini memungkinkan untuk menggerakkan mobil listrik.



BAB IV

PENGUKURAN DAN ANALISA SISTEM

Pada bab ini akan disajikan mekanisme pengukuran dan serangkaian uji coba terhadap mobil listrik yang telah dibuat. Dari proses pengukuran dan uji coba yang dilakukan kemudian akan didapatkan data hasil pengukuran dan uji coba. selanjutnya dilakukan proses analisa terhadap data hasil pengukuran dan uji coba ini. Hasil analisa tersebut kemudian dibandingkan dengan teori yang dipelajari sebelumnya.

Secara garis besarnya proses pengukuran dan uji coba dibagi menjadi pengukuran pada perangkat mekanik dan pengukuran pada perangkat elektrik. Untuk melakukan pengukuran pada perangkat mekanik, maka dibutuhkan alat ukur yang disesuaikan dengan parameter (besaran) yang akan diukur. Untuk perangkat mekanik parameter yang akan diukur yaitu banyaknya revolusi per menit (RPM), sehingga alat ukur yang diperlukan yaitu tachometer.

Begitu juga untuk melakukan pengukuran pada perangkat elektrik, maka dibutuhkan alat ukur yang disesuaikan dengan parameter (besaran) yang akan diukur. Untuk perangkat elektrik parameter yang akan diukur yaitu tegangan (**V**) dan arus (**I**), sehingga alat ukur yang diperlukan yaitu voltmeter dan amperemeter. Kedua alat ukur ini dapat kita gantikan dengan menggunakan sebuah multimeter, namun untuk memudahkan pembacaan hasil ukur, maka multimeter yang akan digunakan adalah multimeter digital.

Selain itu juga pada pengukuran perangkat elektrik kita membutuhkan suatu grafik yang menyatakan hubungan antara arus (**I**), tegangan (**V**), daya (**P**) terhadap waktu (**t**) sehingga dibutuhkan suatu tambahan alat berupa sensor arus dan tegangan dan program (*software*) matlab dan seperangkat komputer. Untuk menampilkan grafik hasil pengukuran terhadap mobil listrik ini.

4.1 PENGUKURAN DAN ANALISA SISTEM MEKANIK

Pengukuran pada sistem mekanik dilakukan pada perangkat *gearbox* untuk mengetahui besar RPM dari *gearbox*, motor dc magnet permanen, dan *gear* yang

digerakkan (*the driven gear*), *gear* penggerak (*the driving gear*) serta pada ban mobil listrik tersebut. Hal tersebut dapat diketahui setelah dilakukan pengukuran pada :

1. pengukuran dengan menggunakan alat tachometer pada poros batang as *gear* penggerak.
2. pengukuran jumlah *gear* pada *gear* yang besar (*gear* yang digerakkan atau *the driven gear*), beserta diameternya.
3. pengukuran jumlah *gear* pada *gear* yang kecil (*gear* penggerak atau *the driving gear*), beserta panjang diameternya.
4. pengukuran panjang diameter ban mobil listrik.

4.1.1 Hasil Pengukuran Sistem Mekanik

- Berdasarkan pengukuran dengan menggunakan tachometer didapatkan bahwa RPM pada kecepatan maksimal pada poros batang as *gear* penggerak sebesar 105,8 RPM.
- Berdasarkan proses pengukuran jumlah *gear* pada *gear* yang besar (*gear* yang digerakkan atau *the driven gear*) didapatkan jumlah *gear* yang besar sebanyak 60 mata *gear*.
- Berdasarkan proses pengukuran jumlah *gear* pada *gear* yang kecil (*gear* penggerak atau *the driving gear*) didapatkan jumlah *gear* yang kecil sebanyak 21 mata *gear*.
- Berdasarkan proses pengukuran pada ban, maka didapatkan panjang diameter ban adalah 38 cm.

Dengan didapatkannya data hasil pengukuran tersebut maka penghitungan untuk mengetahui besar RPM dari, motor dc magnet permanen, dan *gear* yang digerakkan (*the driven gear*), *gear* penggerak (*the driving gear*) serta pada ban mobil listrik tersebut dapat dilakukan.

4.1.2 Analisa Hasil Pengukuran Sistem Mekanik

- Penghitungan untuk mengetahui besar RPM motor dc magnet permanen :
Gearbox yang digunakan pada mobil listrik ini memiliki rasio 1 : 28,

Rasio roda gigi adalah jumlah putaran yang harus ditempuh roda penggerak (*driving gears*) sebelum *driven gear* berputar satu putaran penuh. Dalam hal ini berarti motor dc yang bertindak sebagai *the driving gear*, dimana motor dc harus berputar 28 kali untuk setiap satu putaran *the driven gear* yang diperankan oleh *gearbox*. Itu artinya saat *gearbox* berputar 105,8 RPM, maka putaran motor telah mencapai $105,8 \times 28 \text{ kali} = 2962,4 \text{ RPM}$.

- Penghitungan untuk mengetahui besar RPM pada *gear* penggerak :

Berdasarkan teori pada bab dua bahwa untuk dua roda gigi yang dihubungkan sepusat (satu poros), maka hubungan roda jenis ini mempunyai arah putaran searah dan kecepatan sudut yang sama, tetapi dengan kecepatan linear yang berbeda.

Karena batang as yang terdapat poros *gearbox* dengan *gear* penggerak dihubungkan sepusat (satu poros), maka hubungan roda jenis ini mempunyai arah putaran searah dan kecepatan sudut yang sama. Sehingga besarnya RPM pada *gear* penggerak (*gear* yang kecil) adalah sama dengan besarnya RPM pada batang as yang terdapat poros *gearbox*. Besarnya RPM pada *gear* penggerak (*gear* yang kecil) adalah 105,8 RPM.

- Penghitungan untuk mengetahui besar RPM pada *gear* yang digerakkan :

Berdasarkan teori pada bab dua bahwa untuk dua roda gigi yang dihubungkan dengan tali, sabuk, atau rantai, hubungan roda jenis ini mempunyai arah putaran searah dan kecepatan linear yang sama tetapi dengan kecepatan sudut yang berbeda

Karena *gear* penggerak (*gear* yang kecil) dengan *gear* yang digerakkan (*gear* yang besar) dihubungkan dengan rantai, maka hubungan roda *gear* jenis ini mempunyai arah putaran searah dan kecepatan linear yang sama tetapi dengan kecepatan sudut yang berbeda. Karena jumlah gear yang kecil 21 mata *gear*, sedangkan jumlah gear yang besar 60 mata *gear*, melalui perbandingan dibawah ini bahwa :

$$\frac{\text{jumlah mata gear kecil}}{\text{jumlah mata gear besar}} = \frac{\text{besar RPM gear besar}}{\text{besar RPM gear kecil}}$$

Sehingga melalui perbandingan rumus di atas maka besarnya RPM pada *gear* besar (*gear* yang besar) dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\text{Besarnya RPM } gear \text{ besar} = \frac{\text{jumlah mata gear kecil}}{\text{jumlah mata gear besar}} \times \text{besarnya RPM } gear \text{ kecil}$$

$$\text{Besarnya RPM } gear \text{ besar} = \frac{21 \text{ mata gear}}{60 \text{ mata gear}} \times 105,8 \text{ RPM} = 37,03 \text{ RPM}$$

Besarnya RPM pada *gear* besar (*gear* yang digerakkan) adalah 37,03 RPM.

- Penghitungan untuk mengetahui besar RPM pada roda ban :

Berdasarkan teori pada bab dua bahwa untuk dua roda gigi yang dihubungkan sepusat (satu poros), maka hubungan roda jenis ini mempunyai arah putaran searah dan kecepatan sudut yang sama, tetapi dengan kecepatan linear yang berbeda.

Karena *gear* yang besar (*gear* yang digerakkan) dengan roda ban dihubungkan sepusat (satu poros), maka hubungan roda jenis ini mempunyai arah putaran searah dan kecepatan sudut yang sama. Sehingga besarnya RPM pada roda ban adalah sama dengan besarnya RPM pada *gear* yang besar (*gear* yang digerakkan). Besarnya RPM pada roda ban adalah 37,03 RPM.

Berdasarkan proses pengukuran pada roda ban, maka didapatkan panjang diameter ban adalah 38 cm. = 0,38 m karena roda ban berbentuk lingkaran, maka:

$$\begin{aligned} \text{Keliling roda ban} &= \pi \times \text{diameter ban} \\ &= 3,14 \times 0,38 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{Keliling roda ban} = 1,194 \text{ meter}$$

Artinya setiap roda ban melakukan putaran 1 kali, maka jarak yang ditempuhnya sejauh 1,194 meter. Apabila roda ban melakukan 37,03 kali putaran dalam satu menit, maka jarak yang ditempuhnya adalah :

$$\begin{aligned} \text{Jarak tempuh setiap menit} &= \text{keliling roda ban} \times \text{besarnya RPM maksimal} \\ &= 1,194 \text{ meter} \times 37,03 \text{ RPM} \end{aligned}$$

$$\text{Jarak tempuh setiap menit} = 44,224 \text{ meter}$$

Maka mobil listrik ini pada kecepatan maksimum mampu mencapai jarak sejauh 44,224 meter dalam waktu satu menit.

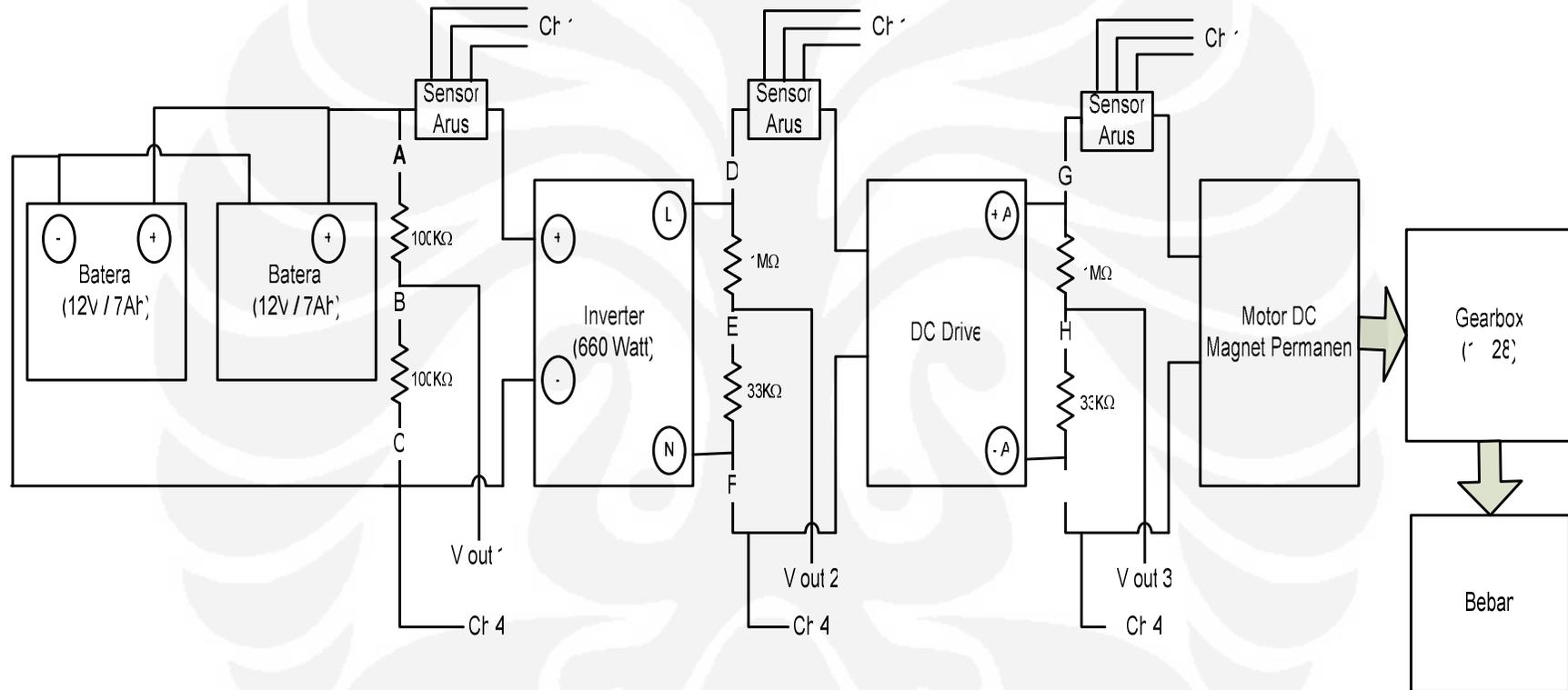
4.2 PENGUKURAN DAN ANALISA SISTEM ELEKTRIK

Untuk melakukan pengukuran pada sistem elektrik, maka dibutuhkan alat ukur yang disesuaikan dengan parameter (besaran) yang akan diukur. Untuk perangkat elektrik parameter yang akan diukur yaitu tegangan (**V**) dan arus (**I**), sehingga alat ukur yang diperlukan yaitu voltmeter dan amperemeter. Kedua alat ukur ini dapat kita gantikan dengan menggunakan sebuah multimeter, namun untuk memudahkan pembacaan hasil ukur, maka multimeter yang akan digunakan adalah multimeter digital.

Pengukuran pada sistem elektrik dilakukan pada :

1. Pengukuran pada output baterai.
2. Pengukuran pada output inverter.
3. Pengukuran pada output *dc drive*.

Pengukuran perangkat elektrik dilakukan untuk mengetahui besar tegangan dan arus keluaran dari baterai, inverter, dan pengontrol tegangan dc (*dc drive*). Selain itu juga pada pengukuran perangkat elektrik kita membutuhkan suatu grafik yang menyatakan hubungan antara arus (**I**), tegangan (**V**), daya (**P**) terhadap waktu (**t**) sehingga dibutuhkan suatu tambahan alat berupa sensor arus dan tegangan dan program (*software*) matlab dan seperangkat komputer. Untuk menampilkan grafik hasil pengukuran terhadap mobil listrik ini.



Gambar 4.1 Rangkaian pengukuran pada sistem elektrik

4.2.1 Pengukuran Pada Output Baterai

Pengukuran pada output baterai dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan dan arus yang berasal baterai yang digunakan untuk mencatu inverter 660 watt. Baterai yang digunakan memiliki spesifikasi 12 volt dc / 7 Ah sebanyak dua buah yang dihubungkan secara paralel.

4.2.1.1 Hasil pengukuran dengan menggunakan multimeter digital

- Berdasarkan pengukuran tegangan pada output baterai dengan menggunakan multimeter digital, didapatkan tegangan sebesar 12,93 volt dc.
- Berdasarkan pengukuran tegangan pada titik tengah kedua resistor yang bernilai masing-masing 100 K Ω tersebut terhadap kutub negatif dengan menggunakan multimeter digital yaitu 6,42 volt dc.

4.2.1.2 Analisa hasil pengukuran dengan perhitungan secara teori

Karena sensor arus dan tegangan yang digunakan pada pengukuran pada output baterai memiliki spesifikasi yang terbatas (hanya mampu digunakan untuk mengukur tegangan yang lebih kecil dari 10 volt) maka dibutuhkan komponen tambahan berupa dua buah resistor yang memiliki hambatan masing-masing sebesar 100 K Ω yang dihubungkan secara seri seperti pada gambar pengukuran di atas dan berfungsi sebagai rangkaian pembagi tegangan. Karena nilai hambatan kedua resistor tersebut sama besarnya, maka besarnya tegangan pada titik tengah kedua resistor tersebut terhadap kutub negatif adalah setengah dari nilai tegangan baterai volt yaitu 6,465 volt dc. Hal ini didapat dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Tegangan } B - C = \frac{R \text{ dititik } B - C}{R \text{ dititik } B - C + R \text{ dititik } A - B} \times \text{Tegangan sumber}$$

$$\text{Tegangan } B - C = \frac{100 \text{ K}\Omega}{100 \text{ K}\Omega + 100 \text{ K}\Omega} \times 12,93 \text{ volt dc} = 6,465 \text{ volt dc}$$

Sehingga dengan demikian tegangan 6,465 volt dc tersebut cukup aman untuk diukur dengan menggunakan sensor arus dan tegangan melalui scope pada komputer.

Karena tegangan hasil pengukuran pada sensor merupakan tegangan yang berasal dari rangkaian pembagi tegangan yang terdiri dari dua buah resistor. Untuk mencari nilai tegangan yang sesungguhnya, maka tegangan hasil pengukuran pada sensor (V_{sensor}) harus dikalikan dengan bilangan pengali yang merupakan penyebut pada rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*) tersebut. Untuk pengukuran pada output baterai digunakan $R_{A-B} = 100 \text{ K}\Omega$ dan $R_{B-C} = 100 \text{ K}\Omega$. Maka bilangan pengalinya sama dengan 2 (dua), yang berasal dari perhitungan di bawah ini :

$$\frac{100 \text{ K}\Omega}{100 \text{ K}\Omega + 100 \text{ K}\Omega} \times \frac{\frac{1}{100 \text{ K}\Omega}}{\frac{1}{100 \text{ K}\Omega}} = \frac{1}{1+1} = \frac{1}{2}$$

Contoh untuk data sampling yang ke 3, untuk tegangan hasil sensor sebesar 5.8643 volt maka untuk mencari nilai tegangan yang sesungguhnya adalah dengan rumus berikut ini :

$$\begin{aligned} - \text{ untuk mencari Tegangan (V)} &= (V_{\text{sensor}}) \times 2 \\ &= 5,8643 \times 2 \\ &= 11,7286 \text{ volt dc} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ untuk mencari arus (I)} &= \frac{I_{\text{sensor}} - 2.5}{0.1} \\ &= \frac{2,6074 - 2.5}{0.1} \\ &= 1,074 \text{ ampere} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} - \text{ Untuk mencari daya (P)} &= V \times I \\ &= 11,7286 \text{ volt dc} \times 1,074 \text{ ampere} \\ &= 12,59651 \text{ watt.} \end{aligned}$$

$$0.1 \frac{\text{volt}}{\text{amper}} = \frac{100 \text{mvolt}}{1 \text{ amper}}$$

Angka 0,1 yang terdapat pada rumus untuk mencari arus (I) didapat dari perbandingan di atas. Artinya setiap perubahan sebesar 100mvolt mengakibatkan perubahan arus sebesar 1 ampere.

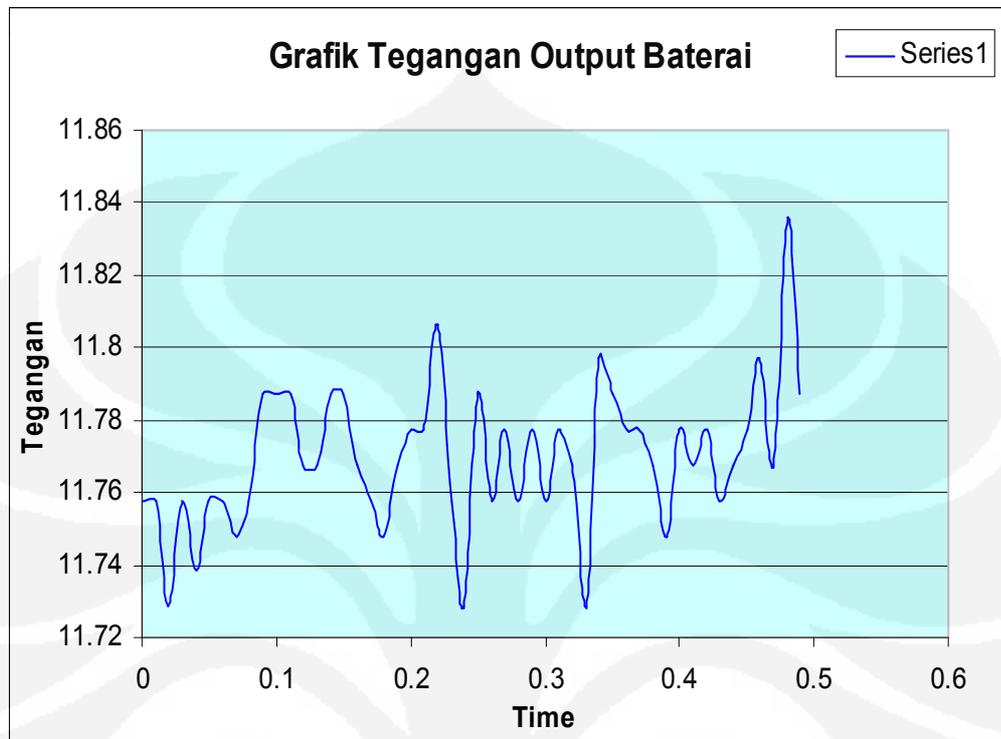
Untuk mendapatkan hasil perhitungan pada data yang lain maka sama seperti langkah diatas, *array* data sebanyak 12000 data tersebut dapat diproses dengan program *microsoft excel*. Namun untuk memudahkan pembacaan, maka data yang ditampilkan hanya sebanyak 20 *array* data. Berikut ini tabel data hasil pengukuran :

Tabel 1 Data hasil pengukuran pada output baterai

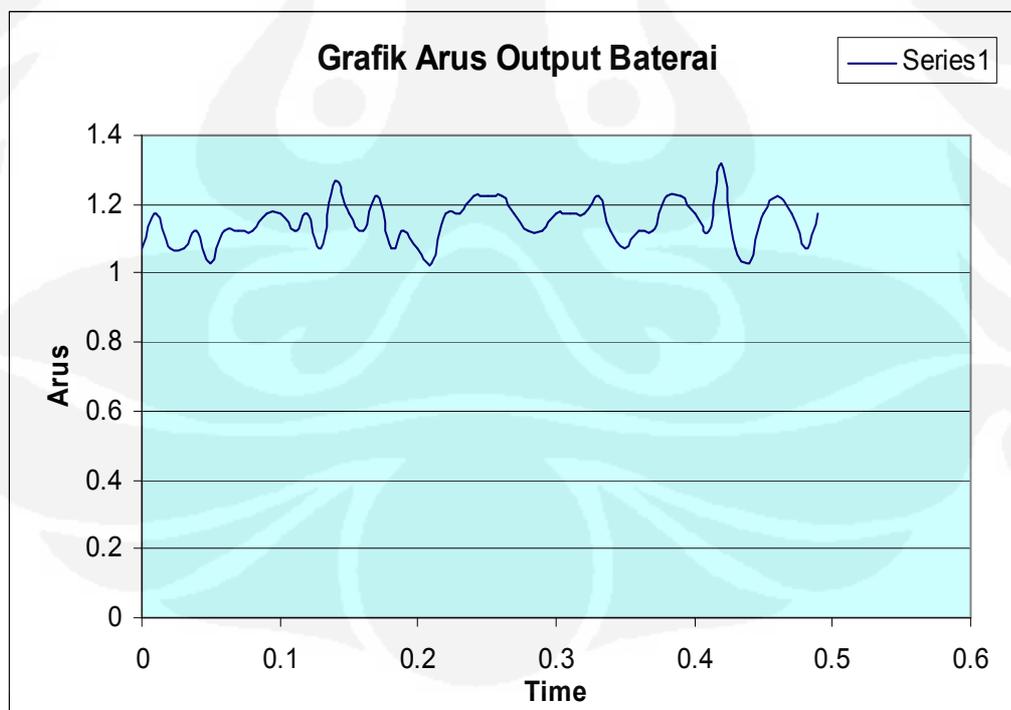
NO	t	Vs	Is	I	V	P
1	0	5.8789	2.6074	1.074	11.7578	12.62788
2	0.01	5.8789	2.6172	1.172	11.7578	13.78014
3	0.02	5.8643	2.6074	1.074	11.7286	12.59652
4	0.03	5.8789	2.6074	1.074	11.7578	12.62788
5	0.04	5.8691	2.6123	1.123	11.7382	13.182
6	0.05	5.8789	2.6025	1.025	11.7578	12.05175
7	0.06	5.8789	2.6123	1.123	11.7578	13.20401
8	0.07	5.874	2.6123	1.123	11.748	13.193
9	0.08	5.8789	2.6123	1.123	11.7578	13.20401
10	0.09	5.8936	2.6172	1.172	11.7872	13.8146
11	0.1	5.8936	2.6172	1.172	11.7872	13.8146
12	0.11	5.8936	2.6123	1.123	11.7872	13.23703
13	0.12	5.8838	2.6172	1.172	11.7676	13.79163
14	0.13	5.8838	2.6074	1.074	11.7676	12.6384
15	0.14	5.8936	2.627	1.27	11.7872	14.96974
16	0.15	5.8936	2.6172	1.172	11.7872	13.8146
17	0.16	5.8838	2.6123	1.123	11.7676	13.21501
18	0.17	5.8789	2.6221	1.221	11.7578	14.35627
19	0.18	5.874	2.6074	1.074	11.748	12.61735
20	0.19	5.8838	2.6123	1.123	11.7676	13.21501

Data hasil pengukuran dapat diubah dalam bentuk grafik yang menggambarkan hubungan antara tegangan (V), arus (I), dan daya (P) terhadap waktu (t) dengan *time sampling* sebesar 0,01 detik. Grafik-grafik di bawah ini merupakan hasil dari konversi data ke grafik yang menggunakan program

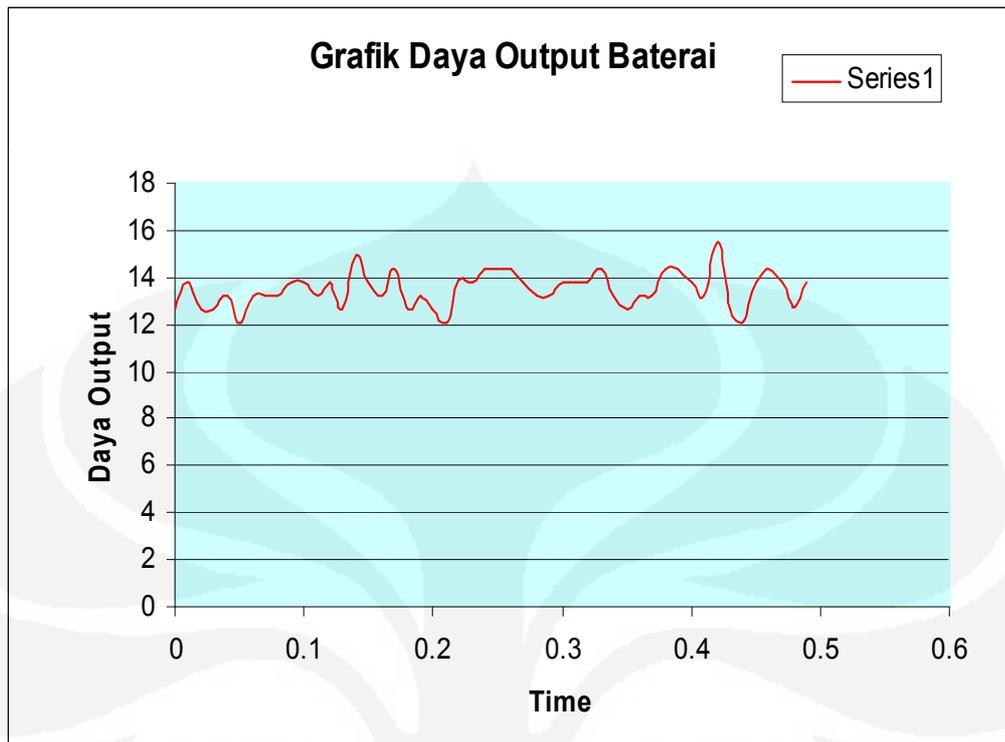
Microsoft Excel. Berikut ini tampilan data berupa grafik-grafik pada pengukuran output baterai :



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.2 Grafik hasil pengukuran pada output baterai

4.2.2 PENGUKURAN PADA OUTPUT INVERTER

Pengukuran pada output inverter dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan dan arus yang berasal inverter yang digunakan untuk mencatu pengontrol tegangan dc (*dc drive*). Inverter yang digunakan memiliki spesifikasi 660 watt.

4.2.2.1 Hasil pengukuran dengan menggunakan multimeter digital

- Berdasarkan pengukuran tegangan pada output baterai dengan menggunakan multimeter digital, didapatkan tegangan sebesar 197 volt ac.
- Berdasarkan pengukuran tegangan pada titik tengah kedua resistor tersebut terhadap kutub negatif (tegangan pada resistor yang nilai hambatannya sebesar $33\text{ K}\Omega$) dengan menggunakan multimeter digital adalah sebesar 4,3 volt ac

4.2.2.2 Analisa hasil pengukuran dengan perhitungan secara teori

Karena sensor arus dan tegangan yang digunakan pada pengukuran memiliki spesifikasi yang terbatas (hanya mampu digunakan untuk mengukur tegangan yang lebih kecil dari 10 volt). Untuk mendapatkan tegangan yang lebih kecil dari 10 volt maka dibutuhkan komponen tambahan berupa dua buah resistor yang memiliki nilai hambatan yang berbeda, yaitu resistor dengan nilai hambatan 1 M Ω dan resistor dengan nilai hambatan 33 K Ω yang dihubungkan secara seri seperti pada gambar pengukuran di atas dan berfungsi sebagai rangkaian pembagi tegangan. Maka besarnya tegangan pada titik tengah kedua resistor tersebut terhadap kutub negatif (tegangan pada resistor yang nilai hambatannya sebesar 33 K Ω) adalah sebesar 4,3 volt ac yang didapat melalui pengukuran menggunakan multimeter digital. Sedangkan hasil yang didapat melalui perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Tegangan } E - F = \frac{R \text{ titik } E - F}{R \text{ titik } E - F + R \text{ titik } D - E} \times \text{Tegangan sumber}$$

$$\text{Tegangan } E - F = \frac{33 \text{ K}\Omega}{33 \text{ K}\Omega + 1 \text{ M}\Omega} \times 197 \text{ volt ac} = 6,29 \text{ volt dc}$$

Sehingga dengan demikian tegangan 6,29 volt ac (melalui perhitungan) atau 4,3 volt ac (melalui pengukuran) tersebut cukup aman untuk diukur dengan menggunakan sensor arus dan tegangan melalui scope pada komputer.

Karena tegangan hasil pengukuran pada sensor merupakan tegangan yang berasal dari rangkaian pembagi tegangan yang terdiri dari dua buah resistor. Untuk mencari nilai tegangan yang sesungguhnya, maka tegangan hasil pengukuran pada sensor (V_{sensor}) harus dikalikan dengan bilangan pengali yang merupakan penyebut pada rangkaian pembagi tegangan tersebut. Untuk pengukuran pada output inverter baterai digunakan $R_{D-E} = 1 \text{ M}\Omega$ dan $R_{E-F} = 33 \text{ K}\Omega$. Maka bilangan pengalinya sama dengan 31,3, yang berasal dari perhitungan di bawah ini :

$$\frac{33K\Omega}{33K\Omega + 1M\Omega} \times \frac{1/33K\Omega}{1/33K\Omega} = \frac{1}{1+30.3} = \frac{1}{31.3}$$

Contoh untuk data sampling yang ke 3, untuk tegangan hasil sensor sebesar 7,1484 volt maka untuk mencari nilai tegangan yang sesungguhnya adalah dengan rumus berikut ini :

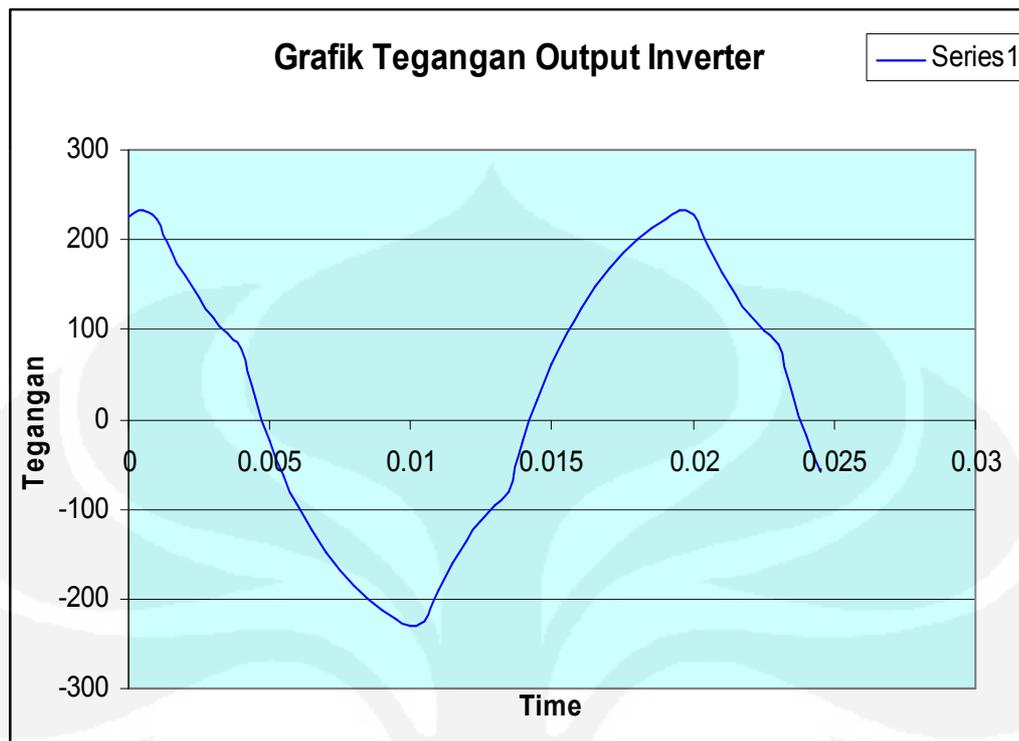
- untuk mencari Tegangan (V) = $(V_{\text{sensor}}) \times 31.3$
 = 7,1484 volt X 31.3
 = 223.7449 volt ac
- untuk mencari arus (I) = $\frac{I_{\text{sensor}} - 2.5}{0.1}$
 = $\frac{2,5635 - 2.5}{0.1}$
 = 0,635 ampere
- Untuk mencari daya (P) = V X I
 = 223,7449 volt ac X 0,635 ampere
 = 142,0780 watt.

Untuk mendapatkan hasil perhitungan pada data yang lain maka sama seperti langkah diatas, *array* data sebanyak 12000 data tersebut dapat diproses dengan program *microsoft excel*. Namun untuk memudahkan pembacaan, maka data yang ditampilkan hanya sebanyak 20 *array* data. Berikut ini tabel data hasil pengukuran :

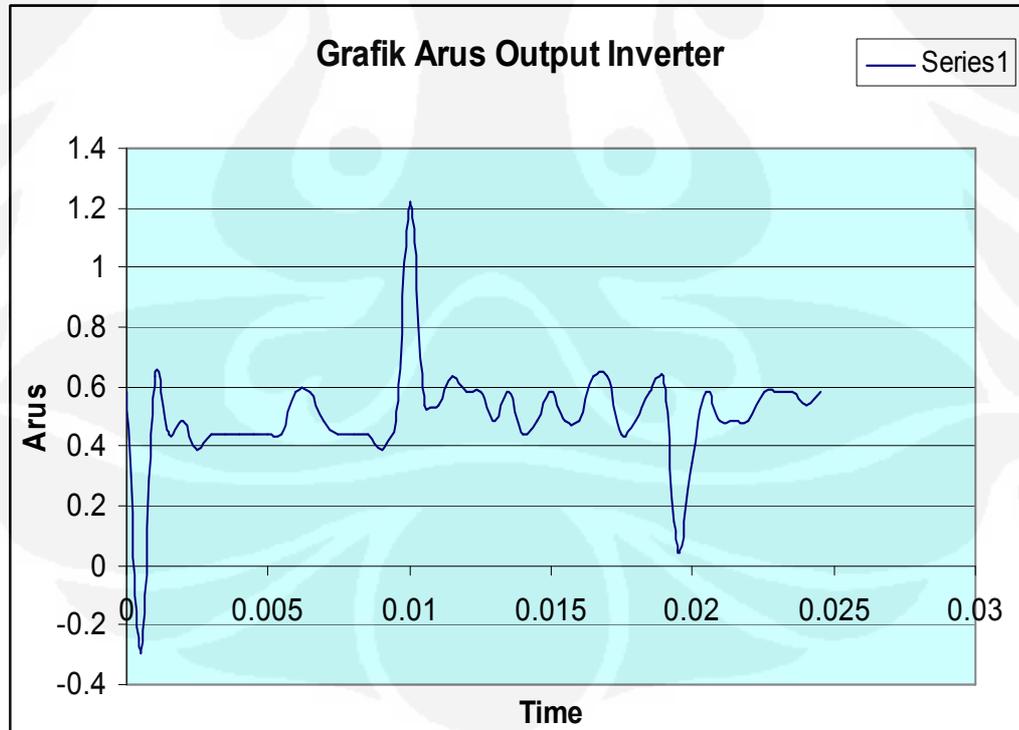
Tabel 2 Data hasil pengukuran pada output inverter

No	t	Vs	Is	I	V	P
1	0	7.1631	2.5586	0.586	224.205	131.3841
2	0.0005	7.4414	2.4707	-0.293	232.9158	-68.2443
3	0.001	7.1484	2.5635	0.635	223.7449	142.078
4	0.0015	6.0352	2.5439	0.439	188.9018	82.92787
5	0.002	5.1025	2.5488	0.488	159.7083	77.93763
6	0.0025	4.3115	2.5391	0.391	134.95	52.76543
7	0.003	3.6426	2.5439	0.439	114.0134	50.05187
8	0.0035	3.0811	2.5439	0.439	96.43843	42.33647
9	0.004	2.5146	2.5439	0.439	78.70698	34.55236
10	0.0045	0.74707	2.5439	0.439	23.38329	10.26526
11	0.005	-0.74219	2.5439	0.439	-23.2305	-10.1982
12	0.0055	-2.0117	2.5439	0.439	-62.9662	-27.6422
13	0.006	-3.0664	2.5586	0.586	-95.9783	-56.2433
14	0.0065	-3.9746	2.5586	0.586	-124.405	-72.9013
15	0.007	-4.7314	2.5488	0.488	-148.093	-72.2693
16	0.0075	-5.376	2.5439	0.439	-168.269	-73.87
17	0.008	-5.918	2.5439	0.439	-185.233	-81.3175
18	0.0085	-6.3818	2.5439	0.439	-199.75	-87.6904
19	0.009	-6.7725	2.5391	0.391	-211.979	-82.8839
20	0.0095	-7.1045	2.5488	0.488	-222.371	-108.517

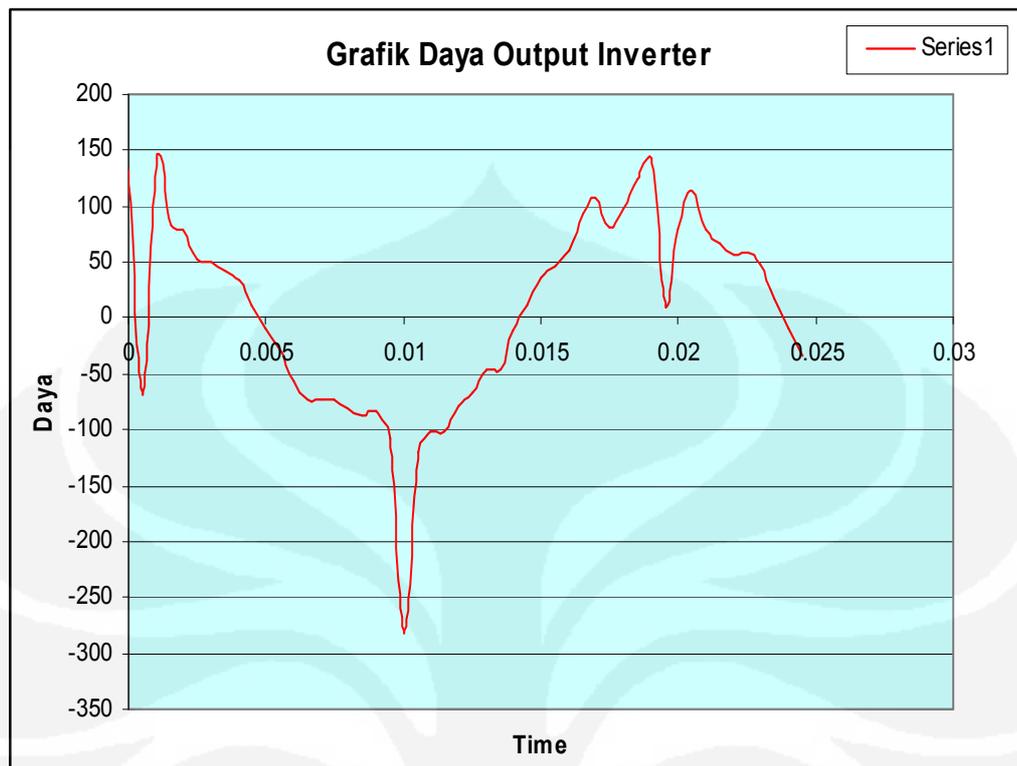
Data hasil pengukuran dapat diubah dalam bentuk grafik yang menggambarkan hubungan antara tegangan (V), arus (I), dan daya (P) terhadap waktu (t) dengan *time sampling* sebesar 0.0005 detik. Grafik-grafik di bawah ini merupakan hasil dari konversi data ke grafik yang menggunakan program *Microsoft Excel*. Berikut ini tampilan data berupa grafik-grafik pada pengukuran output inverter :



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3 Grafik hasil pengukuran pada output inverter

4.2.3 PENGUKURAN PADA OUTPUT *DC DRIVE*

Pengukuran pada output *dc drive* dilakukan untuk mengetahui besarnya tegangan dan arus yang berasal *dc drive* yang digunakan untuk mencatu motor dc magnet permanen. Pengontrol tegangan dc (*dc drive*) yang digunakan memiliki spesifikasi tegangan dc keluaran 0,2 volt dc sampai dengan 126 volt dc.

4.2.3.1 Hasil pengukuran dengan menggunakan multimeter digital

- Berdasarkan pengukuran tegangan pada output baterai dengan menggunakan multimeter digital, didapatkan tegangan sebesar 126 volt dc.
- Berdasarkan pengukuran tegangan pada titik tengah kedua resistor tersebut terhadap kutub negatif (tegangan pada resistor yang nilai hambatannya sebesar $33\text{ K}\Omega$) dengan menggunakan multimeter digital adalah sebesar 2,9 volt dc.

4.2.3.2 Analisa hasil pengukuran dengan perhitungan secara teori

Karena sensor arus dan tegangan yang digunakan pada pengukuran memiliki spesifikasi yang terbatas (hanya mampu digunakan untuk mengukur tegangan yang lebih kecil dari 10 volt). Untuk mendapatkan tegangan yang lebih kecil dari 10 volt maka dibutuhkan komponen tambahan berupa dua buah resistor yang memiliki nilai hambatan yang berbeda, yaitu resistor dengan nilai hambatan 1 M Ω dan resistor dengan nilai hambatan 33 K Ω yang dihubungkan secara seri seperti pada gambar pengukuran di atas dan berfungsi sebagai rangkaian pembagi tegangan. Maka besarnya tegangan pada titik tengah kedua resistor tersebut terhadap kutub negatif (tegangan pada resistor yang nilai hambatannya sebesar 33 K Ω) adalah sebesar 2,9 volt dc yang didapat melalui pengukuran menggunakan multimeter digital. Sedangkan hasil yang didapat melalui perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Tegangan } H-I = \frac{R \text{ dititik } H-I}{R \text{ dititik } H-I + R \text{ dititik } G-H} \times \text{Tegangan sumber}$$

$$\text{Tegangan } H-I = \frac{33 \text{ K}\Omega}{33 \text{ K}\Omega + 1 \text{ M}\Omega} \times 126 \text{ volt dc} = 4,025 \text{ volt dc}$$

Sehingga dengan demikian tegangan 4,025 volt dc (melalui perhitungan) atau 2,9 volt dc (melalui pengukuran) tersebut cukup aman untuk diukur dengan menggunakan sensor arus dan tegangan melalui scope pada komputer.

Karena tegangan hasil pengukuran pada sensor merupakan tegangan yang berasal dari rangkaian pembagi tegangan yang terdiri dari dua buah resistor. Untuk mencari nilai tegangan yang sesungguhnya, maka tegangan hasil pengukuran pada sensor (V_{sensor}) harus dikalikan dengan bilangan pengali yang merupakan penyebut pada rangkaian pembagi tegangan tersebut. Untuk pengukuran pada output baterai digunakan $R_{G-H} = 1 \text{ M}\Omega$ dan $R_{H-I} = 33 \text{ K}\Omega$. Maka bilangan pengalinya sama dengan 2 (dua), yang berasal dari perhitungan di bawah ini :

$$\frac{33\text{K}\Omega}{33\text{K}\Omega + 1\text{M}\Omega} \times \frac{1/33\text{K}\Omega}{1/33\text{K}\Omega} = \frac{1}{1+30,3} = \frac{1}{31,3}$$

Contoh untuk data sampling yang ke 4, untuk tegangan hasil sensor sebesar 0.014648 volt dc maka untuk mencari nilai tegangan yang sesungguhnya adalah dengan rumus berikut ini :

$$\begin{aligned}
 - \text{ untuk mencari Tegangan (V)} &= (V_{\text{sensor}}) \times 31,3 \\
 &= 0.014648 \text{ volt dc} \quad \times \quad 31,3 \\
 &= 0,45848 \text{ volt dc} \\
 - \text{ untuk mencari arus (I)} &= \frac{I_{\text{sensor}} - 2.5}{0.1} \\
 &= \frac{2.5488 - 2.5}{0.1} \\
 &= 0,488 \text{ ampere} \\
 - \text{ Untuk mencari daya (P)} &= V \quad \times \quad I \\
 &= 0,45848 \text{ volt dc} \times 0,488 \text{ ampere} \\
 &= 0,22373 \text{ watt.}
 \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan hasil perhitungan pada data yang lain maka sama seperti langkah diatas, *array* data sebanyak 12000 data tersebut dapat diproses dengan program *microsoft excel*. Namun untuk memudahkan pembacaan, maka data yang ditampilkan hanya sebanyak 20 *array* data. Berikut ini tabel data hasil pengukuran

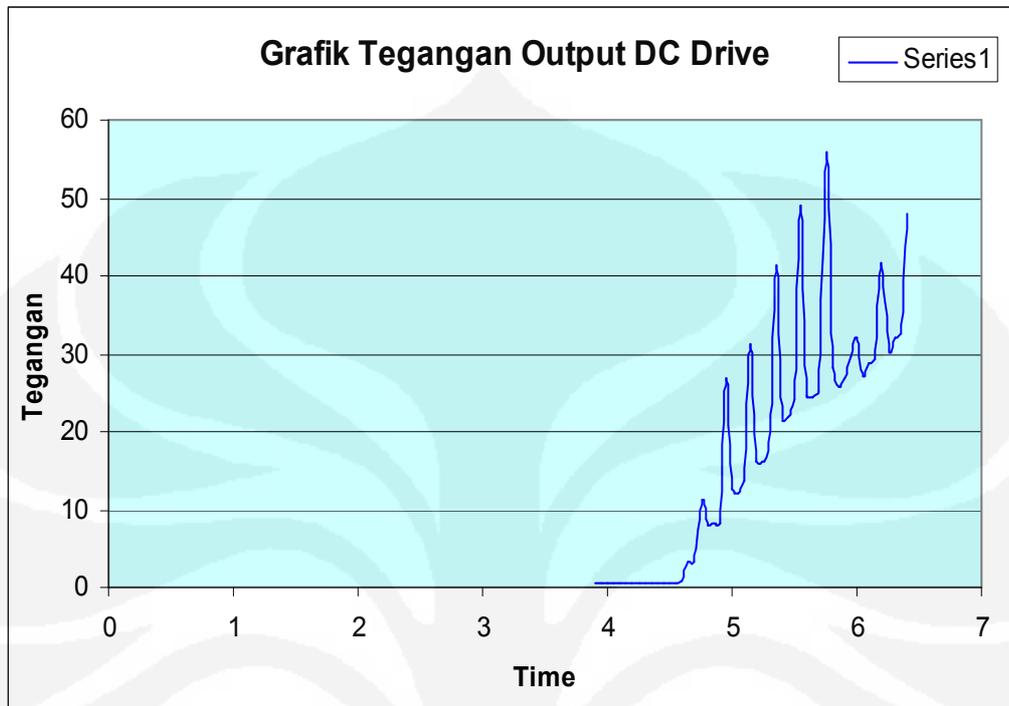
Tabel 3 Data hasil pengukuran pada output dc drive

NO	t	Vs	Is	I	V	P
79	3.9	0.014648	2.5732	0.732	0.458482	0.335609
80	3.95	0.014648	2.5732	0.732	0.458482	0.335609
81	4	0.014648	2.5537	0.537	0.458482	0.246205
82	4.05	0.014648	2.5684	0.684	0.458482	0.313602
83	4.1	0.014648	2.5537	0.537	0.458482	0.246205
84	4.15	0.019531	2.5586	0.586	0.61132	0.358234
85	4.2	0.014648	2.5684	0.684	0.458482	0.313602
86	4.25	0.014648	2.5537	0.537	0.458482	0.246205
87	4.3	0.014648	2.5732	0.732	0.458482	0.335609
88	4.35	0.014648	2.5635	0.635	0.458482	0.291136

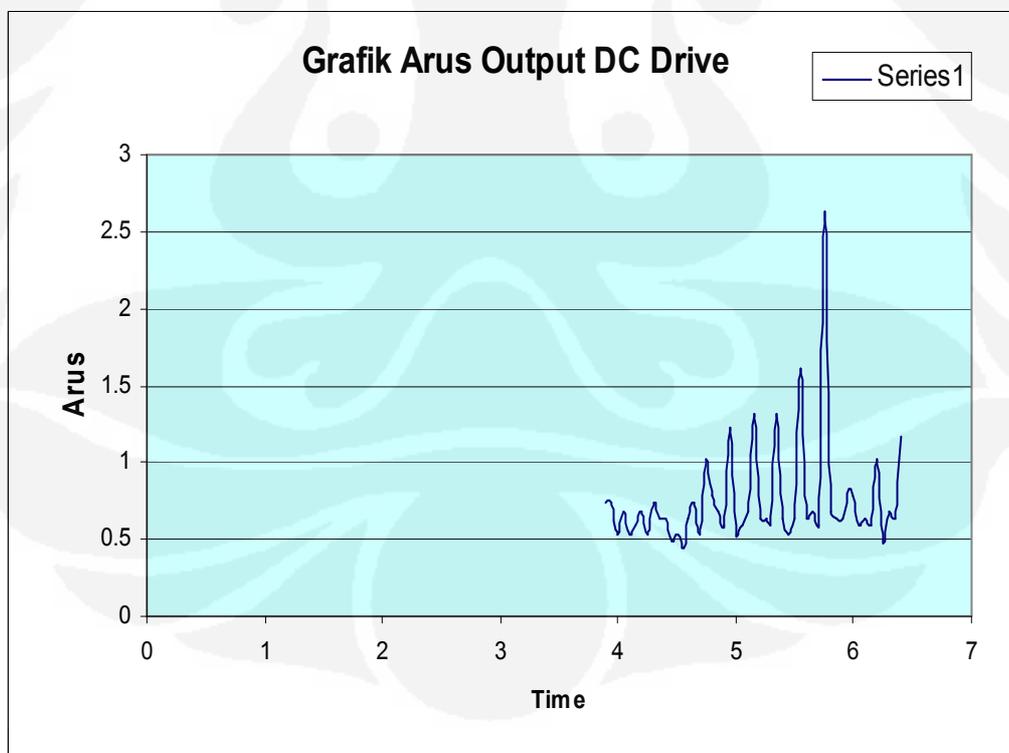
89	4.4	0.014648	2.5635	0.635	0.458482	0.291136
90	4.45	0.014648	2.5488	0.488	0.458482	0.223739
91	4.5	0.014648	2.5537	0.537	0.458482	0.246205
92	4.55	0.014648	2.5439	0.439	0.458482	0.201274
93	4.6	0.029297	2.5635	0.635	0.916996	0.582293
94	4.65	0.10254	2.5732	0.732	3.209502	2.349355
95	4.7	0.10254	2.5537	0.537	3.209502	1.723503
96	4.75	0.36133	2.6025	1.025	11.30963	11.59237
97	4.8	0.25391	2.5781	0.781	7.947383	6.206906
98	4.85	0.26367	2.5684	0.684	8.252871	5.644964
99	4.9	0.26367	2.5586	0.586	8.252871	4.836182
100	4.95	0.85938	2.6221	1.221	26.89859	32.84318
101	5	0.40039	2.5537	0.537	12.53221	6.729795
102	5.05	0.38086	2.5586	0.586	11.92092	6.985658
103	5.1	0.43945	2.5684	0.684	13.75479	9.408273
104	5.15	1.001	2.6318	1.318	31.3313	41.29465
105	5.2	0.5127	2.5635	0.635	16.04751	10.19017
106	5.25	0.51758	2.5635	0.635	16.20025	10.28716
107	5.3	0.63965	2.5586	0.586	20.02105	11.73233
108	5.35	1.3232	2.6318	1.318	41.41616	54.5865
109	5.4	0.67871	2.5635	0.635	21.24362	13.4897
110	5.45	0.70313	2.5537	0.537	22.00797	11.81828
111	5.5	0.7666	2.5635	0.635	23.99458	15.23656
112	5.55	1.5625	2.6611	1.611	48.90625	78.78797
113	5.6	0.78613	2.5635	0.635	24.60587	15.62473
114	5.65	0.77637	2.5684	0.684	24.30038	16.62146
115	5.7	0.80566	2.5586	0.586	25.21716	14.77725
116	5.75	1.7871	2.7637	2.637	55.93623	147.5038
117	5.8	0.89844	2.5684	0.684	28.12117	19.23488
118	5.85	0.82031	2.5635	0.635	25.6757	16.30407
119	5.9	0.85449	2.5635	0.635	26.74554	16.98342
120	5.95	0.94238	2.583	0.83	29.49649	24.48209
121	6	1.0254	2.5781	0.781	32.09502	25.06621
122	6.05	0.86914	2.5586	0.586	27.20408	15.94159
123	6.1	0.91797	2.5635	0.635	28.73246	18.24511
124	6.15	0.9375	2.5586	0.586	29.34375	17.19544
125	6.2	1.333	2.6025	1.025	41.7229	42.76597
126	6.25	0.97168	2.5488	0.488	30.41358	14.84183
127	6.3	1.0205	2.5684	0.684	31.94165	21.84809
128	6.35	1.04	2.5635	0.635	32.552	20.67052
129	6.4	1.5332	2.6172	1.172	47.98916	56.2433

Data hasil pengukuran dapat diubah dalam bentuk grafik yang menggambarkan hubungan antara tegangan (V), arus (I), dan daya (P) terhadap waktu (t) dengan *time sampling* sebesar 0.05 detik. Grafik-grafik di bawah ini merupakan hasil dari konversi data ke grafik yang menggunakan program

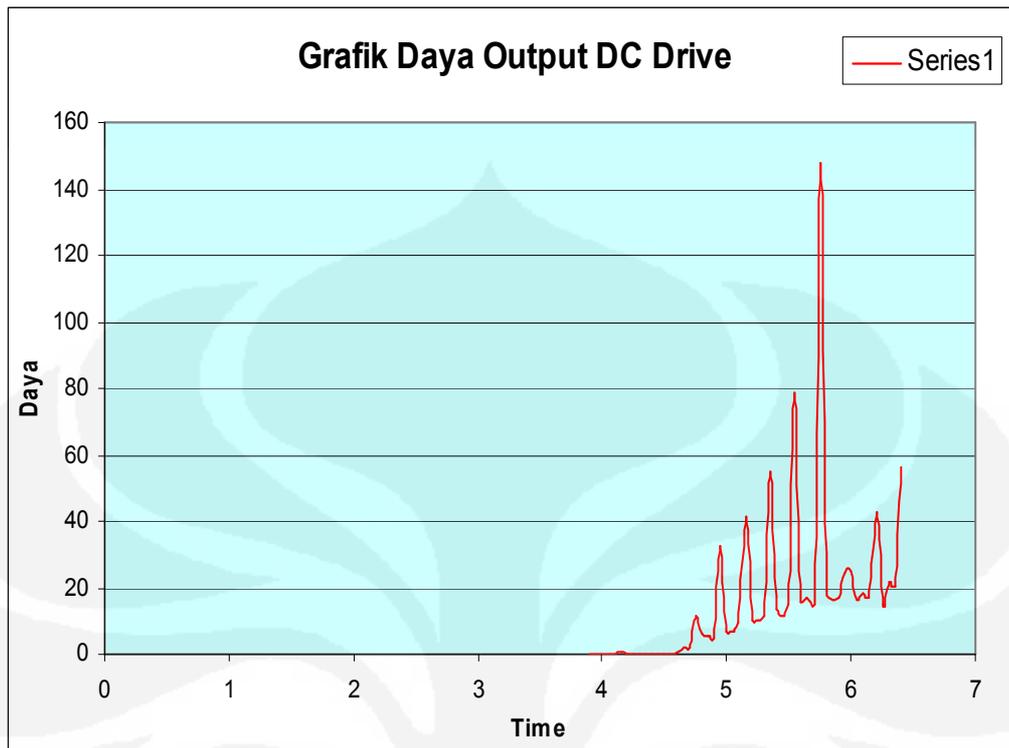
Microsoft Excel. Berikut ini tampilan data berupa grafik-grafik pada pengukuran output baterai :



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.4 Grafik hasil pengukuran pada output dc drive

4.3 Performansi Dan Spesifikasi Mobil Listrik

Deskripsi tabel di atas menunjukkan kemampuan dan kelebihan yang dimiliki oleh mobil listrik ini untuk menampilkan performa yang optimal dan konsumsi battery yang lebih efisien. Selain itu juga radius putaran yang hanya 4,7 meter, sehingga memungkinkan pengendara mobil listrik ini untuk bermanuver secara lebih leluasa saat mengendarai maupun saat memarkirkan mobil listrik ini.



Gambar 4.5 Minimum turning radius mobil listrik

Tabel 4 Performansi dan spesifikasi mobil listrik

PERFORMANSI DAN SPESIFIKASI MOBIL LISTRIK	
Mesin / Engine	
Tipe Mesin / <i>Engine type</i>	Motor listrik dc bermagnet permanen seri 2 pole (EM2 M/PSRDC)
Tipe Lilitan Armature	Lilitan gelung
Daya Maksimum	0,37 hp / 3000 rpm
Torsi maksimum	4,8 N.m / 105,8 rpm
Diameter Armature / komutator	85,4 x 47,8 mm
Bahan Bakar	Battery 2 x 12V/7AH
Waktu Isi (<i>charging Time</i>)	5 jam (300 menit)
Waktu Buang (<i>Discharging Time</i>)	0,67 jam (40 menit)
Dimensi / Dimension	
Panjang / <i>Overall Length</i>	1960 mm
Lebar / <i>Overall width</i>	1120 mm
Tinggi / <i>Overall Height</i>	1250 mm
Jarak Sumbu / <i>Wheelbase</i>	1380 mm
Jarak Terendah Depan Ke tanah / <i>Front Thread</i>	135 mm
Jarak Terendah belakang Ke tanah / <i>Rear Thread</i>	85 mm
Berat Kosong / <i>Curb Weight</i>	± 160 Kg
Rangka Sasis / Chassis	
Tipe Rangka / <i>Chassis Type</i>	Pipa Besi
Ban Depan	Alloy Wheel 60/80 - 17M / C35P
Ban Belakang	Alloy Wheel 65/80 - 17M / C38P
Rem Belakang	Cakram manual
Kelistrikan / Electricity	
Sumber Tegangan dc / <i>dc voltage source</i>	2 x 12V/7AH Battery
Sumber Tegangan ac / <i>ac voltage source</i>	12 vdc to 220 vac Inverter 660 watt
Pembalikan Polaritas Tegangan dc	dpdt Switch
Pengontrol Tegangan dc	Eurotherm dc drive type 506/507/508

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan analisa pada data hasil pengukuran dan pengujian terhadap sistem mobil listrik yang telah dirancang, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. motor dc dengan magnet permanent memiliki beberapa kelebihan.
 - Memiliki torsi *start* besar (bagus)
 - Kecepatannya dapat dikontrol dengan mudah. Kecepatan motor magnet permanen berbanding langsung dengan harga tegangan yang diberikan pada kumparan jangkar. Semakin besar tegangan jangkar, semakin tinggi kecepatan motor.
 - Arah putaran motor dc magnet permanen ditentukan oleh arah arus yang mengalir pada kumparan jangkar (*armature*).
 - Ukurannya lebih kecil dan lebih ringan apabila dibandingkan dengan motor dc jenis lainnya untuk besar HP (*horse power*) yang sama.
 - Magnet permanent pada statornya memiliki eksitasi yang konstan, sehingga sangat cocok digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan karakteristik *speed* dan torsi yang konstan.
 - Alasan yang paling penting adalah kemudahan untuk mendapatkannya
2. Data hasil pengukuran pada output inverter didapat bentuk gelombang sinus yang kurang bagus, (tidak murni berbentuk sinusoida). Hal ini dapat terjadi karena inverter yang digunakan memakai SCR (silicon controlled Rectified) yang karakteristiknya kurang bagus.
3. Data hasil pengukuran pada output dc drive, pada grafik tegangan terhadap waktu, timbul *spike-spike*, dimana tegangan mengalami *short* ke *ground* untuk beberapa saat kemudian naik kembali. *Spike-spike* ini timbul karena efek *brush* pada motor dc magnet permanent ini. Dalam hal ini motor dc tipe *brushless* lebih unggul dibandingkan motor dc magnet permanent yang menggunakan karbon *brush* pada komutatornya.

4. Pada perbandingan antara hasil pengukuran dengan menggunakan multimeter digital dan perhitungan secara teori, terdapat sedikit perbedaan pada saat melakukan pengukuran pada output dc drive dan saat melakukan pengukuran pada output inverter. Perbedaan ini dapat terjadi karena nilai hambatan resistor $1\text{ M}\Omega$ yang digunakan ternyata melalui pengukuran dengan menggunakan multimeter digital pada batas ukur ohmmeter tidak tepat sebesar $1\text{ M}\Omega$, melainkan sebesar $1,014\text{ M}\Omega$. dan resistor yang lainnya $33\text{ K}\Omega$ terukur senilai $32,9\text{ K}\Omega$. perbedaan ini sudah tentu akan berpengaruh pada proses pengukuran, karena tegangan sensor yang dipakai pada pengukuran tersebut berasal dari tegangan dari rangkaian pembagi tegangan.
5. Mobil listrik yang dibuat ini pada kecepatan maksimum mampu menempuh jarak sejauh $44,224$ meter dalam satu menit, dengan catatan bobot pengendara mobil listrik ini tidak lebih dari 42 Kg (untuk bobot anak yang rata-rata berusia $10 - 12$ tahun). Hasil ini didapatkan melalui pengujian mobil listrik.

5.2 SARAN

Penulis menyadari bahwa mobil listrik yang dibuat ini bukan atau belum layak dianggap sebagai mobil listrik yang kompleks sehingga pengembangan dan riset terhadap mobil listrik diharapkan akan terus dilakukan untuk dapat mewujudkan suatu mobil listrik yang lebih baik, kompleks, dan memiliki kemampuan lebih dalam hal tenaga dan kecepatannya.

DAFTAR PUSTAKA

Tom Denton (1995). "Automobile Electrical and Electronic Systems", Bath press, London.

E H J Pallett (1979). "Aircraft Electrical System, Second Edition", Pitman Press, Cophorne, Sussex, London.

Daniel W. Hart (1997). "Introduction To Power Electronics", London.

Lander Cyril W (1987). "Power Electronics", Mc Graw hill Inc, London.

Zuhal DR. Ir (1982). "Dasar Tenaga Listrik", Penerbit ITB, Bandung.

P H J. Kokelaar (1983). "Teknik Listrik, Jilid Satu", Pradnya Paramita Press, Jakarta.

P H J. Kokelaar (1983). "Teknik Listrik, Jilid Dua", Pradnya Paramita Press, Jakarta.

Marthen Kanginan (2001). "Fisika SMU Kelas Satu", Penerbit Erlangga, Jakarta.

Ali Marsaban (1979). "Bertanya-tanya Tentang Energi", Penerbit Mutiara, Jakarta.

Martin Payn (2004). "Eurotherm Drives 506 / 507 / 508 Product Manual", Sussex.

Developments In Electric Vehicle Systems", Diakses 08 Desember 2008
<http://www.geocities.com/sorefeets/forsa/forsa.htm>.