

ANALISA MOTOR DC (DIRECT CURRENT) SEBAGAI PENGGERAK  
MOBIL LESHAKIL



JUGAS ANTIPI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Menyelesaikan Gelar Sarjana Teknik Pada  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh :

NALAPRANA NUGROHO

(02111304010)

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2014

S  
621.313 07

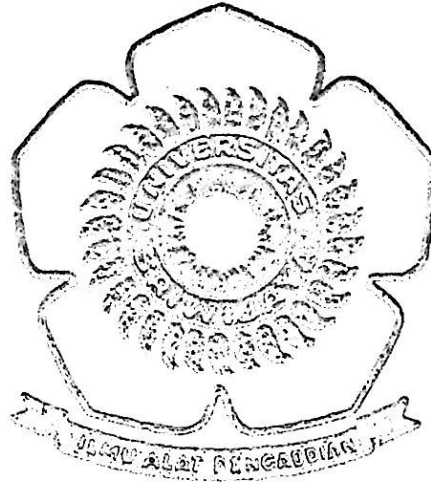
Nal

a

2014



**ANALISA MOTOR DC (DIRECT CURRENT) SEBAGAI PENGGERAK  
MOBIL LISTRIK.**



**TUGAS AKHIR**

**Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**

Oleh :

**NALAPRANA NUGROHO**

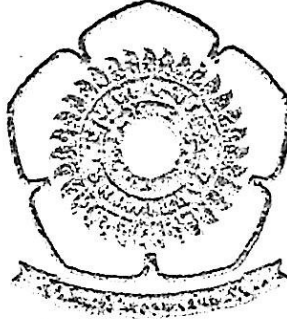
**(03111304010)**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2014**

## LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA MOTOR DC (DIRECT CURRENT) SEBAGAI PENGGERAK  
MOBIL LISTRIK.



SKRIPSI

Dibuat Untuk Memenuhi Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik Pada  
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh :

**NALAPRANA NUGROHO**  
(03111304010)

Palembang, April 2014

Pembimbing Utama

**Ir. Sri Agustina, MT**  
NIP. 196108181990032003

Mengetahui,  
↳ Ketua Jurusan Teknik Elektro

**Ir. Sariman, MS**  
NIP. 19580707 198703 1004

**Motto :**

**“Barangsiapa yang bersungguh-sungguh maka dia akan berhasil,  
Insyallah!! (Man Jadda Wajada)”.**

**“Takdir, Rezeki, Jodoh itu telah di atur dari ALLAH dan ada  
“mangkok”nya masing-masing”.**

## ABSTRAK

*Untuk tujuan pengurangan polusi udara dan membantu pemerintah untuk mengurangi subsidi bahan bakar . Banyak instansi terkait berusaha untuk mengembangkan produk mobil listrik .Dengan adanya mobil listrik ini, kita bias mewujudkan dunia yang bebas polusi atau yang biasa disebut Go Green .Pada tugas akhir ini, penulis menganalisa motor dc yang dapat menggerakkan mobil listrik. Analisa yang dilakukan meliputi pemilihan motor dc dan kapasitas motor dc yang digunakan untuk menggerakkan mobil listrik.*

*Pemilihan motor dc yang cocok digunakan pada mobil listrik adalah motor dc seri, karena motor dc seri memiliki karakteristik dengan nilai torsi sebesar kuadrat arus, Dengan karakteristik tersebut, motor dc seri memiliki torsi starting yang bagus untuk menggerakkan beban pada mobil listrik. Dalam analisa ini, daya yang dihasilkan pada sudut kemiringan  $30^\circ$  adalah sebesar 21,6kW dengan kecepatan gerak 16,3 m/s atau sebanding dengan 59 km/jam dengan berat beban total 270kg. Jika dibandingkan mobil hybrid secara umum yang memiliki kecepatan 50 km/jam, maka analisa ini sudah memenuhi persyaratan. Namun, untuk lintasan yang datar,dengan daya 3,1kW mobil dapat mampu bergerak hingga kecepatan 2,35 m/s atau sebanding dengan 8,5km/jam. Dengan kata lain motor dc dengan daya 3,1kW, juga mampu menggerakkan mobil listrik secara normal.*

## KATA PENGANTAR



Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas berkat rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Kemudian salawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat serta pengikutnya yang tetap istiqomah mengikuti hingga akhir zaman. Tulisan ini sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.

Dalam penulisan ini, penulis sangat menyadari bahwa Skripsi ini masih jauh dari sempurna karena terbatasnya pengetahuan dan kemampuan penulis. Tetapi dengan kerja keras dan bantuan dari berbagai pihak sejak awal hingga selesainya penulisan laporan ini. Untuk itu dengan kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sangat besar kepada :

1. Orang tua yang telah memberikan doa dan semangat serta dukungan dalam menyelesaikan Skripsi ini.
2. Ibu Ir. Sri Agustina M.T, selaku Dosen Pembimbing, saran, dukungan, dan ilmu yang telah diberikan.
3. Bapak Ir. H. Hairul Alwani HA, MT, selaku Pelaksana Tugas Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.

4. Ibu Ir. Sri Agustina, MT, selaku Sekertaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Sriwijaya.
5. Segenap Dosen Pengajar Teknik Elektro Universitas Sriwijaya Palembang, atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan selama ini.
6. Teman-teman Elektro angkatan 2011, terima kasih atas kebersamaan selama ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan ini masih ada kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata penulis berharap semoga tulisan ini memberikan manfaat kepada kita semua, terutama untuk penulis sendiri.

Palembang, Maret 2014

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>MOTTO .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>BAB I      PENDAHULUAN</b>	
1.1.Latar Belakang .....	1
1.2.Perumusan Masalah .....	2
1.3.Batasan Masalah.....	2
1.4.Tujuan Penulisan.....	2
1.5.Metodologi Penulisan .....	3
1.6.Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II     TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Pemahaman Dasar .....	5
2.1.1 Gaya.....	5
2.1.2 Torsi .....	6
2.1.3 Kecepatan dan Kelajuan.....	7
2.2. Motor DC (Direct Current) .....	8
2.2.1 Pengertian Dasar Motor DC.....	8
2.2.2 Konstruksi Motor DC .....	9
2.3 Prinsip Dasar Motor DC .....	12
2.4 Klasifikasi Motor secara umum .....	14
2.4.1 Motor Arus Searah Berpenguat Terpisah.....	15
2.4.2 Hubungan Persamaan yang dibentuk motor DC.....	15
2.4.2.1 Torque Developed.....	16
2.4.2.2 Back Emf .....	17



2.4.2.3	Persamaan Tegangan .....	18
2.4.2.4	Torsi Jangkar pada motor .....	20
2.4.2.5	Torsi Poros .....	20
2.4.2.6	Kecepatan Motor DC .....	21
2.4.2.7	Torsi dan Kecepatan Motor DC .....	21
2.4.3	Motor DC Berpenguat Sendiri .....	22
2.4.3.1.	Motor Arus Searah Berpenguat Shunt .....	23
2.4.3.2	GGL Balik Pada Motor DC Penguatan Shunt .....	24
2.4.3.3	Persamaan Tegangan dan Daya Motor DC Shunt .....	26
2.4.3.4	Kecepatan Motor DC Shunt .....	27
2.4.3.5	Karakteristik Motor DC shunt.....	27
2.4.3.6	Motor Arus Searah Berpenguat Seri.....	30
2.4.3.7	Karakteristik Motor DC seri .....	31
2.4.3.8	Motor Arus Searah Berpenguat Kompon .....	34
2.5	Motor Arus Searah Magnet Permanen .....	35
2.5.1	Pemodelan Motor DC Permanen .....	37
2.5.2	Konstanta Motor DC Permanen Sikat Arang .....	38
2.5.3	Persamaan karakteristik untuk tegangan konstan .....	39
2.5.4	Karakteristik power .....	43
2.6	Daya Pada Mobil Listrik .....	45
2.6.1	Gaya Tarikan .....	45
2.6.1.1	Gaya Rolling Resistance .....	46
2.6.1.2	Gaya Gesekan Angin .....	47
2.6.1.3	Gaya Daki Bukit .....	48
2.6.1.4	Gaya Percepatan .....	48
2.6.1.5	Total Gaya Tarikan .....	51
2.7	Matlab.....	52
2.7.1	Memulai dengan Matlab .....	55
2.7.2	Cara membuat variable .....	57

2.7.3 Perintah Dasar Matlab .....	57
2.7.4 Fungsi Bawaan Matlab.....	58
2.7.4.1 Fungsi Trigonometri .....	58
2.7.4.2 Fungsi Dasar Matlab .....	59
2.7.5 Menggambar Grafik Fungsi .....	60

### **BAB III METODOLOGI**

3.1 Metodologi Penelitian .....	64
3.2 Flowchart .....	65

### **BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISA**

4.1. Pemilihan Motor DC.....	68
4.2. Data Pengukuran .....	69
4.3 Analisa Data .....	70
4.3.1 Menghitung Gaya yang Bekerja pada Mobil. ....	71
4.3.1.1 Analisa menggunakan program Matlab untuk variasi Beban mobil dari 0-1000kg.....	72
4.3.2 Menghitung kecepatan pada sudut kemiringan .....	76
4.3.2.1 Menghitung Kecepatan Maksimal .....	78
4.3.2.2 Analisa menggunakan Matlab pada sudut tertentu	79

### **BAB V PENUTUP**

5.1. Kesimpulan .....	83
-----------------------	----

### **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

### GAMBAR

Gambar 2.1.	Motor DC .....	8
Gambar 2.2.	Konstruksi Motor DC.....	9
Gambar 2.3.	Prinsip kerja motor DC .....	13
Gambar 2.4.	Arah gerak konduktor berarus listrik yang ditempatkan dalam medan magnet.....	13
Gambar 2.5.	Klasifikasi motor secara umum .....	14
Gambar 2.6.	Rangkaian ekivalen motor dc berpenguat terpisah.....	15
Gambar 2.7.	Rangkaian ekivalen motor dc shunt. ....	23
Gambar 2.8.	Kurva Performansi motor dc shunt setelah $L_a = 0$ .....	23
Gambar 2.9.	Kurva Karakteristik $T_a/I_a$ .....	28
Gambar 2.10.	Kurva Karakteristik $n/I_a$ .....	29
Gambar 2.11	Kurva Karakteristik $n/T_a$ .....	29
Gambar 2.12	Rangkaian ekivalen motor dc seri .....	30
Gambar 2.13	Kurva Karakteristik $T_a/I_a$ .....	31
Gambar 2.14	Kurva Karakteristik $N/I_a$ .....	32
Gambar 2.15	Kurva Karakteristik $N/T_a$ .....	33
Gambar 2.16	Rangkaian ekivalen motor dc kompon.....	34
Gambar 2.17	Kurva kecepatan vs arus jangkar motor dc kompon .....	35
Gambar 2.18	Konstruksi, komponen motor DC permanen .....	36
Gambar 2.19	Motor DC Magnet Permanen Stator dan Armature .....	37
Gambar 2.20	Pemodelan Listrik dari Motor DC magnet permanen dengan sikat arang.....	38
Gambar 2.21	Motor DC sirkuit dengan pengendali tegangan .....	39

Gambar 2.22	Perbandingan Torsi dengan $\omega$ pada motor dc magnet permanen sikat arang.....	41
Gambar 2.23	Kurva Perbandingan Torsi dengan Output Power Motor DC Magnet Permanen Sikat Arang.....	43
Gambar 2.24.	Diagram gaya pada kendaraan yang bergerak disepanjang bidang miring.....	46
Gambar 2.25	Gesekan udara terhadap bodi mobil .....	47
Gambar 2.26	Gambaran sederhana untuk koneksi motor ke roda kendaraan ....	49
Gambar 2.27	Tampilan awal Matlab .....	54
Gambar 2.28	Tampilan grafik y vs indeks y .....	61
Gambar 2.29	Tampilan grafik y vs x.....	62
Gambar 2.30	Tampilan tiga grafik dalam satu frame x-y .....	63
Gambar 3.1	Flowchart Pengukuran dan Perhitungan .....	66
Gambar 3.2.	Flowchart Perhitungan Kecepatan pada Sudut Tertentu .....	67
Gambar 4.1	Grafik Perbandingan Daya terhadap Beban Mobil .....	75
Gambar 4.2	Gambar Perbandingan Sudut vs Daya, Gaya Daki, Gaya Total .....	82



---

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Banyaknya permintaan akan konsumsi kendaraan pada daerah berkembang, membuat orang mulai memikirkan untuk membuat kendaraan yang lebih ekonomis dan aman akan polusi udara. Seperti yang kita ketahui, mobil LCGC (Low Cost Green Car) merupakan mobil dengan menggunakan energy alternatif. Mobil yang dikembangkan untuk mengurangi polusi dan harganya terjangkau untuk kelas menengah.

Mobil listrik ini sedang gencar-gencarnya dikembangkan oleh banyak pihak, termasuk mahasiswa unsri jurusan elektro tahun 2013. Mahasiswa-mahasiswa ini membuat mobil listrik dengan menggunakan motor dc magnet permanen dengan spesifikasi motor sebagai berikut :

P	: 90 Watt
$\omega$	: 3000 RPM
$\tau$	: 2,9 (kgf-cm)
I	: 5,3 A
v	: 1,3 m/s

Dengan data yang ada, penulis mencoba mengkorelasikan dengan pembuatan mobil listrik hybrid. Mobil listrik hybrid pada umumnya memiliki kecepatan 50km/jam atau setara dengan 14 m/s. Sehingga penulis mengambil kesimpulan, bahwa mobil listrik dengan daya sebesar 90 watt dan kecepatan 1,3 m/s ini tidak memenuhi kelayakan gerak kendaraan hybrid secara umum.



Dengan hasil pertimbangan ini, penulis mempunyai inisiatif untuk menganalisa ulang pembuatan mobil listrik ini secara literature, terutama pada pemilihan motor dc dan daya yang akan dipakai untuk pembuatan mobil listrik yang akan dikembangkan oleh peneliti selanjutnya.

Berdasarkan dari pertimbangan diatas maka penulis membuat tugas akhir dengan judul: “Analisa Motor DC (Direct Current) Sebagai Penggerak Mobil Listrik.”

## **1.2 Perumusan Masalah**

Mobil listrik yang digunakan telah memakai motor dc magnet permanen. Secara keseluruhan dalam tugas akhir ini penulis akan membahas antara lain :

- a. Jenis motor apa yang akan digunakan pada pembuatan mobil listrik.
- b. Berapa kapasitas daya yang akan disediakan oleh motor arus searah.

## **1.3 Pembatasan Masalah**

Karena banyaknya permasalahan yang akan muncul pada evaluasi mobil listrik ini, maka penulis akan membatasi pembahasan tugas akhir ini pada pemilihan jenis motor penggerak mobil listrik dan menentukan kapasitas motor tersebut.

## **1.4 Tujuan Penulisan**

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari pembuatan tugas akhir ini adalah :

- a. Penulis dapat mengetahui besar kapasitas motor dc yang seharusnya digunakan.
  - b. Penulis dapat memahami tentang pemilihan motor yang tepat untuk suatu aplikasi, yang dalam hal ini sebagai penggerak mobil listrik.
-



## 1.5 Metodologi Penelitian

Dalam penulisan Skripsi ini, metode-metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

a) Studi Literatur

Pada metode ini penulis mencari beberapa literature yang berkaitan dengan Evaluasi Motor DC (Direct Current) Sebagai Penggerak Mobil Listrik.

b) Studi Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang diambil merupakan data yang nyata. Data yang diambil merupakan data yang berasal dari pengukuran mobil listrik yang sebelumnya telah dibuat oleh Mahasiswa Elektro Universitas Negeri Sriwijaya tahun 2013.

c) Metode Interview / Wawancara.

Metode ini dilakukan dengan cara diskusi atau konsultasi kepada orang-orang yang sudah berpengalaman dibidangnya. Dengan demikian penulis dapat mendapatkan informasi yang akurat dari hasil wawancara dan mendapatkan data untuk dijadikan bahan skripsi.

d) Analisa Data

Dalam tahap ini penulis menganalisa data yang sudah diperoleh dari hasil wawancara, diskusi dan pengukuran untuk mendapatkan kesimpulan.



## **1.6 Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan Laporan Akhir ini adalah terdiri dari lima bab utama, yaitu :

### **BAB I       Pendahuluan**

Pada bab ini, penulis membahas latar belakang perumusan masalah, tujuan, manfaat, metodologi penulisan dan sistematika penulisan

### **BAB II       Tinjauan Pustaka**

Tinjauan pustaka yang ingin ditulis oleh penulis yaitu menerangkan tentang landasan teori yang berhubungan dengan analisa yang akan dibuat.

### **BAB III      Metodologi Perencanaan**

Pada bab ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan untuk penulisan hasil penelitian.

### **BAB IV      Analisa dan Pembahasan**

Pada bab ini membahas tentang pemilihan motor dc yang digunakan dan penentuan kapasitas motor yang akan dipakai. Serta membandingkan secara umum antara motor dc yang telah dipakai dengan motor dc yang akan dipakai.

### **BAB V       Kesimpulan dan Saran**

Pada bab ini membahas seluruh kesimpulan dan saran. Kesimpulan dan saran tersebut diambil dari laporan yang telah ditulis.





**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**

Sebelum membahas motor dc secara mendalam penulis akan mencoba memaparkan pemahaman dasar yang akan digunakan pada perhitungan motor dc. Pemahaman dasar ini mencakup beberapa aspek yaitu : gaya, torsi, gesekan, kecepatan, percepatan, perlambatan, dan terminologi lainnya.

**2.1 Pemahaman Dasar**

Besaran mekanik yang paling mendasar, yang harus diketahui dalam menentukan kapasitas motor listrik sebagai penggerak mobil listrik adalah :

**2.1.1 Gaya<sup>[1]</sup>**

Gaya dalam pengertian ilmu fisika adalah sesuatu yang menyebabkan perubahan keadaan benda. Gaya identik dengan hukum Newton ( N ). Ada 3 bunyi hukum Newton.

$\Sigma F = 0$  ..... (2.1)

**Hukum I Newton** berbunyi : *"Setiap benda akan tetap diam atau bergerak lurus beraturan apabila pada benda itu tidak bekerja gaya."*

$\Sigma F = m \times a$  ..... (2.2)

**Hukum II Newton** berbunyi : *"Bila sebuah benda mengalami gaya sebesar F maka benda tersebut akan mengalami percepatan."*

Dimana :

F : gaya (N)

m : massa (kg / g)



a : percepatan ( $m/s^2$ )

$$F_{AB} = -F_{BA} \dots\dots\dots (2.3)$$

**Hukum III Newton berbunyi :** *"Untuk setiap gaya aksi, akan selalu terdapat gaya reaksi yang sama besar dan berlawanan arah".<sup>[1]</sup>*

### 2.1.2 Torsi<sup>[2]</sup>

Torque atau torsi / moment adalah kekuatan berputar pada suatu benda sehingga benda tersebut dapat berputar. Torsi (T) dihasilkan dari perkalian hasil gaya dan jari-jari dengan satuan N-m

$$T = F \times r \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

T = Torsi (Nm)

F = Gaya (N)

r = Jari-Jari (m)

Gaya untuk motor listrik dapat dihitung dengan rumus :

$$F = B \times I \times l \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

B = kuat medan magnet ( $Wb /m^2$ )

I = arus yang mengalir pada lilitan motor (A)



$l$  = panjang kawat lilitan (m).

Berdasarkan aturan tangan kiri maka rumus diatas dapat dikembangkan lebih lanjut untuk menghitung torsi motor dengan sejumlah lilitan armature sebagai berikut:

$$T = B \times I \times l \times r \times Z \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana :

$T$  = torsi (Nm)

$r$  = jari-jari (m)

$z$  = jumlah lilitan armature

### 2.1.3 Kecepatan dan kelajuan.<sup>[3]</sup>

Dalam fisika kecepatan adalah perpindahan selama selang waktu tertentu. Misalnya seseorang berlari 20 m/s kearah timur. Dari pernyataan tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa kelajuan pelari tersebut 10 m/s, sedangkan kecepataannya adalah 10 m/s kearah barat. Kecepatan termasuk juga besaran vector karena bergantung pada arahnya.

$$v = \frac{s}{t} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

$v$  = kecepatan, kelajuan (m/s)

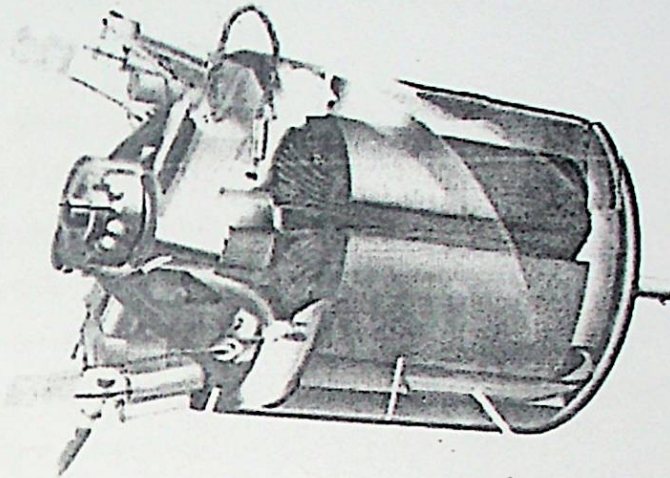
$s$  = perpindahan, jarak (m)

$t$  = waktu tempuh (s)



---

## 2.2 Motor DC (Direct Current)<sup>[4]</sup>



Gambar 2.1 Motor DC<sup>[4]</sup>

### 2.2.1 Pengertian dasar motor dc.<sup>[4]</sup>

Motor listrik arus searah merupakan perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini digunakan untuk, misalnya memutar *impeller* pompa, *fan* atau *blower*, menggerakkan kompresor, mengangkat bahan, dll. Motor listrik digunakan juga di rumah (*mixer*, bor listrik, *fan* angin) dan di industri.

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

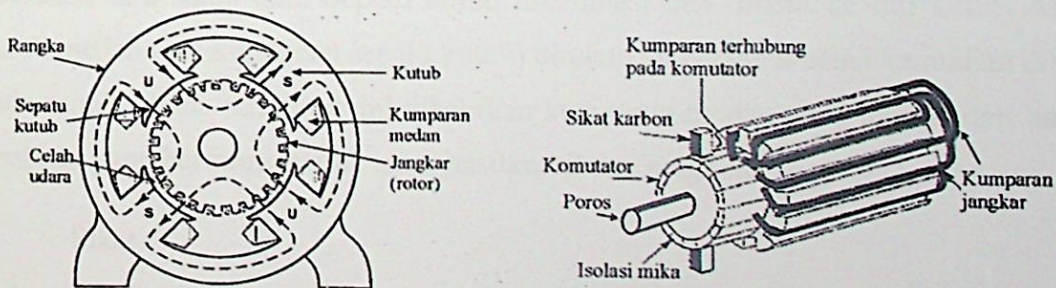


Prinsip kerja dari arus searah adalah membalik fasa tegangan dari gelombang yang mempunyai nilai positif dengan menggunakan komutator, dengan demikian arus yang berbalik arah dengan kumparan jangkar yang berputar dalam medan magnet.

Suatu motor elektrik dapat terdiri dari beberapa belitan (winding). Belitan tersebut dapat diklasifikasikan menjadi 2, yaitu *field winding* dan *armature winding*. Field winding (belitan medan) disini digunakan untuk menghasilkan medan magnet pada motor listrik. Sedangkan armature winding (belitan jangkar) digunakan untuk menghasilkan torsi akibat adanya medan magnet dan arus listrik yang bekerja pada belitan tersebut. Pada motor listrik sederhana, field winding dapat digantikan dengan magnet permanen untuk menghasilkan medan magnet.

Motor listrik merupakan komponen kunci dari kendaraan listrik. Motor listrik bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Dalam Bab II ini hanya akan diperhatikan tipe utama motor yang digunakan.<sup>[4]</sup>

### 2.2.2. Konstruksi motor dc<sup>[4]</sup>



Gambar 2.2 Konstruksi Motor DC<sup>[4]</sup>



Keterangan dari gambar tersebut adalah:

1. Rangka atau gandar

Rangka motor arus searah adalah tempat meletakkan sebagian besar komponen mesin dan melindungi bagian mesin. Untuk itu rangka harus dirancang memiliki kekuatan mekanis yang tinggi untuk mendukung komponen-komponen mesin tersebut. Rangka juga berfungsi sebagai tempat mengalirkan fluksi magnet yang dihasilkan oleh kutub-kutub medan. Rangka dibuat dengan menggunakan bahan ferromagnetik yang memiliki permeabilitas tinggi. Rangka biasanya terbuat dari baja tuang (cast steel) atau baja lembaran (rolled steel) yang berfungsi sebagai penopang mekanis dan juga sebagai bagian dari rangkain magnet.

2. Kutub Medan

Kutub medan terdiri atas inti kutub dan sepatu kutub. Sepatu kutub yang berdekatan dengan celah udara dibuat lebih besar dari badan inti. Dimana fungsinya adalah untuk menahan kumparan medan di tempatnya dan menghasilkan distribusi fluksi yang lebih baik yang tersebar di seluruh jangkar dengan menggunakan permukaan yang melengkung. Inti kutub terbuat dari laminasi pelat-pelat baja yang terisolasi satu sama lain. Sepatu kutub dilaminasi dan dibaut ke inti kutub. Maka kutub medan (inti kutub dan sepatu kutub) direkatkan bersama-sama kemudian dibaut pada rangka. Pada inti kutub ini dibelitkan kumparan medan yang terbuat dari kawat tembaga yang berfungsi untuk menghasilkan fluksi magnetik.

3. Sikat

Sikat adalah jembatan bagi aliran arus ke lilitan jangkar. Dimana permukaan sikat ditekan ke permukaan segmen komutator untuk menyalurkan arus listrik. Sikat memegang peranan penting untuk terjadinya komutasi. Sikat-sikat terbuat dari bahan karbon dengan tingkat kekerasan yang bermacam-macam dan dalam beberapa hal dibuat dari campuran karbon dan logam tembaga. Sikat harus lebih lunak daripada

---



segmen-segmen komutator supaya gesekan yang terjadi antara segmen-segmen komutator dan sikat tidak mengakibatkan ausnya komutator.

#### 4. Kumparan Medan

Kumparan medan adalah susunan konduktor yang dibelitkan pada inti kutub. Dimana konduktor tersebut terbuat dari kawat tembaga yang berbentuk bulat ataupun persegi. Rangkaian medan yang berfungsi untuk menghasilkan fluksi utama dibentuk dari kumparan pada setiap kutub.

#### 5. Jangkar

Inti jangkar yang umumnya digunakan dalam motor arus searah adalah berbentuk silinder yang diberi alur-alur pada permukaannya untuk tempat melilitkan kumparan jangkar tempat terbentuknya ggl induksi. Inti jangkar terbuat dari bahan ferromagnetik. Bahan yang digunakan untuk jangkar ini merupakan sejenis campuran baja silikon.

#### 6. Kumparan Jangkar

Kumparan jangkar pada motor arus searah merupakan tempat dibangkitkannya ggl induksi. Pada motor DC penguatan kompon panjang kumparan medan serinya diseriikan terhadap kumparan jangkar, sedangkan pada motor DC penguatan kompon pendek kumparan medan serinya diparalel terhadap kumparan jangkar. Jenis-jenis konstruksi kumparan jangkar pada rotor ada tiga macam yaitu:

1. Kumparan jerat (lap winding)
  2. Kumparan gelombang (wave winding)
  3. Kumparan zig – zag (frog-leg winding)
-



## 7. Komutator

Untuk memperoleh tegangan searah diperlukan alat penyearah yang disebut komutator dan sikat. Komutator terdiri dari sejumlah segmen tembaga yang berbentuk lempengan-lempengan yang dirakit ke dalam silinder yang terpasang pada poros. Dimana tiap-tiap lempengan atau segmen-segmen komutator terisolasi dengan baik antara satu sama lainnya. Bahan isolasi yang digunakan pada komutator adalah mika.

Agar dihasilkan tegangan arus searah yang konstan, maka komutator yang digunakan hendaknya dalam jumlah yang besar.

## 8. Celah Udara

Celah udara merupakan ruang atau celah antara permukaan jangkar dengan permukaan sepatu kutub yang menyebabkan jangkar tidak bergesekan dengan sepatu kutub. Fungsi dari celah udara adalah sebagai tempat mengalirnya fluksi yang dihasilkan oleh kutub-kutub medan.

### 2.2.3 Prinsip Dasar Motor DC<sup>[4]</sup>

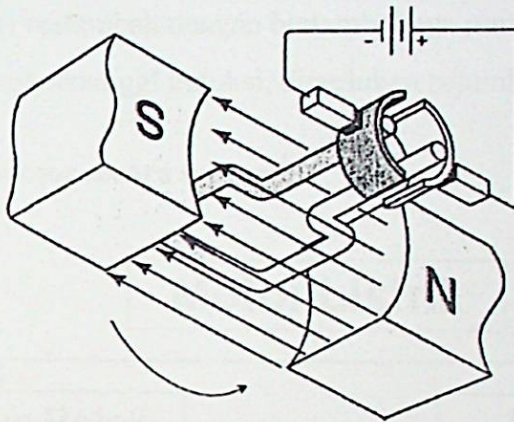
Penggunaan motor listrik pada kendaraan listrik dengan berbagai jenis motor terlihat semakin kompleks. Namun, paling tidak harus memahami bentuk motor yang paling sederhana, yaitu 'brushed' DC motor. Type motor ini sangat luas digunakan dalam aplikasi seperti peralatan portable, mainan anak-anak, kendali elektronik yang dioperasikan di jendela mobil dan peralatan rumah tangga, bahkan yang menggunakan sumber ac. Motor-motor ini masih digunakan sebagai motor traksi walaupun type motor lainnya pun digunakan untuk berbagai aplikasi. The brushed DC motor adalah motor yang baik untuk starting, karena itu digunakan secara luas terutama dalam hal kendaraan listrik.

---



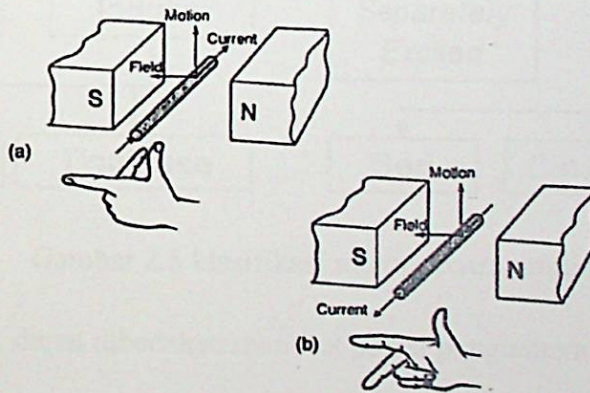


Motor dc klasik pada gambar ini dilengkapi dengan magnet permanen dan sikat. Motor paling sederhana ini memiliki sebuah koil dan arus yang mengalir melalui kawat di dekat magnet yang menyebabkan gaya dibangkitkan dalam koil.



Gambar 2.3. Prinsip kerja motor dc <sup>(4)</sup>

Arah putar motor dinyatakan dalam gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4. Arah gerak konduktor berarus listrik yang ditempatkan dalam medan magnet <sup>(4)</sup>

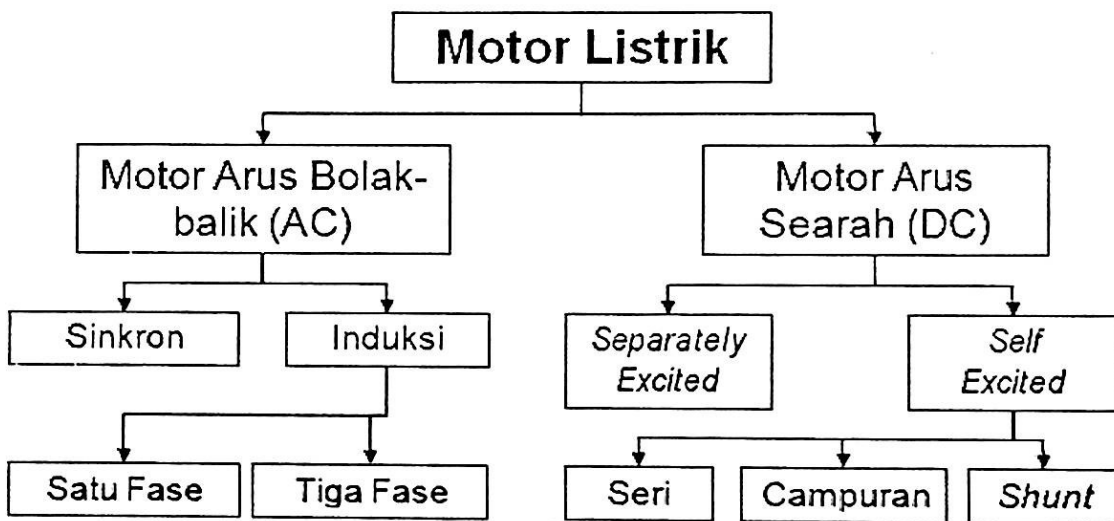
Kerja komutator menunjukkan bahwa arus dalam koil selalu berubah arah, sehingga gaya berada pada arah yang sama.



Dari gambar diatas, terlihat bahwa motor dc memiliki beberapa aturan yaitu :

- kumparan berputar, yang sering disebut jangkar, bergerak di sekitar inti besi, sehingga medan magnet tidak melintasi celah udara yang besar, yang akan melemahkan medan magnet.
- setiap kumparan terdiri dari sejumlah lilitan, sehingga torsi yang dibangkitkan akan semakin bertambah dengan bertambahnya jumlah lilitan.
- Untuk meningkatkan ggl induksi, diperlukan sejumlah kutub magnet.

#### 2.4. Klasifikasi motor secara umum<sup>[5]</sup>



Gambar 2.5 klasifikasi motor secara umum<sup>[5]</sup>

Motor arus searah, dapat dibedakan menurut posisi penguatnya, yaitu :

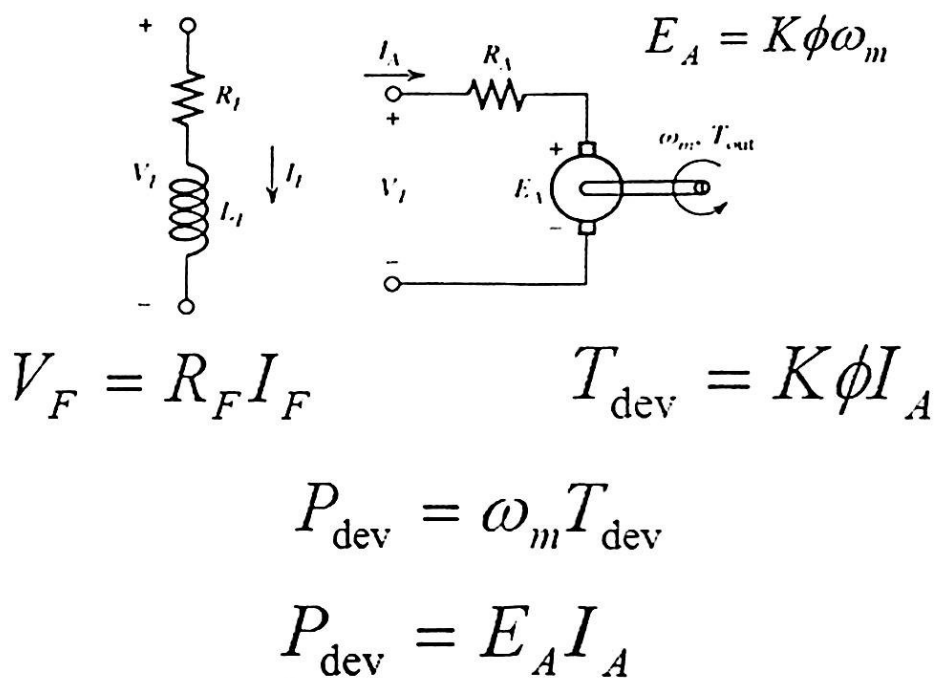
1. Motor arus searah berpenguat terpisah (Separately Excited)
2. Motor arus searah berpenguat sendiri (Self Excited)



### 2.4.1. Motor Arus Searah Berpenguat Terpisah<sup>[5]</sup>

Motor DC dengan penguat terpisah (*separately excited*) didefinisikan sebagai motor DC dimana arus *field winding* diperoleh dari sumber arus DC di luar motor yang berbeda dengan sumber arus yang digunakan pada *armature winding*.

Rangkaian ekivalen motor arus searah berpenguat terpisah dapat dinyatakan sebagai berikut :



Gambar 2.6. Rangkaian ekivalen motor dc berpenguat terpisah<sup>[5]</sup>

### 2.4.2. Hubungan Persamaan yang dibentuk pada motor dc.<sup>[4]</sup>

Adapun persamaan-persamaan yang menjadi satu keterkaitan pada motor dc adalah :

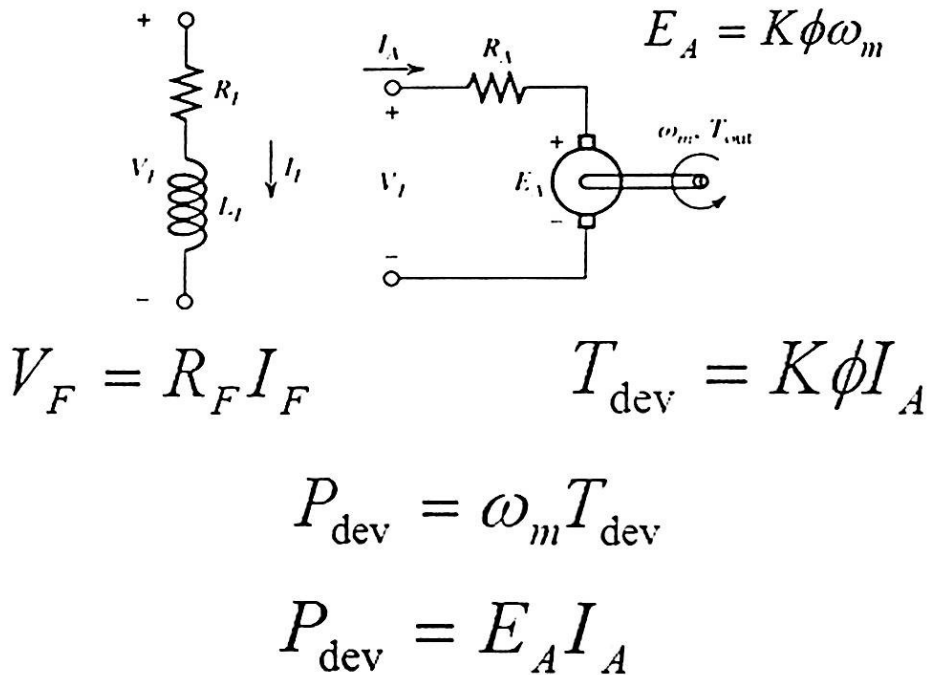
- Torsi yang dibangkitkan (Torque Developed)
- Tegangan balik induksi (Back Emf)



### 2.4.1. Motor Arus Searah Berpenguat Terpisah<sup>[5]</sup>

Motor DC dengan penguat terpisah (*separately excited*) didefinisikan sebagai motor DC dimana arus *field winding* diperoleh dari sumber arus DC di luar motor yang berbeda dengan sumber arus yang digunakan pada *armature winding*.

Rangkaian ekivalen motor arus searah berpenguat terpisah dapat dinyatakan sebagai berikut :



Gambar 2.6. Rangkaian ekivalen motor dc berpenguat terpisah<sup>[5]</sup>

### 2.4.2. Hubungan Persamaan yang dibentuk pada motor dc.<sup>[4]</sup>

Adapun persamaan-persamaan yang menjadi satu keterkaitan pada motor dc adalah :

- a. Torsi yang dibangkitkan (Torque Developed)
- b. Tegangan balik induksi (Back Emf)



Karena  $\Phi = BA$  dimana  $A$  adalah luas kumparan atau  $2rl$

$$T = n\Phi I \dots\dots\dots (2.11)$$

Namun, torsi yang diperoleh dari persamaan di atas adalah torsi maksimum, dimana kumparan berarus listrik sepenuhnya berada dalam fluksi tersebut. Dalam prakteknya, posisi kumparan selalu pada posisi demikian. Persamaan di atas juga, tidak memperhitungkan jumlah kutub, sehingga bentuk persamaan di atas secara lengkap dapat dinyatakan sebagai

$$T = K_m \Phi I \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

$\Phi$  adalah flux/kutub dengan satuan weber,

$K$  adalah konstanta kutub pada medan,

$I$  adalah arus jangkar.

Dari persamaan diatas, Daya mekanik yang dihasilkan adalah hasil dari torsi dan kecepatan rotasi, seperti persamaan berikut ini :

$$P_{dev} = \omega_m T = \omega_m K \Phi I a \dots\dots\dots (2.13)$$

#### 2.4.2.2 GGL balik (Back Emf) <sup>[4]</sup>

Dimana konstanta  $K_m$  pada persamaan diatas ditentukan oleh jumlah lilitan dan jumlah kutub. Jika sebuah kumparan berputar dalam medan magnet, maka dalam kumparan tersebut timbul gaya gerak listrik (ggl).

Emf diinduksi dalam kumparan, terbentuk dalam persamaan berikut :

$$e = d\Phi/dt \dots\dots\dots (2.14)$$

Karena fluks terhubung dengan kumparan bernilai :

$$\Phi_c = \Phi \sin \omega t \dots\dots\dots (2.15)$$

Dari turunan rumus tersebut didapatkan rumus tegangan induksi sebagai berikut :

$$e = \omega \Phi \cos \omega t \dots\dots\dots (2.16)$$



Persamaan diatas menunjukkan ggl induksi dalam satu kumparan. Karena ada beberapa belitan pada kumparan di sekitar rotor, masing-masing dengan ggl yang berbeda tergantung pada jumlah perubahan fluks, total emf dapat diperoleh dengan menjumlahkan masing-masing emf.

Total ggl induksi di motor oleh beberapa gulungan seperti belitan pada rotor dapat diperoleh dengan mengintegalkan persamaan diatas dan dapat dinyatakan persamaannya seperti dibawah ini :

$$E_b = K \Phi \omega m \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana

K adalah Konstanta jangkar

$\omega$  adalah kecepatan rotasi

Daya yang dihasilkan untuk back emf adalah :

$$P_{dev} = E_b I_a = K \Phi \omega m I_a \dots \dots \dots (2.18)$$

### 2.4.2.3 Persamaan Tegangan <sup>[4]</sup>

Diagram skematik untuk motor DC ditunjukkan di bawah ini. Sebuah motor DC memiliki dua sirkuit yang berbeda: rangkaian Medan dan rangkaian jangkar. Input daya listrik dan output tenaga mesin. Dalam rangkaian ekuivalen ini, kumparan medan disuplai dari sumber tegangan DC yang terpisah dari tegangan Vf. Rf dan Lf mewakili perlawanan dan induktansi dari gulungan medan. Arus Jika diproduksi dalam kumparan menetapkan medan magnet yang diperlukan untuk operasi motor. Dalam rangkaian jangkar (rotor), VT adalah tegangan motor di terminal, Ia adalah arus yang mengalir dalam rangkaian jangkar, Ra adalah resistansi dari gulungan dinamo, dan Eb adalah total tegangan induksi pada dinamo.



**2.4.2.4 Torsi Jangkar pada motor<sup>[4]</sup>**

Bila  $T_a$  (N-m) adalah torsi yang dibangkitkan oleh jangkar motor yang berputar  $N$  rps, maka daya yang dibangkitkan adalah

$$P_a = T_a \times 2 \pi N \dots\dots\dots (2.23a)$$

$$P_a = E_b I_a \dots\dots\dots (2.23b)$$

$$\text{Karena } E_b = \Phi Z N \times \left(\frac{P}{A}\right) \text{ volt,}$$

$$\text{Maka diperoleh } T_a \times 2 \pi N = \Phi Z N \times (P/A) \cdot I_a \dots\dots\dots (2.23c)$$

$$\text{Atau } T_a = \frac{1}{2\pi} \Phi Z I_a \left(\frac{P}{A}\right) \text{ atau } T_a = 0.159 \Phi Z I_a \times \left(\frac{P}{A}\right) \dots\dots\dots (2.23d)$$

**2.4.2.5 Torsi Poros (Tsh)<sup>[4]</sup>**

Tidak seluruh torsi jangkar yang dianalisa di atas dapat melakukan kerja yang efektif, karena sebagian dari torsi tersebut digunakan untuk mensupply rugi-rugi inti dan gesekan dalam motor. Torsi yang melakukan kerja yang efektif pada motor dikenal sebagai torsi poros (shaft torque. Tsh).

Daya output motor diberikan oleh persamaan berikut :

$$P_{out} = T_{sh} \times 2 \pi N \dots\dots\dots (2.24)$$

Dimana  $T_{sh}$  dalam N-m dan  $N$  pada rps.

Maka :

$$T_{sh} = \frac{\text{output dalam watt}}{2\pi N} \text{ N-m; } N \text{ dalam rps.} \dots\dots\dots (2.24a)$$

$$T_{sh} = \frac{\text{output dalam watt}}{2\pi N} \text{ N-m; } N \text{ dalam rpm.} \dots\dots\dots (2.24b)$$

$$T_{sh} = \frac{60}{2\pi} \frac{\text{output}}{N} = 0.955 \frac{\text{output}}{N} \text{ N-m.} \dots\dots\dots (2.24c)$$



Dari penerapan hukum Kirchoff tegangan pada gambar diatas pada rangkaian jangkar didapatkan rumus sebagai berikut :

$$V_t = E_b + I_a R_a \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

VT adalah tegangan sumber.

Ra adalah resistansi dari gulungan dynamo.

Perlu diperhatikan dari rumus diatas bahwa Tegangan induksi biasanya diwakili oleh simbol e (atau E) dan terminal tegangan dengan v (atau V). Pada posisi diam, kecepatan motor adalah nol, karena itu back emf juga nol.

Arus jangkar dinyatakan oleh persamaan

$$I_a = \frac{V_t - E_b}{R_a} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dari penerapan hukum Kirchoff tegangan pada gambar diatas pada rangkaian medan didapatkan rumus sebagai berikut :

$$V_f = R_f I_f \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana :

Vf adalah tegangan yang diberikan oleh kumparan medan

Rf adalah resistansi dari kumparan medan

If adalah kumparan medan.

Arus medan dinyatakan oleh persamaan :

$$I_f = \frac{V_f}{R_f} \dots\dots\dots(2.22)$$





Selisih ( $T_a - T_{sh}$ ) dikenal sebagai torsi yang hilang (lost torque) dan sehubungan dengan rugi-rugi inti dan gesekan pada motor.

### 2.4.2.6 Kecepatan motor DC<sup>[4]</sup>

Dari persamaan tegangan motor sebelumnya, diperoleh :

$$E_b = V - I_a R_a$$

Atau

$$\frac{\Phi Z N}{60} \left( \frac{P}{A} \right) = V - I_a R_a$$

Maka

$$N = \frac{V - I_a R_a}{\Phi} \times \frac{60A}{ZP} \text{ rpm}$$

Karena  $E_b = V - I_a R_a$ , Maka  $N = \frac{E_b}{\Phi} \times \frac{60A}{ZP} \text{ rpm}$

$$\text{Atau } N = K \frac{E_b}{\Phi} \text{ rpm} \dots \dots \dots (2.25)$$

Ini menunjukkan bahwa kecepatan sebanding ggl balik dan berbanding terbalik dengan fluks atau

$$N \propto E_b / \Phi \dots \dots \dots (2.26)$$

### 2.4.2.7 Torsi dan kecepatan pada motor dc.<sup>[8]</sup>

Telah dibuktikan dari analisa matematis di atas bahwa torsi motor merupakan fungsi fluksi dan arus jangkar, tapi tidak bergantung pada kecepatan. Dalam kenyataan, putaran bergantung pada torsi tapi tidak sebaliknya.

$$N = K \frac{V - I_a R_a}{\Phi} = K \frac{E_b}{\Phi}$$

Sedangkan  $T_a \propto \Phi I_a$

Hal ini terlihat dari atas bahwa peningkatan fluks akan mengurangi kecepatan tetapi meningkatkan torsi jangkar. Hal ini tidak bisa begitu karena torsi selalu cenderung



---

menghasilkan rotasi. Jika torsi meningkat, kecepatan motor harus meningkat ketimbang penurunan.

Misalkan fluks motor menurun dengan menurunkan arus medan. kemudian, urutan peristiwa berikut terjadi :

1.  $E_b = (N \Phi I K)$ . GGL balik turun secara langsung (kecepatan tetap konstan karena inersia jangkar menjadi lebih berat).
2. Karena  $E_b$  terjadi penurunan,  $I_a$  menjadi naik karena  $I_a = (V - E_b) / R_a$ . Selain itu, penurunan kecil di dalam fluks menghasilkan peningkatan proporsional yang besar dalam arus dynamo.
3. Karena  $T_a \propto \Phi I_a$ . Penurunan kecil dalam fluks lebih diimbangi oleh peningkatan besar dalam arus jangkar dan  $T_a$  juga naik.
4. Peningkatan torsi jangkar menghasilkan peningkatan kecepatan motor.

Hal ini terlihat dari atas bahwa dengan tegangan  $V$  konstan, kecepatan motor berbanding terbalik dengan fluks. Namun untuk meningkatkan fluks pada saat yang sama, dapat meningkatkan kecepatan yang disediakan oleh arus jangkar, arus jangkar tetap konstan seperti yang benar-benar dilakukan dalam dc servomotor.

#### 2.4.3. Motor Arus Searah Berpenguat Sendiri<sup>[4]</sup>

Motor DC dengan penguat sendiri (self excited) didefinisikan sebagai motor DC dimana arus kumparan medan diperoleh dari sumber arus DC yang sama dengan arus yang digunakan pada kumparan jangkar.

Berdasarkan rangkaian antara field winding dan armature winding serta seperti apa yang telah diterangkan dari klasifikasi motor secara general, motor DC dengan penguat sendiri (*self excited*) dibedakan menjadi 3, yaitu :

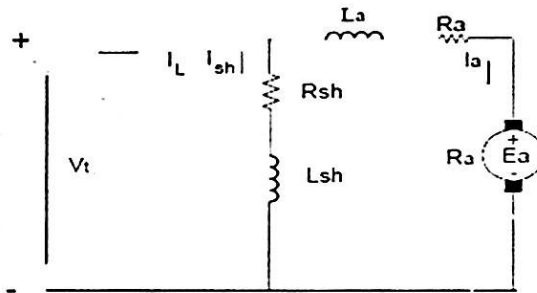
1. Motor Arus Searah berpenguat shunt (paralel)
2. Motor arus searah berpenguat seri
3. Motor arus searah berpenguat kompon



### 2.4.3.1. Motor Arus Searah Berpenguat Shunt<sup>[4,8,9]</sup>

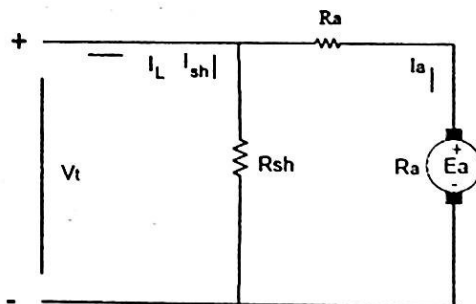
Rangkaian motor DC dimana *field winding* dan *armature winding* dirangkai secara paralel satu sama lain. Motor DC Shunt dicirikan memiliki kecepatan yang konstan walaupun beban yang diberikan berubah. Penggunaan motor DC Shunt antara lain pada mesin cuci, conveyor, pompa, dll. Berikut adalah gambaran rangkaian motor DC Shunt.

Rangkaian ekivalen motor arus searah berpenguat shunt, dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.7. Rangkaian ekivalen motor dc shunt<sup>[4]</sup>

Karena mesin bekerja dengan sumber DC, maka harga  $L_a = 0, L_{sh} = 0$ , sehingga rangkaiannya dapat juga dibuat seperti gambar berikut:



Gambar 2.8. Rangkaian ekivalen motor dc shunt setelah  $L_a=0$ <sup>[4]</sup>



---

---

### 2.4.3.2 GGL Balik Pada Motor Arus Searah Penguatan *Shunt*<sup>[4,8,9]</sup>

Ketika jangkar motor DC berputar di bawah pengaruh torsi penggerak, konduktor jangkar bergerak di dalam medan magnet dan akan menghasilkan tegangan induksi di dalamnya seperti halnya pada generator. GGL induksi bekerja pada arah yang berlawanan dengan tegangan terminal  $V_t$  (sesuai dengan bunyi Hukum Lenz) dan dikenal sebagai GGL lawan atau GGL balik  $E_a$ .

$$E_a = \frac{p \Phi Z N}{60 A} \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana :

$p$  = jumlah kutub

$\Phi$  = fluks per kutub dalam weber

$Z$  = jumlah total konduktor jangkar

$N$  = kecepatan putaran rotor dalam putaran per detik

$A$  = cabang parallel

GGL balik  $E_a$  biasanya kurang dari tegangan terminal  $V$ , meskipun perbedaan ini kecil sekali pada saat motor berjalan di bawah kondisi normal.

Ketika tegangan DC sebesar  $V_t$  diberikan pada terminal motor, suatu medan magnet dihasilkan dan konduktor jangkar disuplai dengan arus searah. Dengan demikian, torsi penggerak akan bekerja pada jangkar yang menyebabkan jangkar mulai berputar. Karena jangkar berputar, GGL balik  $E_a$  diinduksikan berlawanan dengan tegangan terminal. Tegangan terminal harus memaksa arus mengalir melalui jangkar melawan GGL balik  $E_a$ . Kerja listrik yang dilakukan untuk mengatasi dan menyebabkan arus mengalir melawan  $E_a$  dikonversikan ke dalam energi mekanik



---

yang dibangkitkan di dalam jangkar. Dengan demikian, pengkonversian energi di dalam motor DC hanya mungkin jika GGL balik dihasilkan.

Drop tegangan pada kumparan jangkar =  $V_t - E_a$ .

Jika  $R_a$  adalah tahanan kumparan jangkar, maka  $I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a}$

Karena  $V$  dan  $R_a$  nilainya selalu tetap, nilai  $E_a$  akan menentukan arus yang dipikul oleh motor. Jika kecepatan motor tinggi, maka GGL balik  $E_a$  menjadi besar dan motor akan memikul arus jangkar yang lebih kecil begitu juga sebaliknya.

Adanya GGL balik menjadikan motor DC sebagai mesin dengan pengaturan sendiri (self-regulating), yaitu menjadikan motor memikul arus jangkar sesuai dengan yang dibutuhkan untuk membangkitkan torsi beban.

$$\text{Arus Jangkar, } I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a}$$

- Ketika motor berjalan pada kondisi tanpa beban, torsi yang kecil dibutuhkan untuk mengatasi rugi-rugi gesek dan angin. Dengan demikian, arus jangkar  $I_a$  juga kecil dan GGL balik besarnya hampir sama dengan tegangan terminal.
- Jika motor tiba-tiba dibebani, efek yang pertama sekali dirasakan adalah penurunan kecepatan jangkar. Sehingga kecepatan konduktor jangkar yang bergerak di dalam medan magnet berkurang dan begitu juga dengan GGL balik  $E_a$ . Berkurangnya GGL balik menyebabkan arus yang besar mengalir melalui jangkar dan arus yang besar ini juga meningkatkan torsi penggerak. Maka, torsi penggerak meningkat seiring dengan menurunnya kecepatan motor. Penurunan kecepatan motor akan berhenti ketika arus jangkar sudah cukup untuk menghasilkan torsi yang dibutuhkan oleh beban.
- Jika beban motor dikurangi, torsi penggerak sesaat melebihi dari yang dibutuhkan sehingga jangkar mengalami percepatan. Karena kecepatan



jangkar meningkat, GGL balik juga akan meningkat dan menyebabkan arus jangkar  $I_a$  berkurang. Motor akan berhenti dari percepatannya jika arus jangkar sudah cukup untuk menghasilkan torsi yang dibutuhkan oleh beban. Dengan demikian, GGL balik di dalam motor DC mengatur aliran arus jangkar, yang secara otomatis merubah besaran arus jangkar untuk memenuhi kebutuhan beban.

**2.4.3.3 Persamaan Tegangan dan Daya Motor Arus Searah Penguatan *Shunt*<sup>[4,8,9]</sup>**

Dari gambar rangkaian ekuivalen motor DC shunt di atas (Gambar 2.8) diketahui :

$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a} \dots\dots\dots (2.28)$$

$V_t$  = tegangan terminal

$R_a$  = tahanan jangkar

$E_a$  = GGL balik

$I_a$  = arus jangkar

Karena GGL balik  $E_a$  bekerja dalam arah yang berlawanan dengan tegangan terminal  $V$ , maka tegangan pada rangkaian jangkar adalah  $V - E_a$ . Arus jangkar  $I_a$  diperoleh dari :

Atau

$$V_t = E_b + I_a R_a \dots\dots\dots (2.29)$$

Persamaan ini dikenal sebagai persamaan tegangan motor DC penguatan shunt.

Jika persamaan di atas dikalikan dengan  $I_a$ , kita peroleh :

$$V_t I_a = E_a I_a + I_a^2 R_a \dots\dots\dots (2.29a)$$



Persamaan ini dikenal dengan persamaan daya motor DC penguatan shunt.

Dimana,

$V_t I_a$  = daya listrik yang diberikan ke jangkar (daya masukan jangkar)

$E_a I_a$  = daya yang dibangkitkan oleh jangkar (daya keluaran jangkar)

$I_a^2 R_a$  = daya listrik yang terbuang di dalam jangkar (rugi tembaga jangkar)

Dengan demikian diketahui bahwa dari keluaran daya masukan jangkar sebagian kecil terbuang sebagai rugi tembaga jangkar ( $I_a^2 R_a$ ) dan sebagian lainnya ( $E_a I_a$ ) dikonversikan menjadi energi mekanis di dalam jangkar.

**2.4.3.4 Kecepatan Motor DC Shunt<sup>[4]</sup>**

Sebagaimana telah diketahui bahwa didalam motor dc berlaku persamaan :

$N \propto E_b / \Phi$ .....(2.30)

Rumus diatas adalah untuk hubungan kecepatan pada motor dc shunt.

**2.4.3.5 Karakteristik Motor DC shunt.<sup>[4,6]</sup>**

Gambar 2.8 menunjukkan rangkaian listrik dari suatu motor DC shunt. Arus medan  $I_{sh}$  besarnya konstan karena kumparan medan langsung terhubung dengan tegangan sumber  $V_t$  yang dianggap konstan. Oleh karena itu fluksi di dalam motor shunt hampir dapat dikatakan konstan.



Kesimpulan :

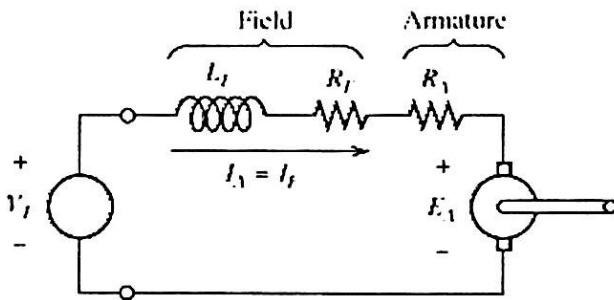
Berikut dua buah kesimpulan yang penting yang diperoleh dari karakteristik di atas, yaitu :

(i) Terdapat sedikit penurunan kecepatan motor DC shunt dari kondisi tanpa beban sampai beban penuh. Dengan demikian, dapat dianggap sebagai motor kecepatan konstan.

(ii) Torsi startnya tidak tinggi karena  $T_a \sim I$

### 2.4.3.6 Motor Arus Searah Berpenguat Seri<sup>[4,5,6]</sup>

Rangkaian ekivalen motor arus searah berpenguat seri, dapat digambarkan sebagai berikut :



$$\phi = K_F I_F$$

Gambar 2.12. Rangkaian ekivalen motor dc seri<sup>[4,5,6]</sup>

Dari rangkaian ekivalen ini, diperoleh persamaan :

$$I_a = \frac{V_t - E_a}{R_a + R_f} \dots\dots\dots(2.34)$$

$$I_a = I_s = I_f = I$$

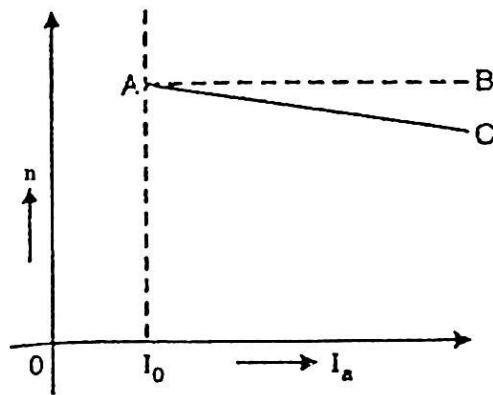
Sehingga persamaan tegangan untuk motor seri bisa ditulis sebagai berikut :

$$V = E_a + I (R_a + R_f) \dots\dots\dots(2.35)$$





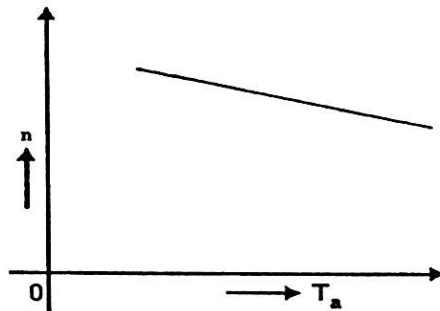
Fluksi  $\Phi$  dan GGL lawan  $E_a$  di dalam motor DC shunt hampir konstan di bawah kondisi normal. Dengan demikian, kecepatan motor DC shunt selalu konstan walaupun arus jangkar berubah-ubah nilainya. Dengan kata lain, ketika beban bertambah,  $E_a (= V_t - I_a R_a)$  dan  $\Phi$  berkurang karena drop tahanan jangkar dan reaksi jangkar. Bagaimanapun,  $E_a$  berkurang lebih sedikit daripada  $\Phi$  sehingga dengan demikian kecepatan motor menurun sedikit dengan penambahan beban (garis AC) seperti terlihat pada Gambar 2.10.



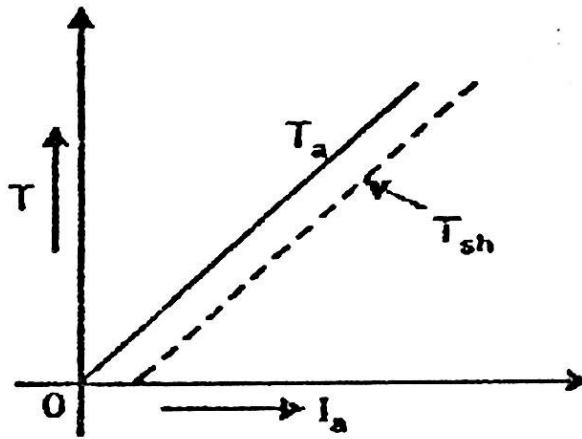
Gambar 2.10 Kurva Karakteristik  $n/I_a$ <sup>[4,6]</sup>

### 3. Karakteristik $n/T_a$

Suatu kurva diperoleh dengan menggambarkan nilai  $n$  dan  $T_a$  untuk berbagai arus jangkar lihat Gambar 2.11. Dapat dilihat bahwa kecepatan agak menurun seiring dengan penambahan beban.



Gambar 2.11 Kurva Karakteristik  $n/T_a$ <sup>[4,6]</sup>



Gambar 2.9. Kurva Karakteristik Ta/Ia<sup>[4,6]</sup>

1. Karakteristik Ta/Ia.

Telah diketahui bahwa di dalam motor DC,

$$T_a = \phi I_a \dots \dots \dots (2.31)$$

Karena motor beroperasi dari suatu tegangan sumber yang konstan, fluksi  $\Phi$  juga konstan (dengan mengabaikan reaksi jangkar). Maka,

$$T_a \sim I_a \dots \dots \dots (2.32)$$

Dengan demikian karakteristik Ta/Ia motor DC shunt merupakan garis lurus yang melalui titik asal seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9. Torsi poros (Tsh) kurang dibandingkan Ta dan ditunjukkan oleh garis putus-putus. Jelas terlihat pada kurva bahwa arus yang sangat besar dibutuhkan untuk menstart beban yang berat. Oleh karena itu, motor DC shunt tidak boleh distart dalam keadaan berbeban berat.

2. Karakteristik n/Ia

Kecepatan motor DC diberikan dengan Persamaan (2.30), sehingga diperoleh,

$$n \sim \frac{E}{\phi} \dots \dots \dots (2.33)$$



Dimana :

$E_a$  adalah ggl balik

$I$  adalah arus total

$R_a$  adalah kumparan jangkar ( tempat dibangkitkan ggl )

$R_f$  adalah kumparan medan ( tempat dibangkitkan medan )

#### 2.4.2.2.1 Karakteristik Motor DC seri.<sup>[4]</sup>

##### 1. Karakteristik $T_a/I_a$

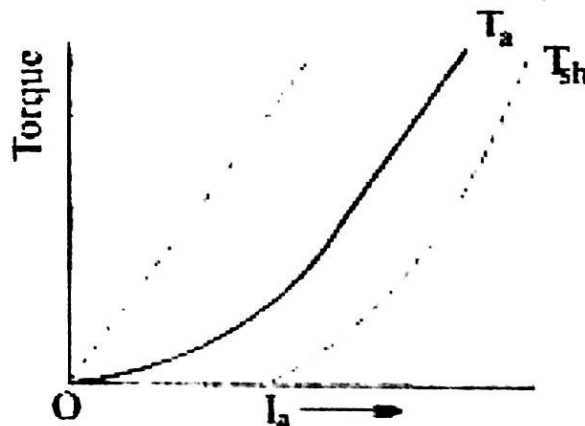
Kita telah mengetahui  $T_a \sim \Phi I_a$ . Didalam kasus ini, sebagai kumparan medan yang juga membawa arus jangka ke titik jenuh magnetic yang menghasilkan persamaan ,

$$\Phi \sim I_f = I_a = I$$

maka persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut :

$$T_a \sim I_a^2$$

Pada beban yang ringan,  $I_a$  dan  $\Phi$  bernilai kecil. Tetapi  $I_a$  naik apabila  $T_a$  naik searah dengan arus. Sehingga, kurva  $T_a/I_a$  memiliki kurva seperti parabola. Torsi jangkar sejalan atau satu garis lurus dengan torsi poros. Seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.13 Kurva Karakteristik  $T_a/I_a$  <sup>[4]</sup>



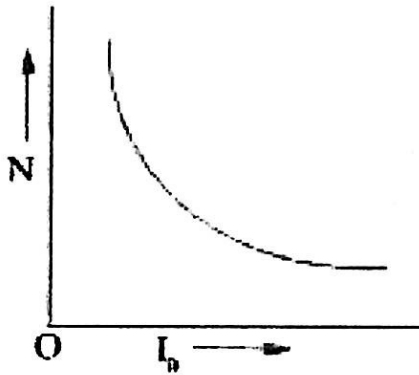
---

## 2. Karakteristik $N/I_a$ <sup>[4]</sup>

Variasi kecepatan dapat disimpulkan dari rumus

$$n \sim \frac{Eb}{\Phi}$$

Perubahan  $E_b$ , untuk variasi beban arus yang kecil, maka dapat diabaikan untuk saat ini. Dengan menaikkan  $I_a$ ,  $\Phi$  juga naik. Karena, kecepatan berbanding terbalik dengan arus dinamo seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



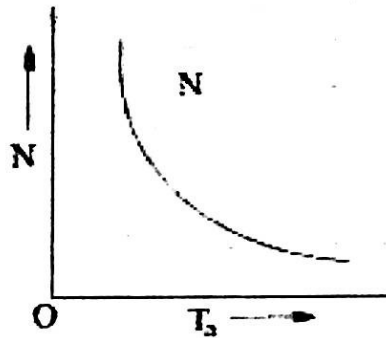
Gambar 2.14 Karakteristik  $N/I_a$ <sup>[4]</sup>

Ketika beban menjadi berat, arus jangkar akan semakin naik. Karena kecepatan melambat ( Penurunan  $E_b$  diikuti Arus jangkar yang besar ). Tetapi beban arus dan arus jangkar turun dengan nilai yang kecil. Kecepatan menjadi sangat tinggi.



### 3. Karakteristik $N/T_a$ atau karakteristik mekanik.

Ketika kecepatan tinggi, torsi menjadi kecil. Ini sangat berhubungan dengan karakteristik  $N/I_a$  seperti dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.15 Kurva Karakteristik  $N/T_a$ <sup>[4]</sup>

Point yang dapat diambil dari Motor DC Seri<sup>[7]</sup>

Motor Seri

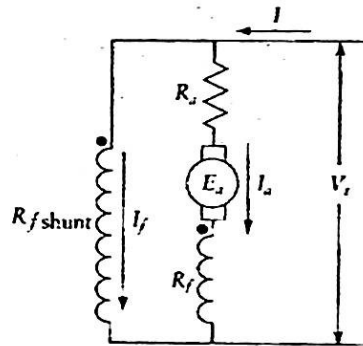
- Medan dan jangkar dihubungkan secara seri
- Supply tegangan konstan
- Torka berbanding lurus terhadap  $I^2$ , dan  $(\frac{V}{N})^2$
- Pengontrolan kecepatan dapat dilakukan dengan mengatur perubahan  $R_a + R_f$
- Resistansi start ( $R_a + R_f$ ) akan membatasai arus yang sangat besar
- Merubah arah torka rotor (termasuk juga putaran rotor), tidak mungkin dilakukan dengan merubah polaritas tegangan, sebagaimana  $I_a$  dan  $I_f$  akan berubah polaritasnya secara bersamaan
- Kecepatan tanpa beban susah untuk di dapat (karena terlalu tinggi).
- Kecepatan akan sangat tinggi pada tanpa beban dan motor seri besar tidak perlu dihubungkan pada beban mekanik dengan belt atau mekanik lainnya yang memungkinkan untuk bisa rusak karena getaran.



### 2.4.2.3. Motor Arus Searah Berpenguat Kompon<sup>[9]</sup>

Motor arus searah berpenguat kompon adalah motor DC yang memiliki 2 buah *fiel winding* yang dihubungkan secara seri dan paralel dengan *armature winding*. Karena itu, motor ini memiliki sifat seperti motor DC shunt dan motor DC seri, tergantung belitan yang mana yang lebih dominan (shunt atau seri). Kegunaan utama motor DC campuran adalah untuk mendapatkan start moment yang besar pada awal penggerakan beban. Penggunaan motor DC campuran antara lain pada pompa, elevator, dlll.

Rangkaian ekivalen motor arus searah berpenguat kompon , dapat digambarkan sebagai berikut :

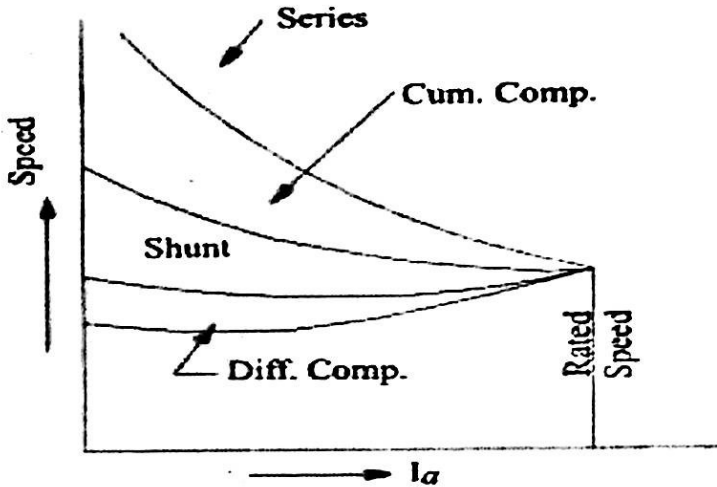


Gambar 2.16. Rangkaian ekivalen motor dc kompon<sup>[9]</sup>

*Motor dc kompon memiliki aplikasi beban terbesar, yang membutuhkan torsi starting yang tinggi ataupun beban yang berpulsasi, seperti electric shovel, metal stamping machines, reciprocating pumps, hoist dan kompressor.*



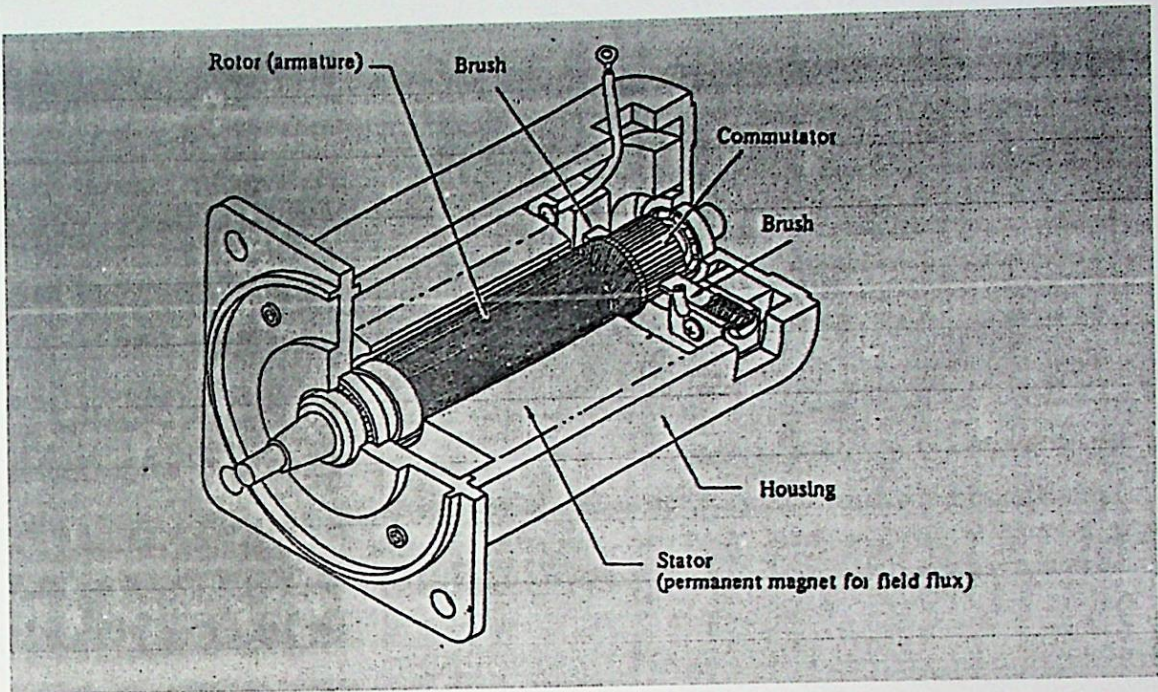
Karakteristik kerja motor dc kompon, digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.17. Kurva kecepatan vs arus jangkar motor dc kompon<sup>[9]</sup>

### 2.5. Motor Arus Searah Magnet Permanen<sup>[10]</sup>

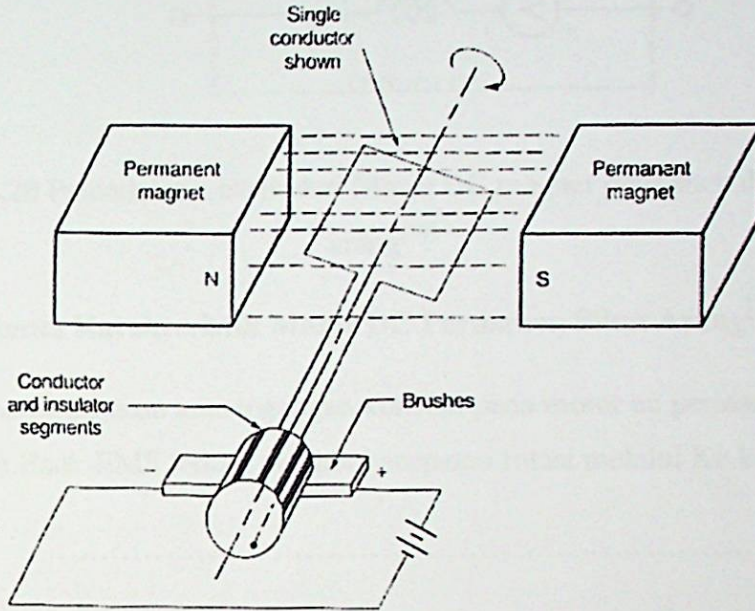
Motor DC magnet permanen dibangun dari sejumlah komponen. Konstruksinya secara umum terdiri dari stator, yang terdiri dari magnet permanen yang kuat untuk menghasilkan medan magnet statis, sebuah rotor yang membawa jangkar yang biasa disebut winding atau coil dan komutator. Sedangkan housing sebagai tempat pelindung dari magnet permanen tersebut. Terlihat seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.18 Konstruksi, komponen motor DC permanen<sup>[10]</sup>

Dalam hal menghasilkan torsi, elemen-elemen penting dari motor adalah stator dan armature, yang merupakan sumber dari dua medan magnet yang berinteraksi. Stator umumnya berbentuk seperti tabung berdinding tebal, dan rotor dan armature berbentuk didalam ruang berongga di tengah-tengah stator. Garis-garis fluks magnetik yang didirikan oleh stator berjalan dari satu sisi stator yang lain. Gambar 2.19 menunjukkan garis fluks magnetik dalam representasi yang disederhanakan.

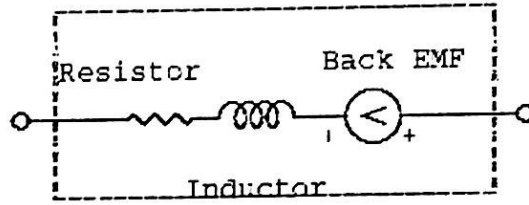




Gambar 2.19 Motor DC Magnet Permanen Stator dan Armature<sup>[10]</sup>

### 2.5.1 Pemodelan Motor DC Permanen<sup>[10]</sup>

Motor DC magnet permanen dengan sikat arang ( permanent magnet brused DC motors) dapat dimodelkan sebagai rangkaian dari tiga komponen dasar listrik, yaitu resistor, induktor, dan GGL ( gaya gerak listrik ) atau tegangan yang ditunjukkan pada gambar 2.20. Sumber tegangan ini biasa disebut “back EMF” atau “counter EMF”. Pada pemodelan ini dapat dilihat bahwa resistor merupakan hasil dari perlawanan resistansi yang terbatas per satuan panjang kawat yang digunakan untuk membangun kumparan dalam armature. Sedangkan Induktor hasil dari gulungan kawat yang terbentuk oleh gulungan armature. Semua gulungan kawat bertindak sebagai induktor.



Gambar 2.20 Pemodelan Listrik dari Motor DC magnet permanen dengan sikat arang<sup>[10]</sup>

### 2.5.2 Konstanta Karakteristik Motor DC Permanen Sikat Arang<sup>[10]</sup>

Kecepatan konstan atau tegangan konstan pada motor dc permanen tergantung pada besarnya Back-EMF terkait dengan kecepatan rotasi melalui Ke konstan.

$$E = K_e \omega \dots\dots\dots (2.36)$$

Dimana :

E = back EMF [V]

$K_e$  = kecepatan konstan  $\left[ \frac{V}{\frac{rad}{s}} \right]$

$\omega$  = kecepatan rotasi [rad/s]

Dalam perkembangannya untuk saat ini, losses mekanik dan listrik dapat diabaikan. Gesekan pada torsi dapat diabaikan karena gesekan di torsi dapat digerakkan oleh beban.

$$T_M = T_L + T_f \dots\dots\dots (2.37)$$

Dimana,  $T_f \approx 0$ . Untuk sebagian besar motor adalah wajar. Losses ini bisa diabaikan, jadi daya mekanik berubah menjadi generator,  $T\omega$ , akan sama dengan daya output,  $EI$ .

$$P = EI = T\omega \dots\dots\dots (2.38)$$



Persamaan 2.36 dan 2.38 dapat disubstitusi :

$$K_g \omega I = T \omega \dots\dots\dots (2.39)$$

Persamaan diatas dapat disimpulkan sebagai berikut :

$$T = K_g I \dots\dots\dots (2.40)$$

Dengan mensubstitusikan  $K_T = K_e$  pada persamaan 2.40 maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

$$T = K_T I \dots\dots\dots (2.41)$$

Dimana :

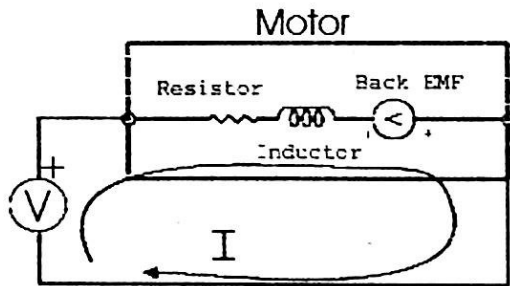
T = Torsi [N .m]

$K_T$  = Konstanta Torsi [ N.m / A]

I = arus [A]

### 2.5.3 Persamaan karakteristik untuk Tegangan Konstan<sup>[9]</sup>

Untuk lebih memahami karakteristik torsi dan kecepatan motor kita bisa mulai dengan memeriksa apa yang terjadi ketika kita menempatkan motor ke sirkuit dengan pengendali tegangan.



Gambar 2.21 Motor DC sirkuit dengan pengendali tegangan<sup>[10]</sup>



Kita dapat menggunakan hukum Kirchoff untuk menuliskan persamaan rangkaian diatas :

$$V = IR + K_e \omega \dots\dots\dots (2.42)$$

Dimana :

V = Tegangan [V]

I = Arus [A]

R = Resistansi dari coil [ $\Omega$ ]

$K_e$  = konstanta tegangan [ $\frac{V}{rad}$ ]

$\omega$  = kecepatan rotasi [rad/s]

Dari persamaan 2.36 ,2.41 dan 2.42 dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Semakin tinggi kecepatan rotasi motor, semakin rendah arus dan karena itu torsi lebih rendah. Hal ini terjadi karena adanya back-EMF.
2. Kecepatan maksimum setara dengan Arus yang memiliki nilai 0 dan setara juga dengan torsi yang bernilai 0
3. Ketika  $\omega = 0$  (kondisi disebut sebagai "stall")  $V = IR$  dan arus dan torsi keduanya akan maksimal.

Dengan mensubtitusikan persamaan 2.40 dengan 2.42 didapatkan :

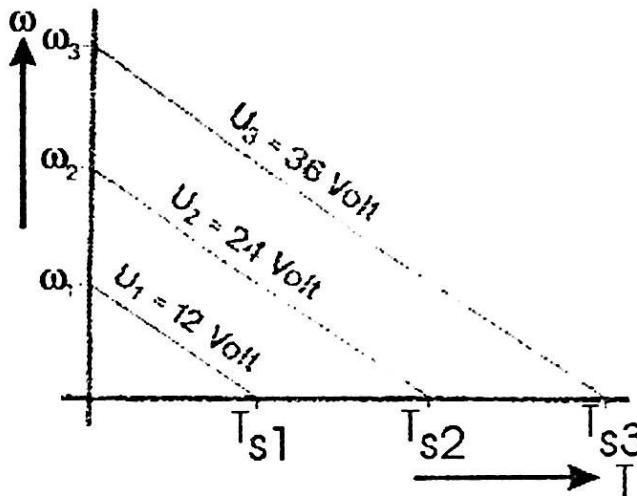
$$V = \frac{T}{K_r} R + K_e \omega \dots\dots\dots (2.43)$$

$$V - \frac{T}{K_r} R = K_e \omega \dots\dots\dots (2.43a)$$

$$\omega = \frac{V}{K_e} - \frac{R}{K_r K_e} T \dots\dots\dots (2.43b)$$



Persamaan diatas menunjukkan bahwa, untuk tegangan, torsi dan kecepatan untuk motor yang berhubungan linear. Persamaan diatas bisa digambarkan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.22 Perbandingan Torsi dengan  $\omega$  pada motor dc magnet permanen sikat arang<sup>[10]</sup>

Terlihat pada gambar diatas bahwa kecepatan maksimum pada motor dapat dicapai dari tegangan. Tegangan ini tidak dapat menghasilkan torsi, dimana biasanya ini disebut dengan kecepatan tanpa beban,  $\omega_{NL}$ . Seperti dijelaskan pada persamaan dibawah ini :

$$\omega_{NL} = \frac{V}{K_e} \dots\dots\dots (2.44)$$

Kemiringan garis yang di jabarkan pada persamaan 2.43b adalah perkalian dari T,  $\frac{R}{K_T K_e}$  Kemiringan garis ini disebut dengan regulasi kecepatan konstan (RM).

$$R_M = \frac{R}{K_T K_e} \dots\dots\dots (2.45)$$



Dengan mensubstitusi  $\omega_{NL}$  dan  $R_M$  pada persamaan 2.43b didapatkan persamaan berikut :

$$\omega = \omega_{NL} - R_M T \dots\dots\dots (2.46)$$

Garis Tegangan konstanta yang terlihat pada gambar 2.22 dimana  $\omega = 0$ , yang terjadi ketika motor terhenti. Ini adalah titik dimana torsi dimaksimalkan. Ini juga disebut "Torsi Stall" dan diberi symbol T stall atau  $T_s$ . Sedangkan "Arus Stall" atau  $I_s$ . Jika kita masukkan  $\omega = 0$  pada persamaan 2.46 maka persamaan T stall dapat disimpulkan sebagai berikut :

$$0 = \omega_{NL} - R_M T_{stall} \dots\dots\dots (2.47a)$$

$$T_{stall} = \frac{\omega_{NL}}{R_M} \dots\dots\dots (2.47b)$$

Subtitusikan kepersamaan 2.44 :

$$T_{stall} = \frac{V}{R_M K_e} \dots\dots\dots (2.47c)$$

Kemudian subtitusikan lagi dengan 2.45 :

$$T_{stall} = \frac{K_T V}{R} \dots\dots\dots (2.46d)$$

Dengan menggunakan hukum ohm persamaan diatas dapat disederhanakan :

$$T = K_T I \dots\dots\dots (2.47e)$$

Stall torsi dan stall arus terjadi pada saat motor baru mulai berjalan. Titik kritis yang perlu dipertimbangkan ketika merancang rangkaian untuk mendorong gerak motor dc.



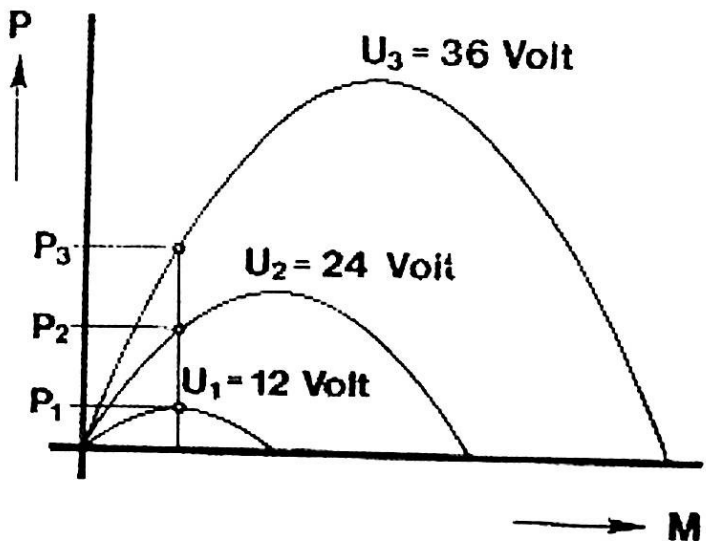
### 2.5.4 Karakteristik Power<sup>[10]</sup>

Rumus tenaga mekanik adalah  $P = T \omega$ . Dari persamaan 2.38 terlihat bahwa torsi motor secara keseluruhan terdiri dari gesekan torsi dan torsi beban. Sehingga dapat disimpulkan bahwa :

$$P = T \omega = (T_f + T_L)\omega \dots\dots\dots (2.48)$$

Dari persamaan diatas kita dapat mengasumsikan bahwa torsi gesekan dapat diabaikan atau bisa dibilang relative kecil. Efek torsi gesekan dapat ditulis dalam persamaan  $T_f$ .

Pada gambar dibawah ini terlihat kurva perbandingan torsi dan kecepatan yang dibentuk pada motor dc magnet permanen.



Gambar 2.23 Kurva Perbandingan Torsi dengan Output Power Motor DC Magnet Permanen Sikat Arang<sup>[10]</sup>



Untuk memahami bentuk kurva dan posisi nilai puncak, mulai dari pernyataan  $P = T \omega$ . Dengan mensubstitusikan persamaan (2.48) untuk  $\omega$ , didapatkan :

$$P = T(\omega_{NL} - R_M T) \dots\dots\dots (2.49)$$

Kemudian dengan mensubstitusikan persamaan 2.49, kita mendapatkan rumus yang berkaitan dengan torsi power :

$$P = \frac{VT}{K_e} - R_M T^2 \dots\dots\dots (2.50)$$

Kemudian turunkan persamaan diatas, sehubungan dengan torsi dan pengaturannya dengan mengakumulasinya dengan = 0 untuk menghasilkan data maksimum. Output daya maksimum untuk motor dc magnet permanen dengan sikat arang akan terjadi ketika  $T = \frac{1}{2} T_{stall}$ .

Dengan memulainya dari persamaan 2.48, dan mensubstitusikan  $T = \frac{1}{2} T_{stall}$  dengan persamaan 2.44, untuk mendapatkan hubungan antara P Max dan tegangan.

$$P_{Max} = \frac{V^2}{2R_M K_E} - R_M \left(\frac{V}{2R_M K_e}\right)^2 \dots\dots\dots (2.51)$$

Substitusi  $R_M = \frac{R}{K_T K_e}$  dari persamaan (2.43) :

$$P_{Max} = \frac{V}{K_E} \left(\frac{K_T V}{2R}\right) - R_M \left(\frac{K_T V}{2R}\right)^2 \dots\dots\dots (2.52)$$

Kemudian didapatkan hasilnya :

$$P_{Max} = \left(\frac{K_T}{4K_e R}\right) \cdot V^2 \dots\dots\dots (2.53)$$

Hasil ini menunjukkan bahwa Pmax sebanding dengan  $V^2$ , sedangkan  $\left(\frac{K_T}{4K_e R}\right)$  adalah konstanta yang diberikan motor. Dapat disimpulkan bahwa output daya mekanik magnet permanen dengan sikat arang berubah karena  $V^2$ . Perubahan tegangan ini memiliki dampak yang besar pada daya output motor dc.





---

## 2.6. Daya Pada Mobil Listrik<sup>[11]</sup>

Dasar pemikiran yang penting dalam menentukan kapasitas motor listrik sebagai penggerak kendaraan listrik adalah prediksi kinerja dan jangkauan. Dalam kendaraan listrik, hal yang perlu ditinjau antara lain adalah massa dan ukuran dari motor listrik, baterai, sumber energi dan perangkat peralatan pendukung lainnya. Dalam hal ini, akan ditinjau bagaimana perubahan parameter tersebut mempengaruhi kinerja dan jangkauan.

Perlu dilihat bahwa ada beberapa fitur kendaraan listrik yang membuat pemodelan matematika kinerja lebih mudah dibandingkan kendaraan lain.

Parameter pertama yang akan ditinjau adalah performansi kendaraan. Dengan kinerja mobil dimana percepatan dan kecepatan mendaki, merupakan masalah yang membuat mobil listrik diragukan kemampuannya. Diperlukan kinerja mobil listrik yang setidaknya tidaknya sama dengan mobil-mobil konvensional dengan IC engine (internal combustion engine).

Fitur penting lainnya dari kendaraan listrik adalah bahwa kita harus mampu memprediksi jangkauan kendaraan tersebut. Untuk melihat efek perubahan baik dari jenis kapasitas baterai maupun aspek lain yang muncul dari desain kendaraan. Untuk mengoptimalkan kordinasi dalam penentuan motor dan substansi lainnya, diperlukan juga besaran torsi dan kecepatan.

### 2.6.1 Gaya Tarikan (Tractive Effort)<sup>[11]</sup>

Untuk menentukan kinerja sebuah kendaraan diperlukan sebuah persamaan gaya yang dibutuhkan oleh kendaraan tersebut dengan memperhitungkan gaya gesekan antara roda (ban) dengan permukaan jalan (tanah).

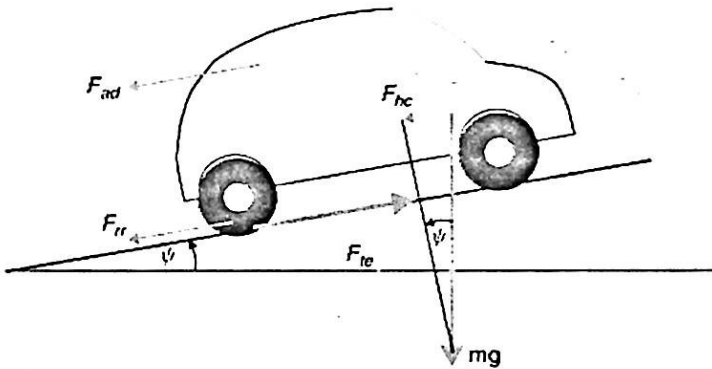
Sebuah kendaraan bermassa massa  $m$ , melaju dengan kecepatan  $v$ , mendaki bukit dengan kemiringan sudut  $\psi$ , seperti pada gambar dibawah ini.



Gaya dorong kendaraan harus dapat mengatasi hal berikut:

1. hambatan gelinding;
2. gesekan udara;
3. komponen berat kendaraan ketika menuruni bukit/ lereng;
4. mengendalikan kendaraan ketika kecepatannya tidak konstan

Pada akhirnya kita harus mempertimbangkan hal-hal di atas.



Gambar 2.24. Diagram gaya pada kendaraan yang bergerak disepanjang bidang miring.<sup>[11]</sup>

### 2.6.1.1 Gaya Hambat Bagian Yang berputar (Rolling resistance force, $F_{rr}$ )<sup>[11]</sup>

Gaya hambat ini terutama disebabkan oleh gesekan ban kendaraan terhadap jalan, gesekan di bantalan dan sistem gear (gearing system). Gaya hambat ini nilainya hampir konstan, dan hampir tidak tergantung pada kecepatan kendaraan. Nilai ini sebanding dengan berat kendaraan<sup>[11]</sup>

Gaya gesekan ini dinyatakan dengan persamaan:

$$F_{rr} = \mu_r mg \dots\dots\dots(2.54)$$

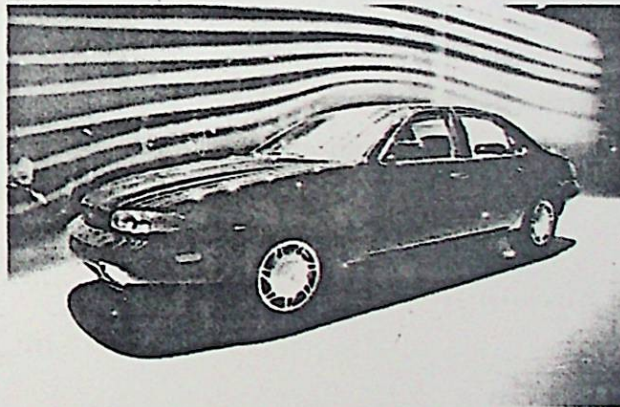


Dimana  $\mu_r$  adalah koefisien rolling resistance. Faktor utama yang mengendalikan  $\mu_r$  adalah jenis ban dan tekanan ban. Setiap pengendara sepeda akan sangat mengerti tentang hal ini, kinerja ban sepeda akan lebih baik jika ban dipompa sampai tinggi tekanan, meskipun perjalanan mungkin kurang nyaman.

Nilai  $\mu_r$  dapat dengan mudah diperoleh dengan menggerakkan kendaraan perlahan dan stabil serta mengukur gaya yang dibutuhkan. Nilai-nilai spesifik dari  $\mu_r$  adalah 0,015 untuk ban radial, dan turun menjadi sekitar 0,005 untuk ban-ban yang dirancang khusus terutama untuk kendaraan listrik.

### 2.6.1.2 Gaya Gesekan Angin (Aerodynamic drag)<sup>[11]</sup>

Gaya gesekan angin yang dimaksud di sini adalah gesekan udara terhadap bodi mobil. Gaya gesekan ini merupakan fungsi dari daerah frontal (bagian muka kendaraan) dan komponen lainnya seperti cermin (spion).



Gambar 2.25. Gesekan udara terhadap bodi mobil<sup>[11]</sup>

Rumus untuk komponen ini adalah:

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2 \dots\dots\dots (2.55)$$



Dimana  $\rho$  adalah kerapatan (densitas) udara,  $A$  adalah luas bidang frontal, dan  $v$  adalah kecepatan.  $C_d$  adalah konstanta yang disebut koefisien gesekan (drag coefficient).

Koefisien gesekan  $C_d$  dapat diperkecil dengan desain kendaraan yang baik. Sebuah nilai khas untuk sebuah mobil sedan adalah 0,3, tetapi beberapa desain kendaraan listrik telah mencapai nilai serendah 0,19. Beberapa kendaraan, seperti sepeda motor dan bus pasti akan memiliki nilai yang jauh lebih besar.  $C_d$  sekitar 0,7 dan ini merupakan masalah khusus.

Kepadatan/kerapatan udara sudah tentu bervariasi dengan suhu, ketinggian dan kelembaban. Namun nilai  $1,25 \text{ kg.m}^{-3}$  adalah nilai yang masuk akal untuk digunakan dalam banyak kasus. Dengan menggunakan satuan SI ( $\text{m}^2$  untuk  $A$ ,  $\text{ms}^{-1}$  untuk  $v$ ) maka nilai  $F_{ad}$  dapat dinyatakan dalam Newton.

### 2.6.1.3 Gaya Daki Bukit<sup>[11]</sup>

Gaya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan menaiki lereng adalah yang paling mudah untuk ditentukan. Dengan resolusi sederhana berdasarkan gambar 2.24 di atas, diperoleh persamaan:

$$F_{hc} = mg \sin(\psi) \dots\dots\dots (2.56)$$

### 2.6.1.4 Gaya Percepatan<sup>[11]</sup>

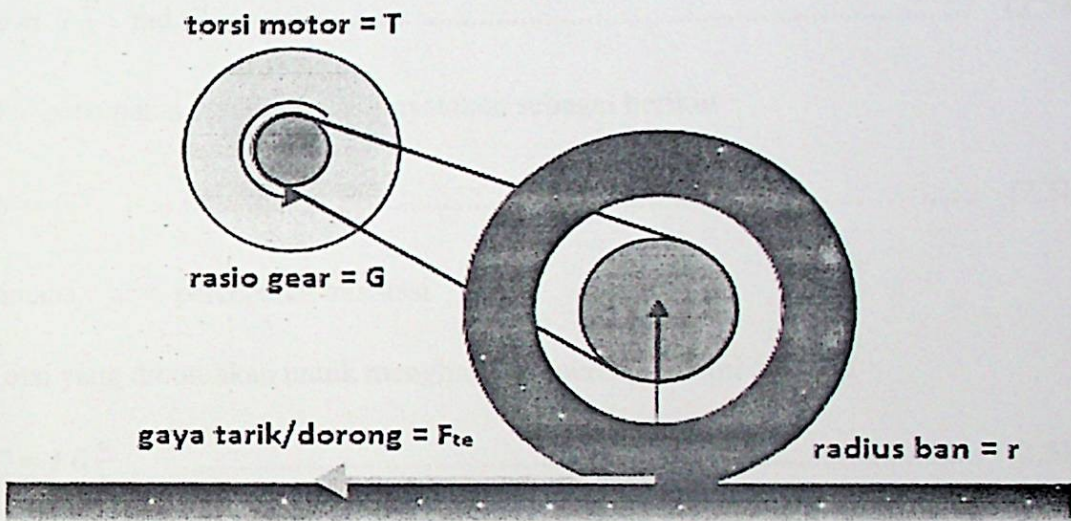
Untuk mengubah kecepatan kendaraan, diperlukan gaya yang mampu mengatasi gaya hambat dan memberi percepatan linear kendaraan. Gaya ini dinyatakan dalam persamaan

$$F_{la} = ma \dots\dots\dots (2.57)$$

$F_{la}$  = gaya percepatan linear (newton).



Namun, untuk gambaran yang lebih akurat tentang gaya yang dibutuhkan untuk mempercepat kendaraan perlu diperhitungkan gaya yang dibutuhkan untuk mempercepat putaran komponen-komponen yang berputar. Dengan kata lain, perlu dipertimbangkan percepatan rotasi serta percepatan linear. Masalah utama dalam motor listrik, bukanlah karena momen inersia yang sangat tinggi, tetapi karena kecepatan angular yang lebih tinggi.



Gambar 2.26. Gambaran sederhana untuk koneksi motor ke roda kendaraan<sup>[11]</sup>

Terlihat pada gambar 2.26, jelas bahwa torsi poros  $T_p = F_{te} r$ , di mana  $r$  adalah jari-jari ban, dan  $F_{te}$  adalah traksi yang diperoleh dari power train. Jika  $G$  adalah rasio gigi dari sistem yang menghubungkan motor ke as roda, dan  $T$  adalah torsi motor, maka kita dapat mengatakan bahwa:

$$T = \frac{F_{te} r}{G} \dots\dots\dots (2.58.a)$$

$$F_{te} = \frac{G}{r} T \dots\dots\dots (2.58.b)$$



Persamaan ini akan digunakan ketika kita akan mengembangkan persamaan untuk performansi kendaraan.

Perlu diingat, bahwa :

$$\text{kecepatan angular gandar } (as) = \frac{v}{r} \text{ rad.s}^{-1} \dots\dots\dots (2.58a)$$

sehingga kecepatan angular motor adalah

$$\omega = G \frac{v}{r} \text{ rad.s}^{-1} \dots\dots\dots (2.58.b)$$

Dan percepatan angular motor dinyatakan sebagai berikut :

$$\omega = G \frac{a}{r} \dots\dots\dots (2.58.c)$$

dimana : a = percepatan translasi

Torsi yang dibutuhkan untuk menghasilkan percepatan ini adalah :

$$T = I G \frac{a}{r} \dots\dots\dots (2.58.d)$$

Dimana I adalah momen inersia dari rotor motor. Gaya yang diperlukan oleh roda untuk menghasilkan percepatan angular ( $F_{\omega a}$ ), diperoleh dengan menggabungkan persamaan di atas dengan persamaan (2.58a), dan memberikan persamaan berikut.

$$F_{\omega a} = \frac{G}{r} I G \frac{a}{r} = I \frac{G^2}{r^2} a \dots\dots\dots (2.59)$$

Perlu diingat, bahwa dalam sejumlah persamaan sederhana ini, efisiensi sistem gear dianggap 100 %, karena tidak ada kehilangan daya (losses tidak diperhitungkan).

Jika efisiensi geran  $\eta_g$  diperhitungkan, maka gaya yang dibutuhkan menjadi :

$$F_{\omega a} = I \frac{G^2}{\eta_g r^2} a \dots\dots\dots (2.60)$$



Nilai-nilai typical untuk konstanta di sini adalah 40 untuk  $G/r$  dan  $0,025 \text{ kg.m}^2$  untuk momen inersia. Nilai ini adalah untuk motor 30 kW, berkecepatan 60 km pada kecepatan motor 7000 rpm. Diperkirakan berat kendaraan sekitar 800 kg. Unsur  $IG^2/r^2$  dalam persamaan akan memiliki nilai sekitar 40 kg dalam kasus ini. Dengan kata lain, gaya percepatan sudut diberikan oleh persamaan diatas biasanya akan jauh lebih kecil dari gaya percepatan linier yang diberikan. Dalam kasus tertentu rasionya akan dapat ditentukan sebagai berikut.

$$\frac{40}{800} = 0,05 = 5\%$$

Seringkali momen inersia motor tidak diketahui. Dalam hal ini, dengan cara pendekatan, biasanya nilai hasil perhitungan ditambah 5% dalam persamaan (2.57), dengan mengabaikan unsur  $F_{\omega a}$ .

#### 2.6.1.5 Total tractive effort<sup>[11]</sup>

Total tractive effort adalah jumlah dari semua gaya di atas.

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la} + F_{\omega a} \dots\dots\dots (2.61)$$

Perlu diingat, bahwa  $F_{la}$  dan  $F_{\omega a}$  akan negatif jika kendaraan melambat, dan  $F_{hc}$  yang akan negatif jika kendaraan tersebut akan menurun.

Laju alir energi dibutuhkan adalah :

$$P_{te} = F_{te} \times v \dots\dots\dots (2.62)$$

Dengan mengetahui laju alir energi, akan dapat ditentukan kapasitas motor yang dibutuhkan oleh sebuah mobil listrik.



## 2.7 Matlab.<sup>[12]</sup>

Matlab merupakan sebuah singkatan dari Matrix Laboratory, yang pertama kali dikenalkan oleh University of New Mexico dan University of Stanford pada tahun 1970. software ini pertama kali memang digunakan untuk keperluan analisis numerik, aljabar linier dan teori tentang matriks. Saat ini, kemampuan dan fitur yang dimiliki oleh Matlab sudah jauh lebih lengkap dengan ditambahkan toolbox-tool box yang sangat luar biasa. Beberapa manfaat yang didapatkan dari Matlab antara lain:

- Perhitungan Matematika
- Komputasi numerik
- Simulasi dan pemodelan
- Visualisasi dan analisis data
- Pembuatan grafik untuk keperluan sains dan teknik
- Pengembangan aplikasi, misalnya dengan memanfaatkan GUI.

Matlab dapat dipadang sebagai sebuah kalkulator dengan fitur yang lengkap. Kita pernah menggunakan kalkulator dengan dengan fasilitas minimal, misalnya hanya terdapat fasilitas penambahan, pengurangan perkalian dan pembagian. Kalkulator yang lebih lengkap lagi adalah kalkulator scientific dimana fasilitas yang diberikan tidak hanya yang disebutkan di atas, melainkan sudah ada fungsi-fungsi trigonometri, bilangan kompleks, akar kuadrat dan logaritma.

Matlab memberikan kemudahan bagi para pengguna untuk menemukan bantuan sehubungan dengan semua fasilitas yang diberikan oleh Matlab. Misalnya, bantuan tentang bagaimana memulai Matlab pertama kali, trik pemrograman,

---





---

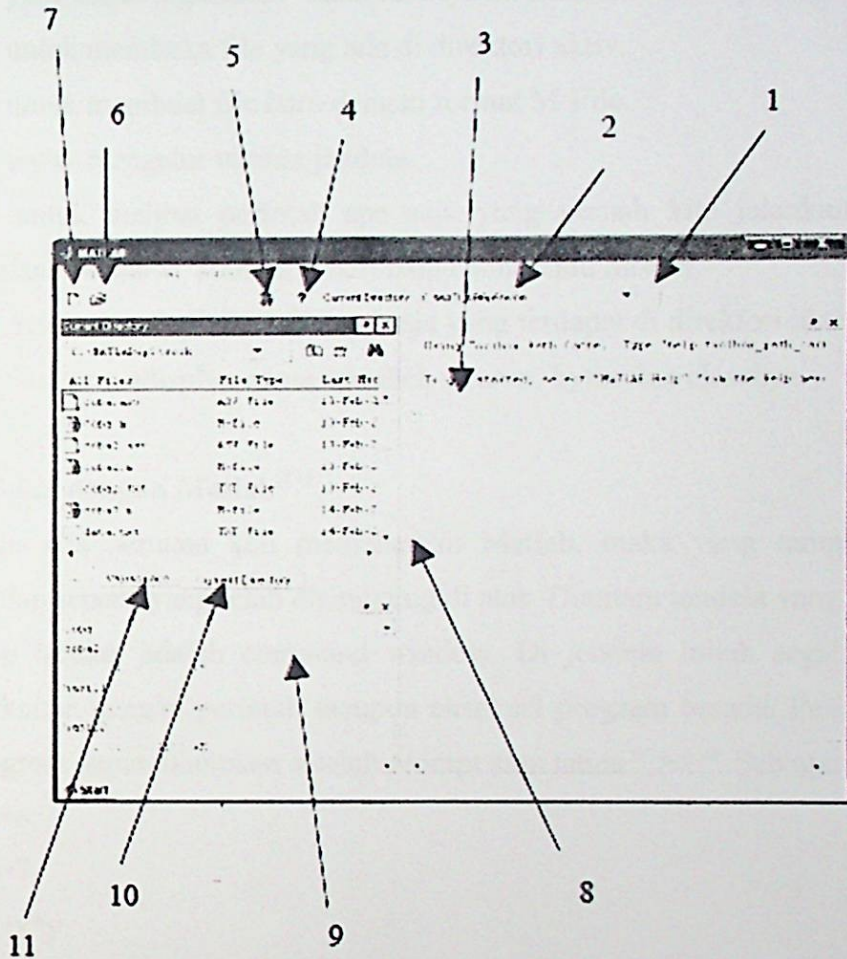
membuat grafik 2 dan 3 dimensi, menggunakan tool akuisisi data, pengolahan sinyal, penyelesaian persamaan diferensial parsial.

Untuk memperoleh bantuan tersebut, kita dapat memilih MATLAB Menu dari menu Help. Untuk bantuan tentang Matlab sendiri, dibagi atas beberapa bagian antara lain :

- Development Environment, bagian ini akan memberikan informasi yang lengkap mengenai desktop dari Matlab.
- Mathematics, bagian yang menjelaskan bagaimana menggunakan fitur yang dimiliki oleh Matlab untuk dalam mengolah data matematis dan statistik. Isi dalam bantuan ini dicakup antara lain: Matriks dan aljabar linier, polinomial dan interpolasi, analisis data dan statistik, fungsi function, matriks jarang (sparse matrix).
- Programming and data type, bagian ini menjelaskan bagaimana membuat script dan fungsi dengan menggunakan Matlab. Bantuan ini mencakup pemrograman M-File, larik, larik multidimensi, optimalisasi performance Matlab, tip pemrograman Matlab.
- Graphics, bagian ini menjelaskan tentang bagaimana membuat atau mengplot grafik dari data yang kita miliki. Yang termasuk dalam bagian ini antara lain, dasar-dasar pengeplotan, format grafik, membuat grafik khusus misalnya grafik dalam bentuk bar, histogram, contour dan lain-lain.
- 3-D Visualization, bagian ini menjelaskan dengan tuntas bagaimana menampilkan data yang kita miliki dalam grafik 3 dimensi, termasuk didalamnya membuat grafik 3D, menentukan tampilan objek, transparansi objek, lighting dan lain-lain.



□ Creating Graphical User Interfaces, bagian ini menjelaskan bagaimana kita dapat membuat GUI (Graphical User Interface) berbasis Matlab.



Gambar 2.27 tampilan awal matlab<sup>[11]</sup>

Keterangan :

1. Tool untuk browse direktori aktif. Dari tool ini kita dapat mengeset direktori mana yang aktif. Direktori aktif berarti bahwa direktori inilah yang siap untuk diakses file didalamnya atau tempat yang siap untuk digunakan sebagai penyimpanan data.



- 
2. Tool yang menampilkan direktori aktif
  3. Jendela ini disebut disebut sebagai Command Window. Dari
  4. Tool yang digunakan untuk mendisplay bantuan pada Matlab.
  5. Tool yang dapat digunakan untuk menuju ke Simulink Library Browser.
  6. Tool untuk membuka file yang ada di direktori aktif.
  7. Tool untuk membuat file baru dengan format M-File.
  8. Tool untuk mengatur ukuran jendela.
  9. Tool untuk melihat perintah apa saja yang pernah kita jalankan melalui command window. Tool ini diberi nama command history.
  10. Tool untuk mendisplay isi file apa saja yang terdapat di direktori aktif.
  11. Tool untuk mendisplay nama variabel, ukuran, bytes dan classnya.

### 2.7.1 Memulai dengan Matlab<sup>[11]</sup>

Ketika kita pertama kali menjalankan Matlab, maka yang tampil adalah Desktop Matlab seperti yang telah disinggung di atas. Diantara jendela yang ada pada desktop Matlab adalah command window. Di jendela inilah segala macam aktivitas berkaitan dengan perintah maupun eksekusi program berada. Perintah atau eksekusi program dapat dilakukan setelah prompt atau tanda “>>”. Sebagai contoh :

```
>> x=6;
>> y=7;
>> z=x*y
z = 42
```

Operator dasar aritmatik antara lain adalah +, -, \*, / da ^. Simbol ^ digunakan untuk menyatakan pangkat, misalnya :

```
>> a=10
a = 10
>> a^2
ans = 100
>> a^3
```

---



```
ans = 1000
>> 1+2*4/3
ans =3.6667
>> 1+2/4*3
ans = 2.5000
```

Tetapi, coba kita lihat contoh ke-4 dan ke-5, yaitu bagaimana urutan operasi pada angka-angka tersebut. Untuk bentuk yang lebih jelas operasi  $1+2*4/3$  dapat dituliskan sebagai :

$$\begin{aligned}1+((2*4)/3) &= 1+8/3 \\ &= 1+ 2.667 \\ &= 3.667\end{aligned}$$

Sedangkan operasi  $1+2/4*3$  dapat dituliskan sebagai :

$$\begin{aligned}1+2/4*3 &= 1+(2/4)*3 \\ &= 1 + 0.5 *3 \\ &= 2.5000\end{aligned}$$

Jadi, dalam mengeksekusi sebuah operasi matematika, Matlab mengikuti aturan-aturan sebagai berikut:

- Matlab memprioritaskan operasi yang berada di dalam kurung
  - operasi yang melibatkan operator \* dan / (dapat \* / atau / \*) bekerja dari kiri ke kanan
  - operasi matematika yang melibatkan operator + dan - (dapat + - atau - +) juga bekerja dari kiri ke kanan.
-



- 
7. mkdir : perintah untuk membuat direktori dibawah current direktori
  8. delete : perintah untuk menghapus file
  9. who : menampilkan semua variabel saat ini.
  10. whos : menampilkan semua variabel saat ini bersama dengan informasi tentang ukuran, bytes, class dll.
  11. what : menampilkan semua file dengan ekstensi .M (M-File)
  12. lookfor : `perintah untuk mencari file dengan kata kunci.

## 2.7.4 Fungsi Bawaan Matlab (Built-In Functions) <sup>[11]</sup>

### 2.7.4.1 Fungsi Trigonometri<sup>[11]</sup>

Ada beberapa fungsi trigonometri yang kita kenal dalam matematika. Fungsi-fungsi tersebut masuk ke dalam fungsi bawaan Matlab. Fungsi-fungsi trigonometri tersebut antara lain:  $\sin()$ ,  $\cos()$ ,  $\tan()$ ,  $\sinh()$ ,  $\cosh()$ ,  $\tanh()$ ,  $\text{asin}()$ ,  $\text{acos}()$ ,  $\text{atan}()$ ,  $\text{asinh}()$ ,  $\text{acosh}()$  dan  $\text{atanh}()$ . Yang penting untuk diingat bahwa argumen untuk fungsi trigonometri ini adalah mode radian. Contoh :

```
>> sin(pi/3),cos(pi/3),tan(pi/3)
```

```
ans = 0.8660
```

```
ans = 0.5000
```

```
ans = 1.7321
```

```
>> asin(0.8660),acos(0.8660),atan(0.8660)
```

```
ans = 1.0750
```

```
ans = 0.4249
```



```
ans = 0.7217
```

```
>> sinh(pi/3),cosh(pi/3),tanh(pi/3)
```

```
ans = 1.2494
```

```
ans = 1.6003
```

```
ans = 0.7807
```

```
>> asinh(1.22),acosh(1.22),atanh(1.22)
```

```
ans = 1.0287
```

```
ans = 0.6517
```

```
ans = 1.1558 + 1.5708i
```

#### 2.7.4.2 Fungsi Dasar Matlab<sup>[11]</sup>

Disamping fungsi trigonometri, fungsi-fungsi dasar juga penting. Beberapa fungsi dasar tersebut antara `abs()`, `sqrt()`, `exp()`, `log()`, `log10()`, `log2()`. Contoh:

```
>> z = 3+4i;
```

```
>> abs(z)
```

```
ans = 5
```

```
>> a=100;
```

```
>> sqrt(a)
```

```
ans = 10
```

```
>> log(a)
```

```
ans = 4.6052
```

---



```
>> log10(a)
```

```
ans = 2
```

```
>> log2(a)
```

```
ans = 6.6439
```

```
>> exp(log10(a))
```

```
ans = 7.3891
```

### 2.7.5 Menggambar Grafik Fungsi<sup>[11]</sup>

Peranan grafik dalam bidang sains dan teknik adalah sangat penting. Grafik dapat digunakan untuk menampilkan hasil suatu hasil penelitian maupun observasi lapangan. Dengan menampilkan dalam sebuah grafik, pembaca akan dengan mudah memahami atau masalah tertentu. Dapat dibayangkan, misalnya kita memiliki data penelitian sebanyak 10.000 titik data dan semua data disajikan dalam bentuk tabel, sudah tentu kita akan pusing dibuatnya. Lain halnya, jika data tersebut disajikan dalam bentuk grafik, maka dengan mudah kita dapat memahami hasil penelitian tersebut.

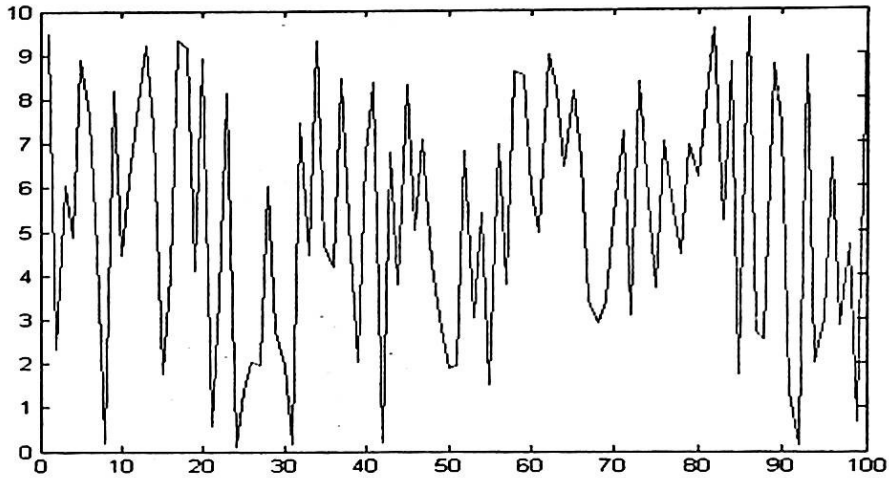
Untuk membuat sebuah grafik garis, fungsi yang kita gunakan adalah plot. Fungsi ini memiliki bentuk berbeda tergantung pada argumen input yang kita berikan. Sebagai contoh, misalnya kita memiliki data dalam bentuk array dan kita simpan dalam vektor  $y$ , maka  $\text{plot}(y)$  akan ditampilkan grafik elemen-elemen  $y$  terhadap indeks elemen-elemen tersebut. Sedangkan, jika kita menentukan dua argumen  $x$  dan  $y$  maka  $\text{plot}(x,y)$  akan ditampilkan grafik  $y$  versus  $x$ .



Contoh :

```
y=10*rand(100,1);
```

```
plot(y)
```



Gambar 2.28 Tampilan grafik y vs indeks  $y^{[1]}$

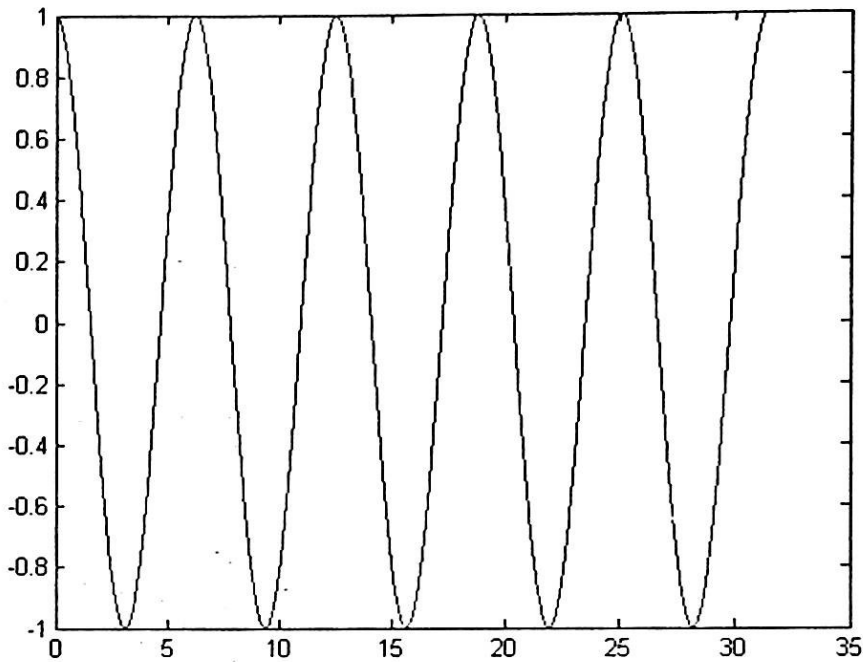
Jika kita memiliki dua buah argumen x dan y, dimana  $0 \leq x \leq 10\pi$  dan  $y = \cos(x)$  maka grafik y vs x dapat dilihat pada gambar 4.2.

```
x= 0:pi/200:10*pi;
```

```
y= cos(x);
```

```
plot(x,y)
```





Gambar 2.29 Tampilan grafik  $y$  vs  $x$ <sup>[11]</sup>

Kita juga dapat menggunakan perintah `linspace` untuk menentukan domain fungsi, sehingga script di atas dapat dituliskan kembali menjadi :

```
x=linspace(0,10*pi,200);
```

```
y=cos(x);
```

```
plot(x,y)
```

Kita juga dapat membuat beberapa grafik dalam satu frame. Matlab secara otomatis akan membedakan grafik-grafik tersebut dengan warna yang berbeda-beda. Plot tiga grafik dalam satu frame dapat dilihat pada gambar 4.3

```
x=linspace(0,2*pi,200);
```

```
y1=cos(x);
```

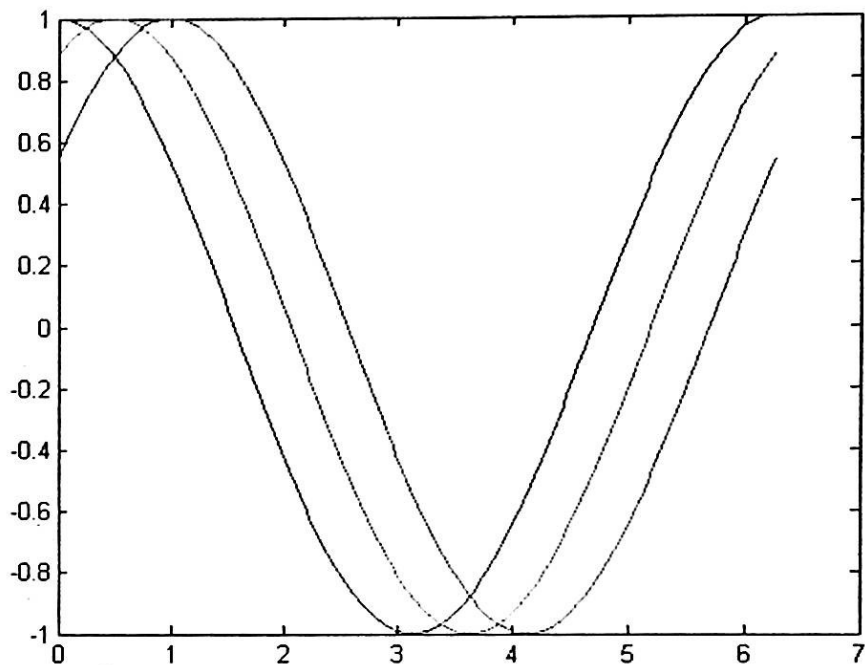
```
y2=cos(x-0.5);
```

```
y3=cos(x-1.0);
```



---

plot(x,y1,x,y2,x,y3)



Gambar 2.30 Tampilan tiga grafik dalam satu frame x-y.<sup>[11]</sup>



---

## BAB III METODOLOGI

### 3.1 Metodologi Penelitian

Dalam penulisan Skripsi ini, metode-metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

a) Studi Literatur

Pada metode ini penulis mencari beberapa literature yang berkaitan dengan Evaluasi Motor DC (Direct Current) Sebagai Penggerak Mobil Listrik.

b) Studi Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang diambil merupakan data yang nyata. Data yang diambil merupakan data yang berasal dari pengukuran mobil listrik yang sebelumnya telah dibuat oleh Mahasiswa Elektro Universitas Negeri Sriwijaya tahun 2013.

c) Metode Interview / Wawancara.

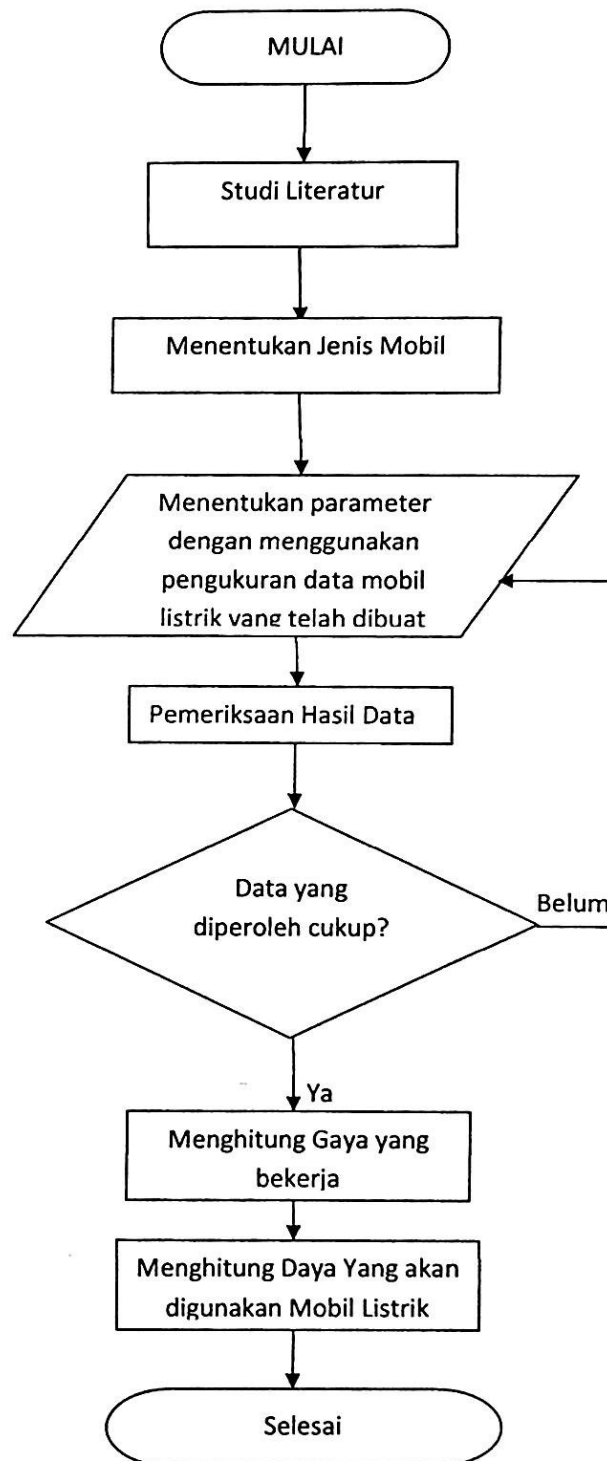
Metode ini dilakukan dengan cara diskusi atau konsultasi kepada orang-orang yang sudah berpengalaman dibidangnya. Dengan demikian penulis dapat mendapatkan informasi yang akurat dari hasil wawancara dan mendapatkan data untuk dijadikan bahan skripsi.

d) Analisa Data

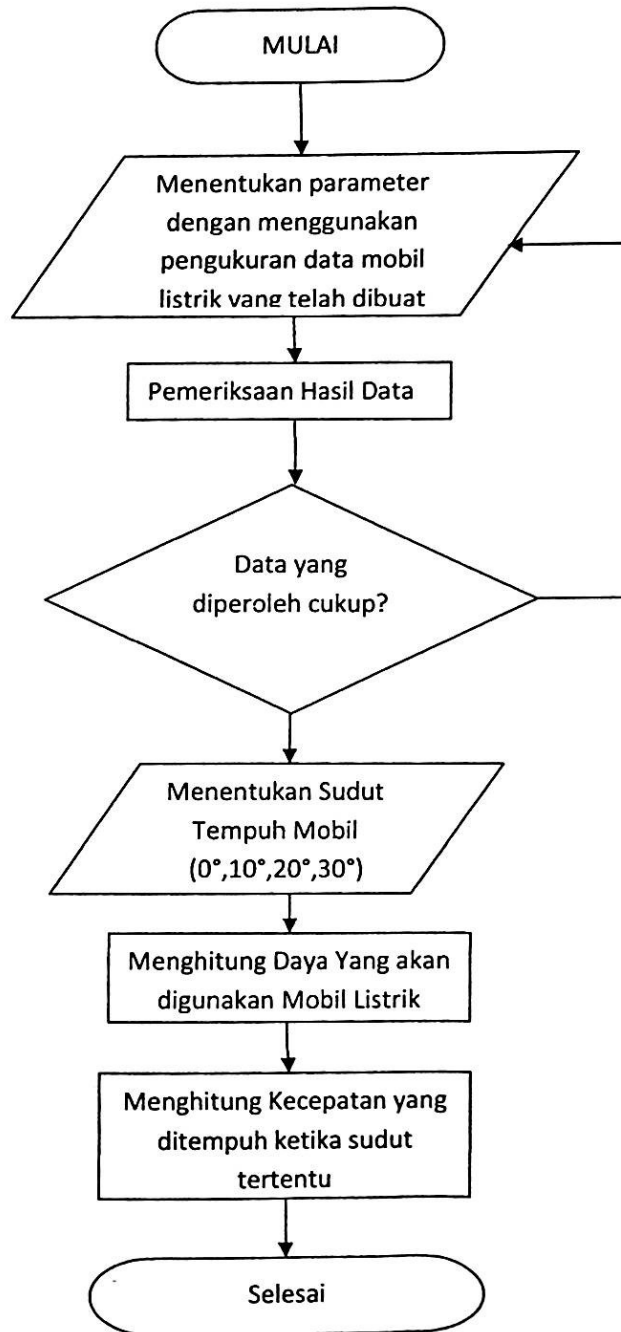
Dalam tahap ini penulis menganalisa data yang sudah diperoleh dari hasil wawancara, diskusi dan pengukuran untuk mendapatkan kesimpulan.

### 3.2 Flowchart

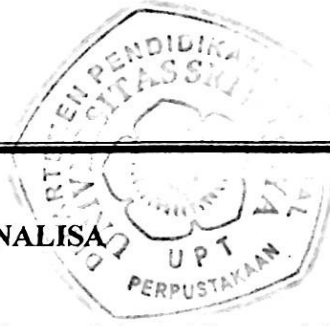
Flowchart adalah diagram alir dimana diagram ini berisikan tata cara atau langkah-langkah yang disimbolkan dalam bentuk kotak, diagram ini juga memberikan symbol-simbol panah yang berfungsi memberikan petunjuk atau perintah. Flowchart biasanya mempermudah penyelesaian suatu masalah khususnya masalah yang perlu dipelajari dan dievaluasi lebih lanjut.



Gambar 3.1 Flowchart Pengukuran dan Perhitungan



Gambar 3.2 Flowchart Perhitungan Kecepatan pada Sudut Tertentu



**BAB IV**  
**PEMBAHASAN DAN ANALISA**

Pada bab ini akan dianalisa hasil pengukuran data untuk mendapatkan kapasitas yang dibutuhkan mobil listrik. Dan motor dc jenis apa yang akan digunakan.

**4.1 Pemilihan Motor DC**

Dasar pemikiran dalam pemilihan motor listrik sebagai penggerak mobil listrik adalah bahwa motor listrik tersebut harus mampu menghasilkan torsi starting yang tinggi dengan arus yang rendah.

- Motor berpenguat terpisah :

Dari persamaan (2.27) dinyatakan bahwa ;

$$P_d = E_a I_a = T_d \omega = P_{out} + P_{loss}$$

atau :

$$E_a I_a = T_d \omega,$$

terlihat, bahwa Torsi yang dibangkitkan sebanding dengan arus jangkar yang berarti juga sebanding dengan arus beban I.

$$T \propto I$$

- Motor berpenguat shunt :

Dari persamaan (2.29),

$$T \propto I_a$$

Terlihat bahwa torsi yang dibangkitkan sebanding dengan arus jangkar  $I_a$ , yang berarti sebanding dengan arus beban I.

$$T \propto I$$

- Motor berpenguat seri :

Dari persamaan (2.33),

$$T = K \Phi I_a^2$$

Terlihat bahwa torsi yang dibangkitkan sebanding dengan kuadrat arus jangkar, yang berarti juga sebanding dengan kuadrat arus beban.



$$T \propto I^2$$

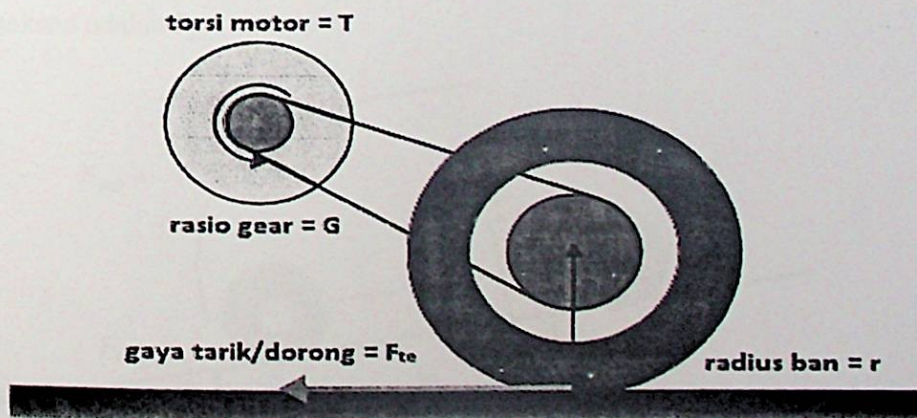
- Motor berpenguat kompon (gabungan)  
Motor berpenguat kompon memiliki persamaan  $T \propto Ia$  yang berarti sebanding dengan arus beban.
- Motor dc magnet permanen memiliki karakteristik yang sama dengan motor dc berpenguat shunt, sehingga memiliki persamaan  $T \propto I$ .

Dari hubungan antara torsi dan arus beban masing-masing jenis motor dc, ternyata yang memenuhi kriteria sebagai penggerak mobil listrik adalah motor dc berpenguat seri. Ditinjau dari karakteristiknya juga, motor dc berpenguat seri yang paling memenuhi.

Sedangkan pada pembuatan mobil listrik sebelumnya yang menggunakan mobil listrik dengan penggunaan motor dc magnet permanen, menurut penulis kurang efektif dikarenakan Torsi yang dihasilkan oleh motor magnet permanen adalah setara dengan  $I$  (arus) sehingga  $T \approx I$  hanya akan menggerakkan starting motor secara konstan.

#### 4.2 Data Pengukuran.

Sumber data ini berasal dari alat yang telah dibuat oleh Mahasiswa Unsri angkatan 2013. Berikut adalah data-data yang diukur dari mobil listrik mahasiswa unsri angkatan 2013:







---

**Data Pengukuran :**

Asumsi Massa Penumpang = 120 Kg

Total Massa mobil = 150 Kg

Diameter Roda = 48 cm

Rasio system belt = 4 : 1

Rantai yang dari gear ke ban = 24 cm

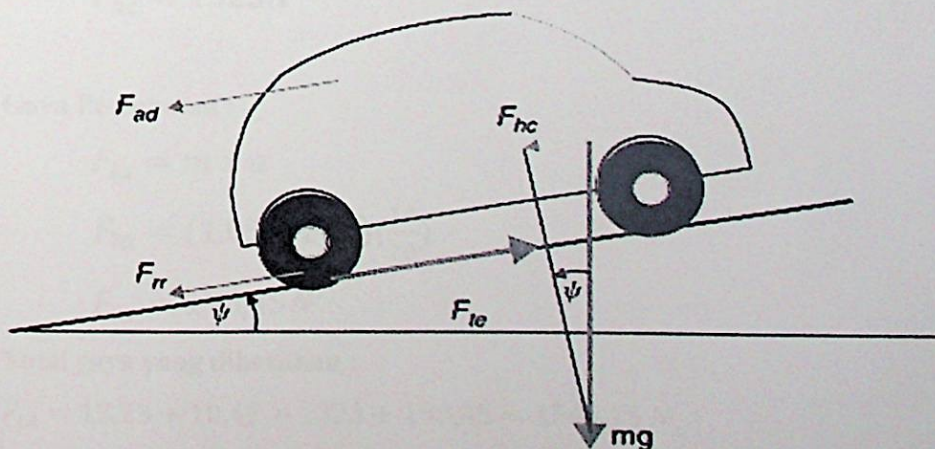
**Untuk Luas Bidang Frontal :**

Lebar = 60 cm = 0,6 m

Panjang = 75 cm = 0,75 m

**4.3 Analisa Data.**

Untuk mengetahui berapa besar daya yang dibutuhkan oleh mobil listrik, kita harus memperhatikan kemampuan mobil tersebut dalam mendaki bukit (tanjakan), pada perhitungan disini gaya mendaki memiliki sudut sebesar  $30^\circ$ . Karena sudut ekstrim yang mampu dilakukan mobil hanya kurang lebih  $30^\circ$ . Maka penulis mengasumsikan sudut ini, untuk menghitung gaya daki bukit pada kejadian yang akan dilalui mobil. Pada gambar dibawah ini, sudut daki yang dimaksud adalah  $F_{hc}$ .





---

#### 4.3.1 Menghitung Gaya yang Bekerja pada Mobil.

Dengan menjumlahkan total gaya yang bekerja, kita bisa mendapatkan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan mobil listrik tersebut.

$$F_{te} = F_{rr} + F_{ad} + F_{hc} + F_{la}$$

**Gaya rolling resistance :**

$$F_{rr} = \mu_{rr} \times mg$$

$$F_{rr} = (0,005) \times (150 + 120)(9,8)$$

$$F_{rr} = 13,23 \text{ N}$$

**Gaya aerodynamic :**

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho A C_d v^2$$

$$F_{ad} = \frac{1}{2} (1,25)(0,75 \times 0,6)(0,19)(14)^2$$

$$F_{ad} = 10,47 \text{ N}$$

**Gaya Daki Bukit :**

$$F_{hc} = mg \sin(\phi)$$

$$F_{hc} = (150 + 120)(9,8) \sin 30^\circ$$

$$F_{hc} = 1323 \text{ N}$$

**Gaya Percepatan :**

$$F_{la} = m \times a$$

$$F_{la} = (1,05 \times 270) \left(\frac{14}{20}\right)$$

$$F_{la} = 198,45 \text{ N}$$

**Total gaya yang dihasilkan :**

$$F_{te} = 13,23 + 10,47 + 1323 + 198,45 = 1545,15 \text{ N}$$

---



---

**Daya yang dibutuhkan :**

$$P = F_{te} \times v$$

$$P = 1545,15 \times 14 = 21.632,15225 \approx 21,6 \text{ kW}$$

Pada saat mobil dengan gaya penuh, mobil membutuhkan daya sebesar 21,6 kW.

**4.3.1.1 Analisa Menggunakan Program Matlab Untuk Variasi Beban Mobil dari 0 hingga 1000kg :**

```
clc
clear
close

mu = 0.005; % koefisien gesekan
m = 0:100:1000; % massa variable 0-1000
g = 9.8; % gravitasi bumi
rho = 1.25; % kerapatan udara
A = 0.45; % Luas Bidang frontal
Cd = 0.19 ; % konstanta koefisien gesekan
v = 14 ; % kecepatan
ma = 1.05 * m ;
a = 0.7 ;
F_rr = mu * m * g ; % gaya rolling resistance
F_ad = 1/2 * rho * A * Cd * v^2 ; % Gaya Aerodynamic
F_hc = m * g * sin(30*pi/180) ; % Gaya Daki Bukit
F_la = ma * a ; % Gaya Percepatan
F_te = F_rr + F_ad + F_hc + F_la ; % Gaya total
P = F_te * v; % Daya yang dibutuhkan
plot(m,P,'r:x');
xlabel('Total Beban, Kg (Kilogram)');
ylabel('Daya, W (Watt) ');
```



```
title('Grafik Perbandingan Daya terhadap Beban Mobil');  
grid on
```

**Hasil dari proses pemrograman matlab untuk menghitung gaya dan daya pada mobil listrik :**

```
>> F_rr
```

```
F_rr =
```

```
Columns 1 through 6
```

```
0 4.9000 9.8000 14.7000 19.6000 24.5000
```

```
Columns 7 through 11
```

```
29.4000 34.3000 39.2000 44.1000 49.0000
```

```
>> F_hc
```

```
F_hc =
```

```
1.0e+03 *
```

```
Columns 1 through 6
```

```
0 0.4900 0.9800 1.4700 1.9600 2.4500
```

```
Columns 7 through 11
```

```
2.9400 3.4300 3.9200 4.4100 4.9000
```

```
>> F_la
```

```
F_la =
```

```
0 73.5000 147.0000 220.5000 294.0000 367.5000 441.0000 514.5000 588.0000 661.5000 735.0000
```

```
>> F_ad
```

```
F_ad =
```

```
10.4737
```



---

>> F\_te

F\_te =

1.0e+03 \*

0.0105 0.5739 1.1473 1.7157 2.2841 2.8525 3.4209 3.9893 4.5577 5.1261 5.6945

>> P

P =

1.0e+04 \*

0.0147 0.3104 1.6062 2.4019 3.1977 3.9935 4.7892 5.5850 6.3807 7.1765 7.9723

**Penjelasan dari pemograman matlab diatas adalah :**

- Frr (gaya rolling resistance)** yang dihasilkan dari beban yang bervariasi antara 0-1000kg adalah :  
Pada saat beban 0, Frr bernilai 0 ini mengindikasikan bahwa beban sangat mempengaruhi gaya rolling resistance.  
Pada saat beban mobil 300kg, Frr bernilai 14,7 N.  
Pada saat beban mobil 1000kg/1ton, Frr bernilai 49 N.
- Fhc (gaya daki bukit)** yang dihasilkan dari beban yang bervariasi antara 0-1000kg adalah :  
Pada saat beban 0, Fhc bernilai 0. Sama halnya dengan nilai yang dihasilkan Frr, sehingga Fhc sangat bergantung dengan massa mobil.  
Pada saat beban mobil 300kg, Fhc bernilai 1470 N.  
Sedangkan pada saat beban mobil 1000kg, Fhc bernilai 4900 N.
- Fla (gaya percepatan)** yang dihasilkan dari beban antara 0 hingga 1000kg adalah :  
Pada saat beban 0, Fla bernilai 0. Ini mengindikasikan bahwa Fla juga sangat dipengaruhi beban mobil.  
Pada saat beban mobil 300kg, Fla bernilai 220,5N  
Pada saat beban mobil 1000kg, Fla bernilai 735 N



4. **Fad (gaya aerodinamis)** yang dihasilkan bernilai 10,47 pada saat berbeban 0-1000kg. Berarti Fad(gaya aerodinamis) ini sama sekali tidak terpengaruh akan beban mobil listrik.

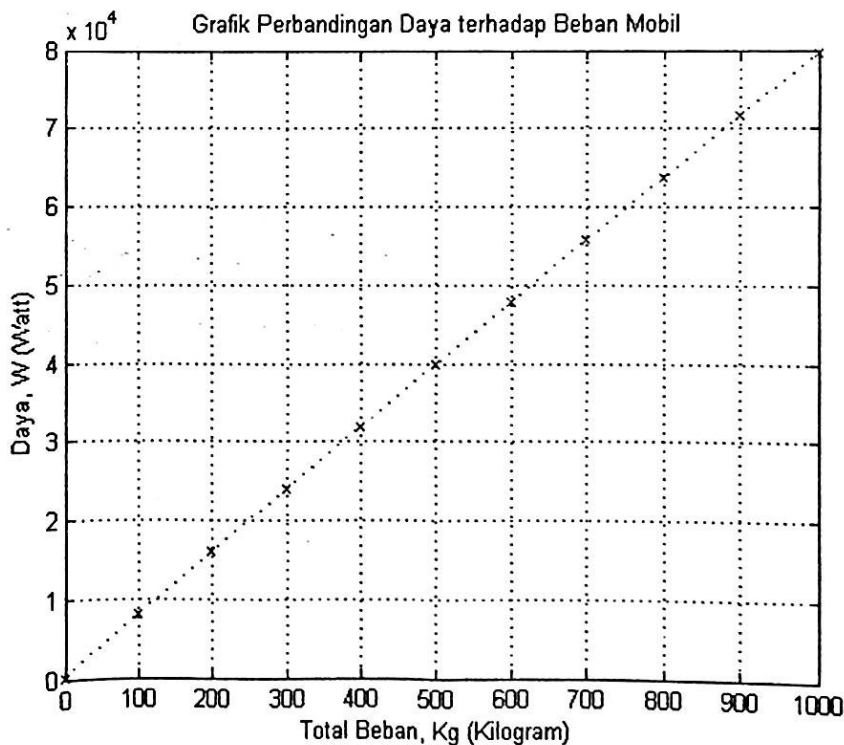
5. **F<sub>te</sub> (gaya total)**

Untuk beban 0, Fte bernilai 10,5N. Fte beban 300Kg bernilai 1715N sedangkan Fte beban 1000kg bernilai 5694 N.

6. **P (Daya)**

Untuk beban 0, P bernilai 147 Watt. Untuk beban 300kg bernilai 24kW dan beban 1000kg bernilai 79kW.

Dari analisa menggunakan matlab diatas, program tersebut dapat dijalankan dan menghasilkan gambar. Gambar tersebut berbentuk linier, yang mengindikasikan semakin berat beban mobil maka semakin besar juga daya yang akan digunakan. Gambar tersebut dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Daya terhadap Beban Mobil



---

#### 4.3.2 Menghitung kecepatan pada sudut kemiringan ( $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ )

Ketika mobil dibidang Horizontal sudut ( $0^\circ$ ) :

$$F_{hc} = mg \sin(\phi)$$

$$F_{hc} = (150 + 120) (9,8) \sin(0^\circ)$$

$$F_{hc} = 0 \text{ N}$$

Daya total dibidang Horizontal

$$F_{te} = 13,23 + 10,47 + 0 + 198,45 = 222,15 \text{ N}$$

Daya yang dibutuhkan :

$$P = F_{te} \times v$$

$$P = 222,15 \times 14 = 3110 \text{ W} \approx 3,1 \text{ kW}$$

Pada saat mobil berada dibidang datar atau jalan lurus, mobil listrik hanya membutuhkan 3,1kW dengan asumsi percepatan 14 m/s.

Mencari kecepatan yang dibutuhkan jika pada saat mobil berdaya 3,1kW

$$P = F_{hc} \times v$$

$$v = \frac{P_{horizontal}}{F_{hc}}$$

$$v = \frac{3110}{1323} = 2,35 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 8,5 \text{ km/jam}$$

Ketika mobil dibidang Horizontal sudut ( $10^\circ$ ) :

$$F_{hc} = mg \sin(\phi)$$

$$F_{hc} = (150 + 120) (9,8) \sin(10^\circ)$$

$$F_{hc} = 459,4730781 \text{ N}$$



---

**Daya total dibidang Horizontal :**

$$F_{te} = 13,23 + 10,47 + 459,4730781 + 198,45 = 681,6268281 \text{ N}$$

**Daya yang dibutuhkan :**

$$P = F_{te} \times v$$

$$P = 681,6268281 \times 14 = 9542,776 \text{ W} \approx 9,5 \text{ kW}$$

Pada saat mobil berada dibidang datar dengan sudut  $10^\circ$ , mobil listrik hanya membutuhkan 9.5 kW dengan asumsi percepatan 14 m/s.

Mencari kecepatan yang dibutuhkan jika pada saat mobil berdaya 9.5 kW

$$v = \frac{9542,776}{1323} = 7,2 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 26 \text{ km/jam}$$

**Ketika mobil dibidang Horizontal sudut ( $20^\circ$ ) :**

$$F_{hc} = mg \sin(\theta)$$

$$F_{hc} = (150 + 120) (9,8) \sin(20^\circ)$$

$$F_{hc} = 904,9852992 \text{ N}$$

**Daya total dibidang Horizontal :**

$$F_{te} = 13,23 + 10,47 + 904,9852992 + 198,45 = 1127,139049 \text{ N}$$

**Daya yang dibutuhkan :**

$$P = F_{te} \times v$$

$$P = 1127,139049 \times 14 = 15779,95 \text{ W} \approx 15,8 \text{ kW}$$

Pada saat mobil berada dibidang datar dengan sudut  $20^\circ$ , mobil listrik hanya membutuhkan 15,8 kW dengan asumsi percepatan 14 m/s.

Mencari kecepatan yang dibutuhkan jika pada saat mobil berdaya 15,8 kW

$$v = \frac{15779,95}{1323} = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 43 \text{ km/jam}$$





---

**Ketika mobil dibidang Horizontal sudut (30°) :**

$$F_{hc} = mg \sin(\phi)$$

$$F_{hc} = (150 + 120) (9,8) \sin(30^\circ)$$

$$F_{hc} = 1323 \text{ N}$$

**Daya total dibidang Horizontal**

$$F_{te} = 13,23 + 10,47 + 1323 + 198,45 = 1545,15375 \text{ N}$$

**Daya yang dibutuhkan :**

$$P = F_{te} \times v$$

$$P = 1545,15375 \times 14 = 21632,1525 \text{ W} \approx 21,6 \text{ kW}$$

Pada saat mobil berada dibidang datar dengan sudut 30°, mobil listrik hanya membutuhkan 21,6 kW dengan asumsi percepatan 14 m/s.

Mencari kecepatan yang dibutuhkan jika pada saat mobil berdaya 21,6 kW

$$v = \frac{21632,1525}{1323} = 16,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 59 \text{ km/jam}$$

#### 4.3.2.1 Menghitung Kecepatan Maksimal

Jika kita ingin mendapatkan kecepatan maksimum yang dihasilkan oleh motor dengan daya sebesar 21,6kW , maka kita harus menghitungnya sebagai berikut :

$$F_{te}(30^\circ) - F_{hc}(30^\circ) = F_{te}'$$

$$1545,15 - 1323 = 222,15 \text{ N}$$

$$\frac{P_{min}}{F_{te}'} = v'$$

$$\frac{21632,15}{222,15} = 97 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 350 \text{ km/jam}$$



---

#### 4.3.2.2 Analisa Menggunakan Program Matlab Pada sudut kemiringan.

```
clc
clear
close

mu = 0.005; % koefisien gesekan
m = 270; % Massa Mobil
g = 9.8; % gravitasi bumi
theta = 0:pi/36:pi/6; % Sudut daki yg ditempuh 0-30
rho = 1.25; % kerapatan udara
A = 0.45; % Luas Bidang frontal
Cd = 0.19; % konstanta koefisien gesekan
v = 14; % kecepatan
ma = 1.05 * m;
a = 0.7;
F_rr = mu * m * g ; % gaya rolling resistance
F_ad = 1/2 * rho * A * Cd * v^2 ; % Gaya Aerodynamic
F_hc = m*g*sin(theta); % Gaya Daki Bukit
F_la = ma * a ; % Gaya Percepatan
F_te = F_rr + F_ad + F_hc + F_la ; % Gaya total
P = F_te * v; % Daya yang dibutuhkan

figure

subplot(3,1,1)
plot(theta,F_hc,'r:x');
xlabel('sudut, (\theta)');
ylabel('Gaya_Daki, F_hc (Newton)')
title( 'F_hc Vs Sudut');
grid on

subplot(3,1,2)
plot(theta,F_te,'b:x');
xlabel('sudut, (\theta)');
ylabel('Gaya_total, F_te (Newton)')
title( 'F_te Vs Sudut');
grid on

subplot (3,1,3)
plot(theta,P,'g:x') ;
xlabel('sudut, (\theta)');
ylabel('Daya, P (Watt)')
title( 'P Vs Sudut');
grid on
```



>> F\_rr

F\_rr =

13.2300

>> F\_ad

F\_ad =

10.4737

>> F\_hc

F\_hc =

1.0e+03 \*

0 0.2306 0.4595 0.6843 0.9050 1.1182 1.3230

>> F\_la

F\_la =

193.4500

>> F\_te

F\_te =

1.0e+03 \*

0.2222 0.4528 0.6816 0.9070 1.1271 1.3404 1.5452

>> P

P =

1.0e+04 \*

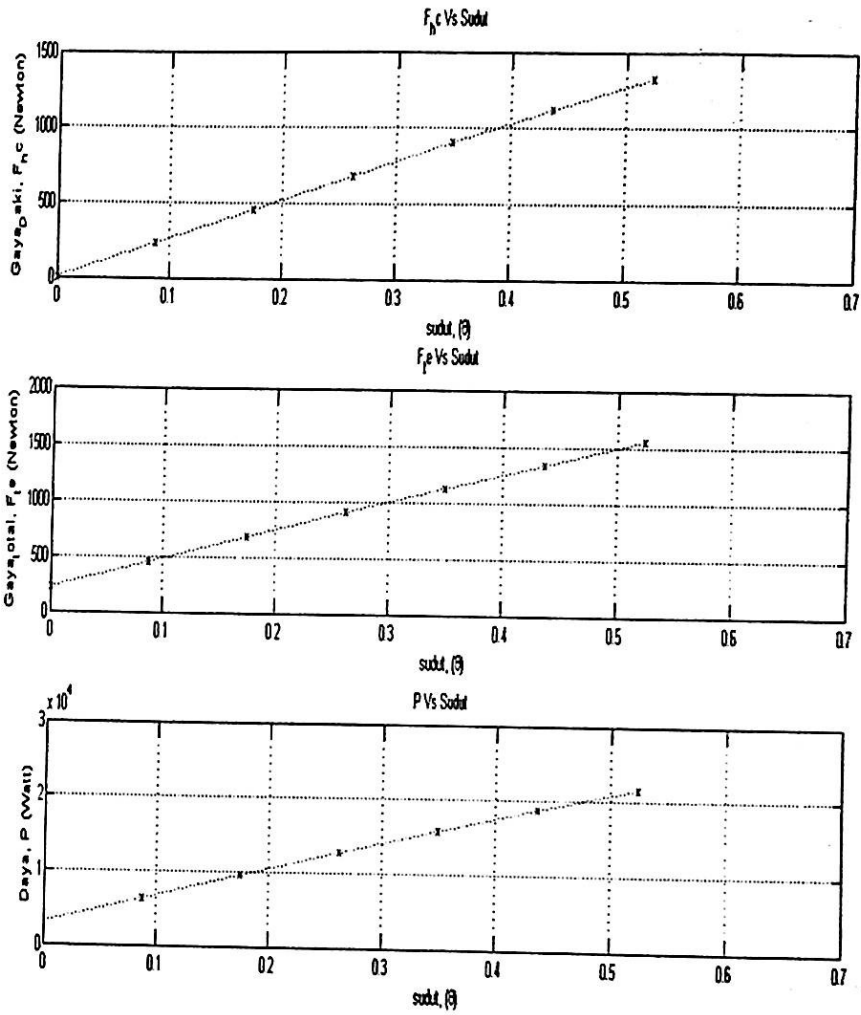
0.3110 0.6339 0.9543 1.2698 1.5780 1.8766 2.1632



**Penjelasan dari pemograman matlab diatas adalah :**

1. **Frr (gaya rolling resistance)** yang dihasilkan dari sudut yang bervariasi antara 0-30° adalah : 13,23 N
2. **Fad (gaya aerodinamis)** yang dihasilkan dari sudut yang bervariasi antara 0-30° adalah : 10,47 N
3. **Fla (gaya percepatan)** yang dihasilkan dari sudut yang bervariasi antara 0-30° adalah : 198,4 N
4. **Fhc (gaya daki)** yang dihasilkan dari sudut 0 adalah : 0. Untuk sudut 5° Fhc memiliki nilai 230 N. Untuk sudut 15°, Fhc memiliki nilai 684 N. Untuk sudut ekstrim 30° memiliki nilai 1323 N.
5. **Fte (gaya total)** yang dihasilkan dari sudut 0 hingga 30° adalah : 222 N, 452 N, 681 N, 907N, 1127 N, 1340 N, 1545 N.
6. **P (Daya)** yang dihasilkan dari sudut 0 hingga 30° adalah : 3.1 kW , 6.3 kW , 9.5 kW, 12kW , 15 kW, 18kW , 21kW

Dari analisa menggunakan matlab diatas, program tersebut dapat dijalankan dan menghasilkan gambar. Gambar tersebut berbentuk linier, yang mengindikasikan semakin tinggi sudut bidang miring yang terbentuk pada jalan, maka semakin besar juga gaya daki, gaya total, dan daya yang akan digunakan. Gambar tersebut dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4.2 Gambar Perbandingan Sudut vs Daya, Gaya Daki, Gaya Total



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari Tugas Akhir ini sebagai berikut :

1. Pemilihan motor dc yang cocok adalah motor dc seri karena motor dc seri memiliki karakteristik torsi sebesar  $I^2$ . Dengan karakteristik tersebut, motor dc seri memiliki starting yang tepat untuk beban mobil listrik yang memiliki beban yang besar.
2. Dalam analisa pada bab IV, daya yang dihasilkan untuk sudut  $30^\circ$  adalah sebesar 21,6kW dengan kecepatan yang ditempuh sebesar 16.3 m/s atau 59 km/jam. Jika dibandingkan mobil hybrid secara umum yang memiliki kecepatan 50 km/jam, maka analisa ini sudah memenuhi syarat. Untuk daya 3,1kW didalam lintasan bidang datar (sudut  $0^\circ$ ), mobil juga mampu dijalankan dengan kecepatan 2,35 m/s atau 8,5 km/jam, dengan kata lain, daya 3,1kW mampu menggerakkan mobil dengan beban total 270 Kg.

#### 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan agar dikemudian hari Tugas Akhir ini dapat menjadi lebih baik dan dapat dijadikan salah satu sumber inspirasi untuk pemilihan motor pada pembuatan mobil listrik.

1. Perlunya peninjauan khusus terutama pada pemakaian koefisien rolling resistance pada perhitungan gaya rolling resistance.
  2. Perlunya perhitungan secara mekanik pada ban, gearbox, transmisi, dan bidang frontal pada pembuatan mobil listrik selanjutnya agar mendapatkan daya yang optimal sehingga tidak terjadi pemborosan pada pembelian motor dc selanjutnya.
-