



**PENGARUH DIAMETER KUMPARAN ARMATURE  
TERHADAP TORSI DAN DAYA MOTOR LISTRIK**

**SKRIPSI**

**Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana  
Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif**

**oleh**

**Ratna Kumalasari**

**5202413026**

**JURUSAN TEKNIK MESIN**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2019**



**UNNES**

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

**PENGARUH DIAMETER KUMPARAN ARMATURE  
TERHADAP TORSI DAN DAYA MOTOR LISTRIK**

**PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Nama : Ratna Kumalasari  
NIM : 5202413026  
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif  
Judul : Pengaruh Diameter Kumparan Armature Terhadap  
Torsi dan Daya Motor Listrik

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian  
Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas  
Negeri Semarang.

Semarang, November 2019

Pembimbing 1,

Pembimbing 2,



Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., ST., MT  
NIP. 196901061994031003



Dr. M Burhan Rubai Wijaya, M.Pd  
NIP. 196302131988031001

## PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Pengaruh Diameter Kumparan Armature Terhadap Torsi dan Daya Motor Listrik telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 8/4/2019.

Oleh

Nama : Ratna Kumalasari  
NIM : 5202413026  
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif S1

Panitia:

Ketua



Rusiyanto, S.Pd., M.T.  
NIP. 197403211999031002

Sekretaris



Wahyudi, S.Pd., M.Eng.  
NIP. 198003192005011001

Penguji 1



Angga Septiyanto, S.Pd, M.T.  
NIP.198709112019031012

Penguji2/ Pembimbing 1



Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., ST., MT  
NIP.196901061994031003

Penguji3/Pembimbing 2



Dr. M Burhan Rubai W, M.Pd  
NIP. 196302131988031001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang



Dr. Nur Qudus, M.T.,IPM.  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik Sarjana, baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, November 2019

Yang membuat pernyataan,



Ratna Kumalasari

NIM.5202413026

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

Pendidikan merupakan perlengkapan paling baik untuk hari tua (Aristoteles)

Jika dunia dan akhirat datang melayanimu dengan tanpa susah payah, ketuklah pintu Tuhanmu dan menetap di dalamnya, akan jelaslah bagimu seperti “buah fikiran” (Syech Abdul Qodir Jaelani)

Bukanlah kesabaran jika masih mempunyai batas, dan bukanlah keikhlasan jika masih merasakan sakit.

### **PERSEMBAHAN**

Untuk Bapak Dalawi, Ibu Sri Lestari, Wahyu Ciswanto, Teguh Imam Wicaksono dan seluruh keluarga tercinta

## RINGKASAN

**Ratna Kumalasari. 2019.** Pengaruh Diameter Kumparan Armature Terhadap Torsi dan Daya Motor Listrik. Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., ST., MT dan Dr. M Burhan Rubai Wijaya, M.Pd. Pendidikan Teknik Otomotif

Peningkatan perkembangan zaman dengan diirigi kemajuan teknologi yang semakin pesat khususnya dibidang otomotif, mengakibatkan semakin besar penggunaan energi yang bersumber dari bahan bakar fosil, khususnya minyak bumi, mengalami goncangan yang sangat hebat ketika harga minyak dunia mengalami kenaikan. Maka dimulailah era baru dengan berkembangnya teknologi motor listrik yang ada di Indonesia. Motor listrik DC dalam proses mengubah energi listrik menjadi energi mekanik mengalami kerugian (kehilangan).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi diameter kumparan armature terhadap torsi motor listrik pada motor listrik DC magnet permanen dengan variasi diameter kumparan armature 0,5mm; 0,6mm; dan 0,7mm

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen, dimana torsi dan daya diuji menggunakan dinamometer. Prosedur penelitian dimulai dari perancangan alat dan bahan, bervariasi diameter lilitan armature, melakukan pengujian torsi dan daya, menganalisis data, kemudian melakukan kesimpulan. Data hasil penelitian yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode analisis statistik deskriptif.

Hasil penelitian yang didapatkan menunjukkan adanya perbedaan torsi dan daya yang dihasilkan motor listrik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan diameter kumparan 0,7mm membuat torsi dan daya rata-rata motor listrik mencapai puncaknya dengan torsi rata-rata 1,17Nm dan daya rata-rata 184,09W. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa diameter kumparan armature mempengaruhi torsi dan daya motor listrik. Diameter kumparan armature 0,7mm menghasilkan torsi dan daya paling optimal. Saran peneliti untuk penelitian selanjutnya bahwa diameter kumparan armature 0,7mm cocok digunakan untuk motor listrik dengan torsi dan daya yang kecil.

Kata kunci: *daya, kumparan armature, motor listrik, dan torsi,*

## **PRAKATA**

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan proposal Skripsi ini yang berjudul “Pengaruh Gaya Tekan Pegas Sikat Komutator Terhadap Torsi Dan Daya Motor Listrik”.

Pada kesempatan ini tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada semua pihak yang telah membantu, baik dalam pelaksanaan observasi, praktik, maupun penyusunan proposal ini, diantaranya:

1. Bapak Dr. Nur Qudus, M.T., Dekan Fakultas Teknik UNNES.
2. Bapak Rusiyanto, S.Pd.,M.T., Ketua Jurusan Teknik Mesin UNNES.
3. Bapak Dr. Dwi Widjanarko, S.Pd., S.T., M.T., Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif.
4. Bapak Dr. Dwi Widjarnako, S.Pd., S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Skripsi 1 yang dengan sabar membantu, memberikan waktu, dan bimbingan dalam penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Dr. M Burhan Rubai Wijaya M.Pd., selaku Dosen Pembimbing Skripsi 2 yang dengan sabar membantu, memberikan waktu, dan bimbingan dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Dosen Penguji Angga Septiyanto, S.Pd.,M.T., yang berkenan membantu, memberikan waktu, dan menjadi penguji dalam penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Dalawi ,Ibu Sri Lestari dan Kakak Wahyu Ciswanto tersayang yang selalu memberi dukungan do'a dan segalanya untuk dapat menyelesaikan studi dengan baik.

8. Teguh Imam Wicaksono yang selalu membantu, memberi dukungan do'a dan segalanya untuk dapat menyelesaikan studi dengan baik.
9. Para sahabatku dan teman satu bimbingan Arief, Angwar, Widi, Heri, Rifki, Supri, Dodi, Yusi, Arya, Tabah dan teman lainnya yang tak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan saat penyusunan skripsi ini.
10. Rekan-rekan Pendidikan Teknik Otomotif angkatan 2013 dengan kebersamaan dan semangatnya.
11. Seluruh pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini yang tidak bisa dituliskan satu persatu.

Semoga bantuan yang telah diberikan mendapatkan imbalan dari Allah SWT. Oleh karena itu, kritik dan saran membangun penulis terima dengan senang hati. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat, baik bagi penulis maupun pembaca.

Semarang, Oktober 2019



Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR BERLOGOw .....	ii
JUDUL DALAM .....	iii

### Table of Contents

PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	Error! Bookmark not defined.
PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Error! Bookmark not defined.
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	vii
RINGKASAN .....	viii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	3
1.3 Pembatasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian .....	4
1.6 Manfaat Penelitian .....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI .....	5
2.1 Landasan Teori .....	5
2.2 Kajian Penelitian yang Relevan.....	26
2.3 Kerangka Berfikir Penelitian.....	28
2.4 Hipotesis Penelitian.....	29
BAB III METODE PENELITIAN.....	30
3.1 Bahan Penelitian .....	30
3.2 Alat dan Skema Peralatan Penelitian.....	31

<b>3.3</b>	<b>Prosedur Penelitian.....</b>	<b>34</b>
<b>3.4</b>	<b>Proses Penelitian .....</b>	<b>35</b>
<b>3.5</b>	<b>Data Penelitian .....</b>	<b>37</b>
<b>3.6</b>	<b>Analisis Data.....</b>	<b>38</b>
	<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>Deskripsi Data .....</b>	<b>40</b>
<b>4.2</b>	<b>Analisis Data.....</b>	<b>41</b>
<b>4.3</b>	<b>Pembahasan.....</b>	<b>46</b>
	<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>50</b>
<b>5.1</b>	<b>Simpulan .....</b>	<b>50</b>
<b>5.1</b>	<b>Saran .....</b>	<b>51</b>
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>52</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>54</b>

## DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

<b>Singkatan</b>	<b>Arti</b>
BHP	<i>Brake House Power</i>
cm	centimeter
DC	<i>Direct Current</i>
FT	Fakultas Teknik
HP	Horse Power
J/s	Joule per detik
Kg	Kilogram
kW	KiloWatt
Lab	Laboratorium
<i>mmf</i>	<i>Magnetomotive force</i>
Rpm	Rotasi Per Menit
Unnes	Universitas Negeri Semarang
<b>Lambang</b>	<b>Arti</b>
$n$	Jumlah data
$\bar{X}$	Rerata
$\sum X$	Jumlah tiap data
(-)	Negatif
(+)	Positif
A	Luas penampang (m <sup>2</sup> )
b	Panjang lengan gaya/jari-jari (m)
B	Kerapatan <i>fluks magnetic</i> (Wb/m <sup>2</sup> )

d	Diameter kawat (m)
F	Gaya (N)
g	Percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ )
I	Arus listrik (ampere)
i	Arus (A)
$I_a$	Arus jangkar
$I_f$	Arus medan
m	Massa/beban
n	Putaran motor (rpm)
P	Daya (Nm/menit)
R	Hambatan ( $\Omega$ )
r	Jari-jari rotor (meter)
T	Torsi (Nm)
V	Tegangan (volt)
W	Besar beban (Nm)
$\rho$	Hambat jenis ( $\Omega.m$ )
$\Omega$	Hambatan
$\omega$	Kecepatan sudut (rad/s)

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Lembar Pengambilan Data Penelitian Gaya Motor Listrik.....	35
Tabel 3.2 Lembar Pengambilan Data Penelitian Torsi Motor Listrik.....	35
Tabel 3.3 Lembar Pengambilan Data Penelitian Daya Motor Listrik.....	36
Tabel 4.1 Data Hasil Pengukuran Gaya Motor Listrik .....	38
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Torsi Motor Listrik.....	39
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Daya Motor Listrik.....	41

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Prinsip Perputaran Motor DC.....	6
Gambar 2.2. Konstruksi Motor Listrik Arus Searah .....	8
Gambar 2.3. Armature.....	9
Gambar 2.4. Medan Magnet pada Penghantar dan Kutub Magnet .....	13
Gambar 2.5. Aturan Tangan Kiri untuk Prinsip Kerja Motor DC .....	13
Gambar 2.6. Model Kerja Motor DC .....	14
Gambar 2.7. Penampang Motor DC Magnet Permanen .....	16
Gambar 2.8. Schematic of principle of operation of dynamometer .....	24
Gambar 2.9. Grafik Daya dan Torsi vs Rpm DC Motor secara teoritis.....	25
Gambar 2.10. Kerangka Berfikir.....	13
Gambar 3.1. Motor Listrik .....	29
Gambar 3.2. AVO meter .....	30
Gambar 3.3. Tachometer.....	30
Gambar 3.4. Dinamometer .....	31
Gambar 3.5. Timbangan.....	31
Gambar 3.6. Skema Penelitian .....	32
Gambar 3.7. Diagram Alir Penelitian .....	33
Gambar 4.1. Grafik Hubungan Torsi dan Putaran pada Motor Listrik .....	40
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Torsi dengan Variasi Diameter Kumparan Armature .....	41
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Daya dengan Putaran pada Motor Listrik .....	42
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Daya dengan Dengan Diameter Kumparan Armature .....	43

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengujian Massa Pada Motor Listrik .....	54
Lampiran 2. Penghitungan Gaya.....	55
Lampiran 3. Penghitungan Torsi.....	57
Lampiran 4. Perhitungan Daya .....	59
Lampiran 5. Hambatan Jenis.....	61
Lampiran 6. Perhitungan Kuat Arus (i) dan Hambatan (R).....	62
Lampiran 7. Surat Tugas Dosen Penguji.....	64
Lampiran 8. Presensi Seminar Proposal Skripsi .....	65
Lampiran 9. Surat Tugas Dosen Pembimbing .....	66
Lampiran 10. Dokumentasi.....	67

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Seiring dengan semakin pesatnya perkembangan zaman semakin berkembang pula ilmu pengetahuan dan teknologi. Hal ini tentunya memberikan dampak pada berbagai sektor terutama disektor industri, sehingga manusia harus berfikir lebih keras lagi untuk mengikuti perkembangan zaman.

Era baru dengan berkembangnya teknologi motor listrik yang ada di Indonesia. Motor listrik memiliki peran penting dalam dunia industri karena dengan menggunakan motor listrik ini dapat memudahkan pelaksanaan produksi dan waktu penggunaan produksi menjadi relatif singkat. Penggunaan motor listrik juga semakin berkembang karena memiliki keunggulan dibandingkan motor bakar atau *internal combustion engine* pada umumnya, diantaranya adalah dapat menghasilkan torsi yang besar pada rpm yang rendah, kebisingan dan vibrasinya rendah, serta memiliki efisiensi yang sangat tinggi dalam merubah daya listrik ke tenaga gerak (Wengi, H.R dan M. N. Yuniarto, 2014).

Salah satu jenis motor listrik yang sering digunakan adalah motor DC. Motor listrik DC adalah perangkat elektromagnetis yang merubah energi listrik aliran searah menjadi energi mekanik. Energi mekanik dari motor listrik DC akan menghasilkan gaya yang dapat menggerakkan benda (torsi).

Sedangkan komponen utama dari motor tersebut adalah kumparan medan atau stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar atau rotor (bagian yang berputar). Stator dan rotor keduanya dialiri arus listrik dari sumber tegangan DC. Pada kumparan stator akan menghasilkan arus medan ( $I_f$ ) sehingga timbul fluksi magnet dengan arah dari kutub utara menuju kutub selatan. Sedangkan pada rotor timbul arus jangkar ( $I_a$ ) dan menghasilkan fluksi magnet dengan arah yang melingkar. Kedua fluksi magnet dengan arah berbeda mengalami interaksi yang menurut hukum Lorentz akan menghasilkan gaya mekanik pada konduktor jangkar (Putra dan riswan, 2014). Gaya pada motor listrik tersebut dipengaruhi oleh kerapatan fluks magnetik ( $B$ ), arus yang mengalir pada konduktor ( $I$ ), panjang konduktor ( $l$ ), dan jumlah kumparan pada armatur ( $Z$ ). Dan gaya yang timbul pada rotor tersebut akan menghasilkan momen putar atau torsi ( $T$ ). Torsi yang dihasilkan oleh motor tersebut dirumuskan dengan hasil perkalian antara gaya ( $F$ ) dan jari-jari rotor ( $r$ ). Dan daya dari motor listrik tersebut dipengaruhi oleh Torsi putaran motor listrik.

Menurut Shrivastava dan Pawar (2016: 61-63) menyatakan bahwa kerugian utama dari motor DC, khususnya tipe magnet permanen adalah terbatas pada jumlah muatan, karena ukurannya yang lebih kecil. Motor ini juga memiliki aplikasi *horsepower* yang rendah. Kelemahan lainnya adalah torsiya terbatas pada 150% dari nilai torsi untuk mencegah demagnetisasi magnet permanen yang digunakan pada motor.

Menurut Soni (2014:5) untuk mengatur kecepatan putar kumparan rotor cara yang biasa dilakukan yaitu dengan mengatur tahanan pada kumparan stator maupun rotor dan mengatur tegangan listrik yang masuk pada kumparan rotor.

Lalu perubahan tenaga listrik menjadi tenaga mekanik pada motor listrik dilakukan dengan mengubah tenaga listrik menjadi magnet yang disebut sebagai elektromagnetik. Elektromagnetik timbul sebagai hasil induksi lilitan kumparan kawat tembaga. Setiap motor listrik memiliki perbedaan diameter lilitan karena kebutuhan tegangan yang berbeda. Perbedaan diameter lilitan armatur tersebut akan berdampak pada besarnya daya dan torsi yang dihasilkan pada motor listrik.

## **1.2 Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, terdapat beberapa masalah yang teridentifikasi, yaitu :

1. Penggunaan motor listrik lebih singkat dan efisien waktu
2. Motor DC magnet permanen torsinya terbatas sedangkan dibutuhkan torsi yang tinggi pada putaran tertentu.
3. Motor DC magnet permanen memiliki jumlah muatan yang terbatas dan memiliki aplikasi *horsepower* yang rendah

## **1.3 Pembatasan Masalah**

Permasalahan dalam penelitian ini dibatasi pada motor DC magnet permanen yang memiliki jumlah muatan terbatas dan memiliki aplikasi *horsepower* yang rendah padahal dibutuhkan daya yang tinggi, sehingga akan dilakukan variasi diameter lilitan armatur sebesar 0.5 mm , 0.6 mm , dan 0.7 mm untuk mengetahui diameter lilitan yang mempunyai daya dan torsi terbesar.

#### **1.4 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh diameter kumparan armatur terhadap torsi motor listrik?
2. Bagaimana pengaruh diameter kumparan armatur terhadap daya motor listrik?

#### **1.5 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh diameter kumparan armatur terhadap torsi motor listrik
2. Mengetahui pengaruh diameter kumparan armatur terhadap daya motor listrik.

#### **1.6 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Mengetahui diameter lilitan armatur yang tepat agar menghasilkan torsi motor listrik yang sesuai keinginan.
2. Mengetahui diameter lilitan armatur yang tepat agar menghasilkan torsi motor listrik yang sesuai keinginan.
3. Hasil penelitian ini dapat dijadikan bahan dan rujukan penelitian lebih lanjut tentang pengembangan motor listrik.

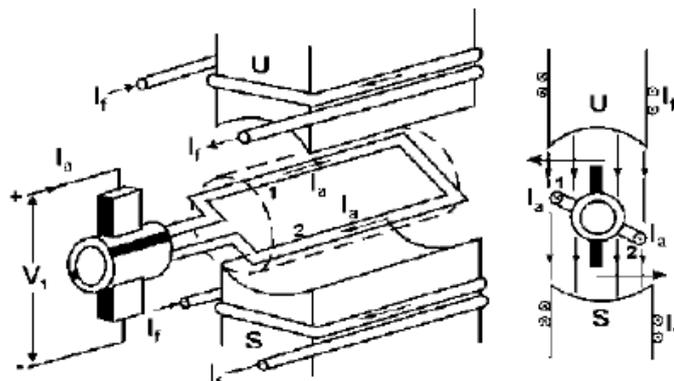
## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Landasan Teori

##### 2.1.1 Motor DC

Motor listrik DC adalah perangkat elektromagnetis yang merubah energi listrik aliran searah menjadi energi mekanik. Sedangkan perangkat yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik dinamakan generator (Soni, 2014). Energi mekanik dari motor listrik DC akan menghasilkan gaya yang dapat menggerakkan benda (torsi). Dalam mobil listrik, motor digunakan untuk menghasilkan gerak rotasi (gerak putar). Gerak rotasi tersebut disalurkan ke roda, sehingga mobil dapat berjalan.



Gambar 2.1. Prinsip Perputaran Motor DC  
(Putra dan Riswan, 2014)

Komponen utama pada motor DC seperti kumparan medan atau stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar atau rotor (bagian yang berputar). Stator dan rotor keduanya dialiri arus listrik dari sumber tegangan DC. Pada kumparan stator akan menghasilkan arus medan ( $I_f$ ) sehingga timbul medan magnet dengan arah dari kutub utara menuju kutub selatan. Sedangkan pada rotor

timbul arus jangkar ( $I_a$ ) dan menghasilkan medan magnet dengan arah yang melingkar. Kedua medan magnet dengan arah berbeda mengalami interaksi yang menurut hukum Lorentz akan menghasilkan gaya mekanik pada konduktor jangkar. Gaya tersebut dapat dihitung dengan persamaan 1 (Putra dan Riswan, 2014).

$$F = B \cdot i \cdot l$$

Dimana:

F = gaya yang bekerja pada konduktor (N)

B = kerapatan *medan magnetic* ( $\text{Wb/m}^2$ )

i = arus yang mengalir pada konduktor (A)

l = panjang konduktor (m)

Kekuatan gaya Lorentz akan dipengaruhi oleh faktor-faktor dalam rumusan di atas. Jika penghantar dalam medan magnet tersebut dalam jumlah lebih dari satu, maka kekuatan gaya Lorentz akan sebanding dengan jumlah penghantar. Jadi rumusan di atas dikalikan jumlah penghantar (z). Gaya yang timbul pada rotor akan menghasilkan momen putar atau torsi. Torsi yang dihasilkan oleh motor dapat ditentukan dengan persamaan 2 (Raharjo dan Karnowo, 2008: 98).

$$T_a = F \cdot r$$

Dimana:

$T_a$  = torsi rotor (Nm)

r = jari-jari rotor (meter)

Selain torsi, salah satu besaran penting dari sebuah motor adalah daya. Besar daya dari suatu motor arus searah dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Heywood, 1998: 46):

$$P = 2.\pi.n.T$$

Dimana:

P = daya (Watt)

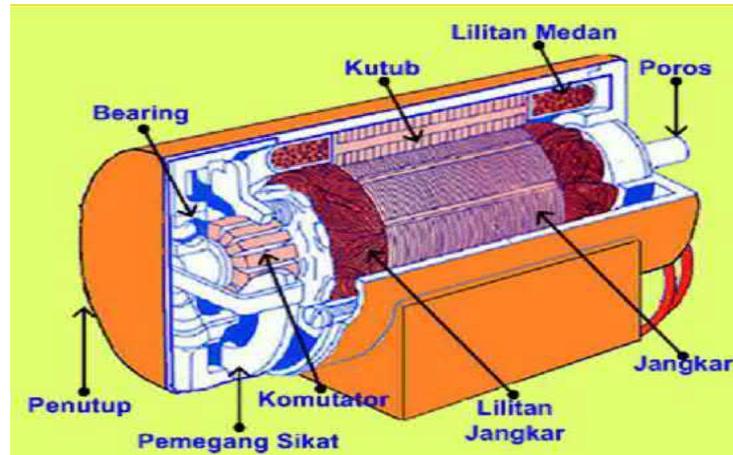
n = putaran motor (rpm)

T = torsi rotor (Nm)

Berdasarkan dua persamaan di atas, dalam mobil listrik untuk mendapatkan torsi yang besar, maka salah satu cara yang bisa dilakukan adalah dengan menambah arus yang mengalir pada motor listrik DC. Sedangkan untuk mengatur kecepatan putar kumparan rotor, menurut Soni, (2014:5) cara yang biasa dilakukan yaitu dengan mengatur tahanan pada kumparan stator maupun rotor dan mengatur tegangan listrik yang masuk pada kumparan rotor. Dan beberapa karakteristik motor DC (Frank, 1996 : 343) diantaranya adalah torsi tinggi pada kecepatan rendah, pengaturan kecepatan bagus pada seluruh rentang, kemampuan mengatasi beban lebih baik, secara fisik lebih besar dibandingkan dengan motor AC untuk HP yang sama, perawatan dan perbaikan yang diperlukan lebih rutin.

### **2.1.2 Konstruksi Motor Listrik Arus Searah (DC)**

Menurut konstruksinya Mesin DC (apakah sebuah generator atau motor) terdiri dari 4 bagian utama 1. *Fields Magnet*, 2 *Armature*, 3 *Commutator*, 4. *Brush* dan *Brush Gear* (Gupta, 2001).



Gambar 2.2. Konstruksi Motor Listrik Arus Searah

(Sumardjati, et al., 2008)

a. *Field Coil*

Benda dari *field system* adalah untuk membuat sebuah kesatuan *magnetic field*, di dalam rotasi armatur. Elektromagnet dipilih pada perbandingan dengan magnet permanen pada *account* dari efek magnetik yang lebih besar dan pengaturan kekuatan *field* nya yang dapat dicapai dengan mengontrol arus magnetisasi. *Field magnet* terdiri dari 4 bagian, diantaranya: 1. *Yoke* atau *Frame*, 2. *Pole cores* 3. *Pole Shoes*, 4. *Magnetizing Shoes*. Kumparan medan berfungsi untuk menyediakan berbagai kondisi operasi jumlah putaran amper eksitasi yang diperlukan untuk memberikan medan tepat melalui armatur untuk menginduksi perbedaannya potensial yang diinginkan. Medan magnetik yang diproduksi oleh mmf dikembangkan oleh kumparan medan melewati potongan kutub, celah udara, inti armatur eksitasi. Pada kumparan paralel, banyak menggunakan kawat dengan luas yang kecil sedangkan pada kumparan seri beberapa menggunakan luas penampang silang yang lebih luas dan pada kumparan *compound* keduanya digunakan baik kumparan seri maupun paralel (Gupta, 2001).

## b. Armatur

Armatur adalah sebuah bagian berotasi dari sebuah Mesin DC dan dibangun pada sebuah silinder atau bentuk drum. Tujuan dari armatur adalah untuk merotasi konduktor pada bentuk *magnetic field*. Armatur terdiri dari lilitan kawat yang dililitkan di sekitar besi dan begitu tertata sehingga arus listrik diinduksikan pada kabel ini ketika armatur diputar dalam sebuah medan magnet.



Gambar 2.3 Armature

Cara kerja dari armature itu sendiri adalah ketika arus listrik yang dialirkan dari sumber (aki) menuju ke kumparan rotor (armature) maka akan terinduksi sehingga timbul medan magnet, yang tercipta antara kumparan Armature dengan medan magnet yang muncul pada kumparan medan (Field Coil) akan saling bereaksi dan saling tolak menolak sehingga terbentuk gerak berputar pada armature. Selain itu, fungsi yang paling penting adalah untuk memberikan jalan *reluctance* yang sangat rendah pada medan magnet. Inti armatur terbuat dari silikon baja permeabilitas tinggi, masing-masing stamping dipisahkan dari satu dengan yang lainnya menggunakan kertas tipis atau lapisan pernis yang tipis sebagai isolasi. Celah udara kecil berada di antara potongan kutub dan armatur sehingga tidak akan ada gesekan dalam mesin. Namun gab ini dibuat sekecil mungkin, karena celah udara yang lebih besar pada mmf diperlukan untuk menciptakan medan (Gupta, 2001). *Counter-emf* membantu tahanan armatur

untuk membatasi arus melalui armatur. Ketika laju daya pertama kali diaplikasikan ke motor, armatur tidak berotasi. Seketika *counter emf* nya adalah 0 dan satu-satunya faktor pembatas arus armatur adalah tahanan armatur (Soni, 2014).

c. Komutator (*commutator*)

Komutator adalah bentuk dari *switch* berputar yang ditempatkan di antara armatur dan sirkuit eksternal dan begitu tertata sehingga komutator akan membalikkan hubungan ke sirkuit eksternal pada instan di setiap pembalikan arus di kumparan armatur. Ini adalah bagian yang sangat penting dari mesin DC dan memiliki tujuan menyediakan hubungan listrik antara kumparan armatur yang berputar dan sirkuit eksternal stasioner, sebagai putaran armatur, komutator membalikkan tegangan listrik kumparan armatur serta hasilnya pada sebuah tegangan DC output, dan komutator juga menjaga jarak rotor atau stasioner mmf armatur (Gupta, 2001).

*Commutator* pada dasarnya adalah struktur silinder dan dibangun atas segmen berbentuk baji dari tembaga *hard drawn* dengan konduktivitas yang tinggi atau tembaga *drop forged*. Segmen dikaitkan satu sama lain oleh lapisan tipis dari mika. Mika jauh lebih disukai tetapi tidak dapat digunakan untuk komutator besar karena kesulitan mendapatkan lembaran besar, membuat biaya dari segmen mika yang besar menjadi mahal. Segmen dengan biaya yang kecil lebih sering digunakan untuk *commutators* kecil. Segmen-segmen dikaitkan satu sama lain dengan dua gelang berbentuk V yang masuk ke alur V dan dipotong menjadi segmen (Gupta, 2001).

d. Sikat (*brushes*)

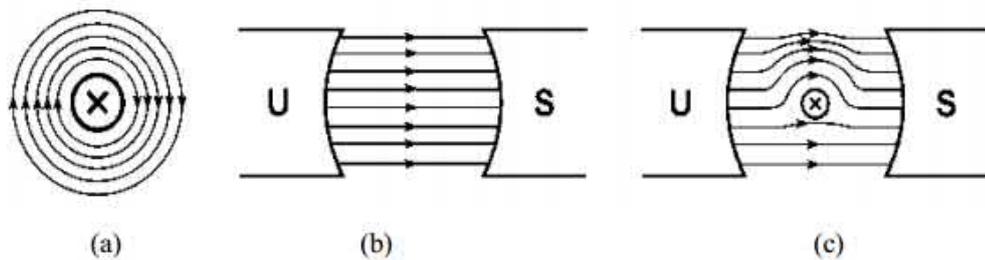
Fungsi sikat adalah untuk mengumpulkan arus dari *commutator* dan menyalurkannya untuk sirkuit beban eksternal (armatur mesin yang terhubung ke sirkuit beban eksternal melalui *commutator* dan sikat). Sikat persegi panjang bentuk dan sisanya di *commutator*. Sikat diproduksi dalam berbagai komposisi dan derajat kekerasan sesuai dengan persyaratan *commutator*. Mereka dapat diklasifikasikan kira-kira sebagai karbon, karbon grafit, grafit, grafit logam dan tembaga (Gupta, 2001).

### **2.1.3 Prinsip Kerja Motor DC**

Motor DC adalah contoh sederhana penerapan prinsip kemagnetan. Putaran motor tergantung dari interaksi medan magnet. Konstruksi motor DC sama seperti generator DC. Pada kenyataannya, motor dan generator DC pemakaiannya bisa saling menukar, dan disebut sebagai mesin DC. Agar motor bisa lebih bertenaga magnet permanen dapat diganti dengan elektromagnetis (Daryanto, 2011). Sebuah motor listrik adalah suatu mesin yang mengubah energi masukan listrik menjadi energi keluaran mekanik atau gerak, jadi pada dasarnya sebuah mesin arus searah bisa difungsikan sebagai motor atau generator.

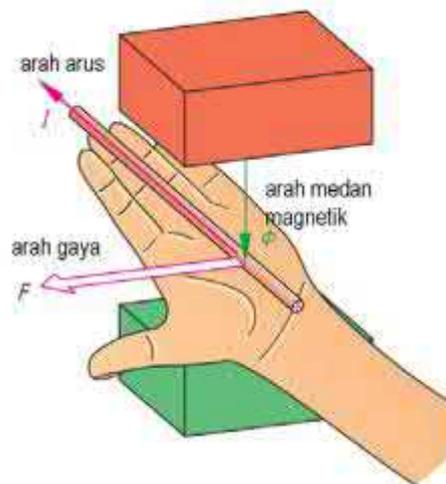
Bila suatu penghantar yang dialiri arus ditempatkan dalam suatu medan magnet, maka akan timbul gaya yang besarnya  $F = B \cdot I \cdot L$  (Nw). Arah gaya  $F$  dapat ditentukan berdasarkan hukum tangan kiri Flemming. Gaya yang terjadi pada motor arus searah tergantung pada besarnya arus yang melewati jangkar dan medan magnet dari medan magnet (penguat). Bila belitan (jangkar) telah berputar, maka dalam belitan itu akan timbul suatu tegangan yang arahnya berlawanan dengan tegangan yang disuplai dari luar, dan ini disebut GGL lawan (Sumardjati, et al., 2008).

Menurut Parhan (2013), Sepotong penghantar digantung dengan plat penghantar pipih diletakkan di antara kutub magnet U-S. Amati penghantar jika penghantar dialiri arus. Penghantar ini dapat bergerak karena adanya medan magnet diseputar penghantar yang dialiri arus dan dengan medan magnet dari kutub U ke S.



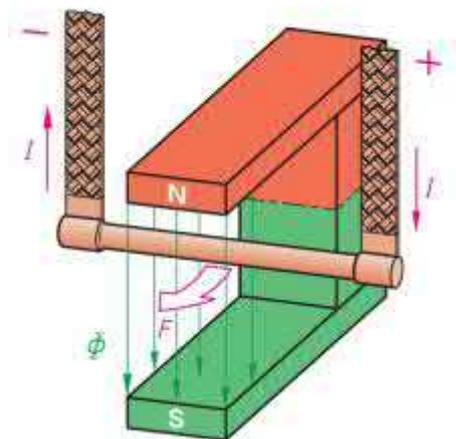
Gambar 2.4. Medan Magnet pada Penghantar dan Kutub Magnet  
(Sumardjati, et al., 2008)

Gambar tersebut menunjukkan penampang penghantar dengan arah arus meninggalkan kita, maka medan magnet penghantar akan berputar ke kanan. Gambar lainnya memperlihatkan medan magnet dari kutub U menuju kutub S. Prinsip motor listrik berdasarkan pada kaidah tangan kiri. Sepasang magnet permanen utara - selatan menghasilkan garis medan magnet, kawat penghantar diatas telapak tangan kiri ditembus garis medan magnet. Jika kawat dialirkan arus listrik DC sebesar  $I$  searah keempat jari tangan, maka kawat mendapatkan gaya sebesar  $F$  searah ibu jari.



Gambar 2.5. Aturan Tangan Kiri untuk Prinsip Kerja Motor DC  
(Sumardjati, et al., 2008)

Prinsip kerja motor dapat dilakukan dengan menggunakan sepasang magnet permanen berbentuk U, sebatang kawat digantung di kedua sisi ujungnya, pada ujung kawat dihubungkan sumber listrik DC gambar 2.4. Arus listrik mengalir dari terminal positif (+) ke batang kawat sebesar  $I$  ampere ke terminal negatif (-). Kawat yang dipotong garis medan magnet, pada batang dihasilkan gaya tolak sebesar  $F$  searah panah.



Gambar 2.6. Model Kerja Motor DC  
(Sumardjati, et al., 2008)

Bila penghantar diletakkan antara kutub, maka medan magnet seputar penghantar dan medan magnet dari kutub U ke S, pada sisi kanan penghantar medan magnet akan saling menguatkan karena memiliki arah yang sama. Sedang pada sisi kiri penghantar, medan magnet penghantar dengan medan magnet kutub U-S berlawanan sehingga saling melemahkan (Gambar 2.5). Karenanya penghantar akan bergerak ke kiri. Arah gerak ini dapat ditentukan dengan kaidah atau aturan tangan kiri. Tangan kiri dengan ibu jari  $90^\circ$  terhadap 4 jari lain lainnya, diletakkan antara kutub dengan telapak tangan tertembus medan magnet dari kutub U. Empat jari menunjukkan arah arus dalam penghantar, maka ibu jari menunjukkan arah gerak penghantar. Kumparan bila diletakkan dalam medan magnet, maka kumparan tersebut akan berputar. Penampang potong dari sebuah kumparan digambarkan dengan dua penghantar dengan arah arus berlawanan. Pada sisi-sisi penghantar akan terjadi pelemahan dan penguatan medan, tergantung arah antara medan seputar penghantar dengan medan magnet dari kutub-kutub magnet. Hasilnya, penghantar sebelah atas akan bergerak ke kiri dan penghantar bawah akan bergerak ke kanan. Ini sesuai dengan kaidah tangan kiri. Bila kumparan telah melintang  $90^\circ$  terhadap medan magnet, maka kumparan akan berhenti bergerak.

Torsi hasil perhitungan dari putaran motor cenderung meningkat dengan menurunnya putaran jangkar sesuai dengan literatur (Gunawan, et al., 2000: 82-86) .

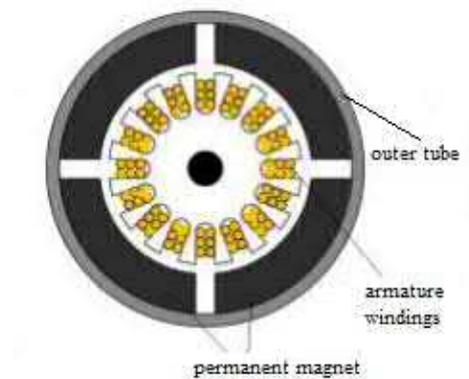
#### **2.1.4 Jenis-Jenis Motor DC (Searah)**

Sama dengan generator DC, motor DC juga diklasifikasikan menjadi beberapa motor, diantaranya adalah magnet permanen, *separately excited*, *series*

*wound, shunt wound DC motors* , serta *compound wound DC motors* (Gupta 2001: 357-385).

a) Motor DC magnet permanen

Motor ini merupakan motor yang medan magnet utamanya berasal dari magnet permanen. Motor ini mempunyai rancangan sederhana dan hanya memerlukan tegangan ke sirkuit armatur (Daryanto 2011: 138). Dan kumparan medan elektromagnetik digunakan untuk medan jangkar. Arus mengalir melalui kumparan jangkar dari sumber tegangan DC, menyebabkan jangkar berfungsi sebagai magnet. Kutub pada kumparan jangkar akan ditarik oleh kutub medan utama dari polaritas yang berbeda, sehingga jangkar berputar. Apabila kutub jangkar sejaris dengan kutub medan, sikat-sikat ada pada celah di komutator sehingga tidak ada arus mengalir pada jangkar. Jadi, gaya tarik atau gaya tolak dari magnet akan berhenti. Kemudian kelembaman membawa jangkar melewati titik netral. Komutator akan membalik arus jangkar ketika kutub yang tidak sama dari jangkar dan medan saling berhadapan satu sama lain, sehingga membalik polaritas medan jangkar. Kutub-kutub yang sama dari jangkar dan medan kemudian menjadi saling tolak menolak, sehingga jangkar berputar terus-menerus. Arah putaran dari motor DC magnet permanen ditentukan oleh arah arus yang mengalir pada jangkar. Pembalikan ujung-ujung jangkar tidak akan membalik arah putaran. Salah satu keistimewaan dari motor DC magnet permanen ini adalah kecepatannya dapat dikontrol dengan mudah. Kecepatan motor magnet permanen berbanding langsung dengan harga tegangan yang diberikan di jangkar. Semakin besar tegangan jangkar, semakin tinggi kecepatan motor (Frank 1996: 343).



Gambar 2.7. Gambar Penampang Motor DC Magnet Permanen

(Chavan dan Sapale, 2016: 471)

b) *Separately Excited DC Motors*

Motor ini memiliki *field coils* yang mirip dengan *shunt wound machine*, tetapi armatur dan *field coils* diberi *supply* dari sumber-sumber pasokan yang berbeda dan mungkin memiliki rating tegangan berbeda (Gupta 2001: 357-385).

c) *Series Wound DC Motor*

Seperti namanya, kumparan medan, terdiri dari beberapa putaran kawat tebal terhubung dalam seri dengan armatur. Luas penampang silang kawat yang digunakan untuk kumparan medan harus cukup besar untuk membawa putaran dari kawat pada motor yang tidak besar (Gupta 2001: 357-385). Pada motor seri semua jalur arus mengalir melalui kedua gulungan. Dengan kondisi mendapatkan beban, *counter emf* menolak garis tegangan dan tetap menjaga arus di level aman (Daryanto 2011: 135).

d) *Shunt Wound DC Motors*

Kata *Shunt* berarti paralel. Motor ini dinamakan demikian karena motor ini pada dasarnya beroperasi dengan bidang gulungan terhubung secara paralel

dengan armatur. Kumparan medan yang berkelok-kelok terdiri dari sejumlah besar putaran dengan perbandingan kawat yang baik untuk memberikan tahanan yang besar. Arus medan jauh lebih sedikit daripada arus armatur, kadang-kadang hanya 5%. Arus *supply* untuk motor terbagi menjadi dua jalur, satu melalui kumparan medan dan kedua melalui armatur (Gupta 2001: 357-385). Medan  $\Phi$  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 (Nugroho dan Sri 2015:29).

#### e) *Compound Wound DC Series*

Sebuah motor DC jenis lilitan *compound* memiliki keduanya yaitu *shunt* dan kumparan medan jenis seri. Medan *shunt* biasanya memiliki kuat arus yang lebih besar dari yang seri. Motor *compound* memiliki 2 jenis motor yaitu *cumulative compound wound* dan *differential compound wound motors* (Gupta 2001: 357-385). Motor DC kompon memiliki aplikasi beban terbesar, yang membutuhkan torsi *starting* yang tinggi ataupun beban yang berpulsasi (Nugroho dan Sri 2015:30).

### 2.1.5 Lilitan Armatur

Kabel terisolasi bertempat di slot armatur yang saling terhubung. Ini disebut lilitan armatur. Lilitan armatur memainkan peran penting dalam mesin DC. Lilitan armatur adalah tempat dimana konversi dari daya mengambil tempat sebagai contoh konversi tenaga mekanik menjadi listrik dalam kasus generator dan konversi daya listrik menjadi mekanis dalam motor.

Lilitan armatur yang paling umum digunakan dalam drum jenis armatur adalah dua jenis yaitu lilitan pangkuan dan lilitan bergelombang. Pada lilitan

pangkuan, ujung akhir dari satu kumparan dihubungkan ke segmen *commutator* dan ujung awal kumparan berdekatan di bawah kutub yang sama dan demikian pula semua gulungan terhubung. Lilitan ini dikenal sebagai lilitan pangkuan karena sisi kumparan berturut-turut saling tumpang tindih. Pada lilitan pangkuan ada banyak jalur paralel dan lebih kurang jumlah konduktor per jalan cocok untuk mesin dengan arus yang besar dan tegangan yang rendah. Lilitan gelombang juga kadang-kadang dikenal sebagai lilitan seri. Pada lilitan gelombang ujung akhir dari satu kumparan terhubung ke ujung awal kumparan yang lain. Dengan demikian pada lilitan gelombang, lilitannya berjalan melewati setiap kutub N dan kutub S sampai kembali ke sisi kumparan dari mana lilitannya dimulai. Sebagaimana lilitannya bergelombang, maka lilitan ini disebut sebagai lilitan gelombang. Gulungan gelombang selalu memberikan dua jalan paralel terlepas dari jumlah kutub dan karena itu untuk jumlah tertentu dari kutub dan konduktor armatur. Ini memberikan emf yang lebih daripada lilitan pangkuan, maka hal ini digunakan untuk mesin yang memiliki tegangan tinggi dan serta arus yang rendah *motors* (Gupta 2001: 357-385).

Hukum Faraday mengikhtisarkan prinsip dasar yang mendasari dihasilkannya tegangan dalam mesin listrik. Keperluan pertama adalah sebuah lilitan atau sekedar kelompok koil dalam mana tegangan yang diinginkan akan diimbas. Lilitan ini dinamakan lilitan armatur (*armature winding*), dan struktur yang mengandung lilitan tersebut dinamakan sebuah armatur (*armature*). Keperluan kedua adalah untuk menciptakan sebuah medan magnet. Dalam mesin-mesin yang lebih kecil, medan tersebut mungkin merupakan medan magnet permanen. Akan tetapi dalam kebanyakan mesin, medan tersebut mungkin akan di

ciptakan oleh sebuah lilitan yang terpisah, yang biasanya dinamakan lilitan medan (*field winding*). Akhirnya rotasi harus menyebabkan perubahan banyaknya medan yang mengaitkan koil armatur tersebut secara terus menerus. (Fitzgerald, et al., 1985: 278)

### **2.1.6 *Electromotive Force/ GGL***

Apabila medan magnet berubah-ubah terhadap waktu, akibat arus bolak balik yang berbentuk sinusoid, suatu medan listrik akan dibangkitkan atau diinduksikan. Kemudian medan magnet atau fluks yang berubah ubah pada inti besi akan menghasilkan gaya gerak listrik (ggl). Perubahan fluks yang menghasilkan ggl tersebut dapat terjadi karena perubahan fungsi waktu akibat arus bolak balik yang berbentuk sinusoid dan fungsi putaran akibat berputarnya rotor pada mesin-mesin dinamis (Zuhal, 1992: 13). Gaya yang terjadi pada motor arus searah tergantung pada besarnya arus yang melewati jangkar dan fluks magnet dari medan magnet (penguat). Bila belitan (jangkar) telah berputar, maka dalam belitan itu akan timbul suatu tegangan yang arahnya berlawanan dengan tegangan yang disuplai dari luar, dan ini disebut Ggl lawan. (Sumardjati, ., et al 2008).

Ketika sebuah konduktor memotong medan magnet, tegangan diinduksikan di dalam konduktor yang bergerak. Dan ketika motor dipakai sebagai alat untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanis, saat armatur mulai berputar, motor juga menjadi generator. Gaya elektrik yang dihasilkan yang menolak emf disebut dengan *counter electromotive force*. *Counter electromotive force* sering ditulis dalam *counter emf* atau cemf. Maksud dari *counter emf* adalah EMF tersebut ditimbulkan oleh armatur dinamo yang yang

melawan tegangan yang diberikan padanya. Merupakan hasil reaksi pembangkit pada motor. Jika motor dihubungkan ke penggerak utama dalam arah yang sama pada motor DC, maka akan menghasilkan tegangan yang polaritasnya kebalikannya. Polaritas output motor berlawanan dengan arah jarum jam (Daryanto, 2011: 132-134).

Besaran cemf meningkat mengikuti kecepatan putaran dan juga kekuatan magnet pun akan bertambah pula:

Jadi:

$$\text{Counter emf} = \text{speed} \times \text{field strength} \times K$$

Dimana K adalah sama dengan konstanta. Konstanta ini beragam bergantung dari motornya. Dan dipengaruhi oleh faktor seperti jumlah lilitan. Tegangan aktual saat gulungan di dalam armatur mendapat arus adalah sama dengan:

$$E_{\text{source}} - E_{\text{counter}} = e_{\text{armature}}$$

Arus yang mengalir di dalam gulungan armatur pada beberapa titik dapat di temukan dengan menggunakan hokum Ohm, bila tahanan pada gulungan sudah diketahui:

$$I_{\text{armatur}} = E_{\text{armatur}} / R_{\text{armature}}$$

Perlu dicatat bahwa saatu putaran motor armatur berkurang, *counter electromotive force* juga akan berkurang, dan hasilnya adalah arus yang lewat melalui sirkuit armatur akan bertambah. Arus akan terus bertambah sampai motor berhenti berputar sendiri ketika terjadi beban lebih. Saat motor berhenti, hanya ada sedikit arus tertahan yang lewat ke sirkuit armatur. Kondisi tersebut menghasilkan arus yang sangat besar. Motor DC harus diproteksi agar tidak kelebihan beban (Daryanto, 2011: 132-134).

Arah putaran motor DC bergantung pada arah medan dan arah aliran arus pada jangkar. Jika arah medan atau arah aliran arus pada jangkar dibalik putaran motor juga akan terbalik. Pada saat jangkar diputar kumparan jangkar motor DC memotong medan magnet dan menginduksikan tegangan atau GGL pada kumparan tersebut. Karena tegangan yang diinduksikan bertentangan dengan tegangan terminal yang diberikan, tegangan ini disebut GGL lawan (cemf). Kekuatan GGL lawan pada motor ditentukan dengan kekuatan medan, yaitu jumlah penghantar jangkar yang diseri dengan sikat sikat, dan kecepatan jangkar. Pada saat motor start, jangkar tidak berputar, sehingga tidak ada GGL lawan. Akibatnya tegangan penuh diberikan pada motor dan akan menarik arus pada rangkaian jangkar sesuai dengan hukum Ohm. Salah satu faktor yang membatasi arus adalah tahanan lilitan motor. Ketika kecepatan jangkar bertambah atau bertambah cepat, ketika ggl lawan akan timbul dan membatasi aliran arus pada motor. Kecepatan bertambah, ggl lawan bertambah, dan arus yang ditarik oleh motor berkurang. Kecepatan motor DC bergantung pada kekuatan medan magnet dan tegangan yang diberikan pada jangkar dan juga pada beban. Oleh karena itu kecepatan dapat diatur dengan baik dengan mengatur arus medan atau dengan mengatur tegangan yang diberikan pada jangkar. Apabila beban bertambah maka kecepatan dan ggl lawan menurun dan arus bertambah. Demikian juga apabila beban menurun, kecepatan dan ggl lawan bertambah dan arus menurun (Frank 1996: 338-339).

### **2.1.7 Dinamometer**

Dinamometer dibagi menjadi dinamometer absorpsi dan transmisi dinamometer. Dinamometer transmisi merupakan dinamometer yang membaca

daya yang dihasilkan oleh mesin secara tidak langsung, tetapi dibaca oleh alat pengukur, serta tenaga yang dihasilkan ditransmisikan ke peralatan ukur lainnya. Sedangkan dinamometer absorpsi mengubah energi mekanik dari mesin sebagai torsi yang diukur melalui gaya tahanan geseknya secara langsung (Khurmi, 2005).

Dinamometer dapat digolongkan dengan cara lain, yaitu *engine dynamometer* dan *chasis dynamometer*. Dinamometer yang dihubungkan secara langsung kepada mesin disebut *engine dynamometer*. Poros *flywheel* mesin secara langsung menempel dengan dinamometer. Sedangkan dinamometer yang dapat mengukur tenaga putar dan power secara langsung dari unit pemindah tenaga dari kendaraan secara langsung roda penggerak (tanpa memindahkan mesin dari chasis kendaraan) disebut *chasis dynamometer* (Irawan,2007).

Pada dinamometer transmisi, tenaga yang dihasilkan pada dynamometer transmisi tidak terbuang di gesekan tetapi digunakan untuk melakukan kerja. Tenaga atau Daya yang dihasilkan mesin dikirim ke alat/mesin lain digunakan untuk melakukan pengukuran (Khurmi, 2005: 763). Pada dinamometer absorpsi, seluruh energi atau daya yang dihasilkan oleh mesin diserap (*absorb*) oleh tahanan gesek rem dan diubah menjadi panas, selama proses pengukuran. Dinamometer Absorpsi hanya dapat mengukur mesin dengan tenaga relatif kecil (Khurmi, 2005:763).

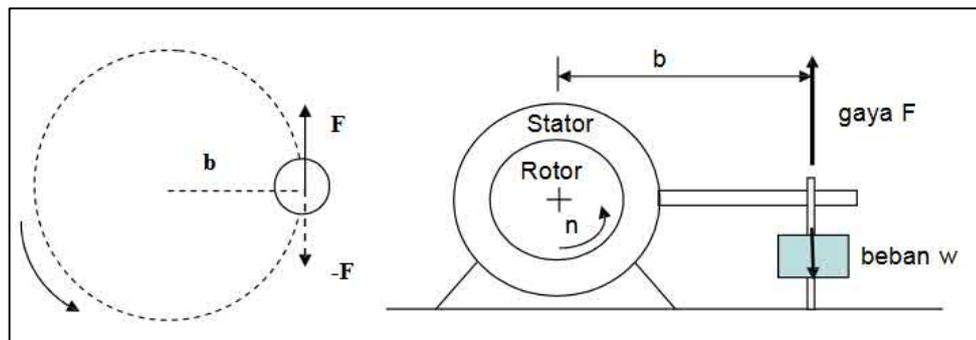
Rotor dipasang secara elektromagnetik, hidrolik, atau dengan gesekan mekanis ke sebuah stator, yang mana stator ditopang pada *bearing* bergaya gesek rendah. Stator pada keadaan seimbang dengan rotor yang berputar stasioner. Torsi yang bekerja pada stator dari putaran rotor yang mengangkat lengan diukur dengan cara menyeimbangkan lengan stator dengan beban, pegas, atau secara

pneumatik (Heywood,1988: 45-46). Pada penelitian ini akan menggunakan dinamometer tipe gesek.

### 2.1.8 Torsi dan Daya

#### a) Torsi

Torsi adalah putaran suatu gaya pada sebuah poros, dan diukur dengan hasil perkalian gaya dengan jari-jari lingkaran dimana gaya tersebut terjadi (bekerja) (Sumardjati, et al., 2008). Maka Torsi ( $T$ ) merupakan gaya puntir yang dapat menyebabkan suatu obyek berputar. Torsi diberi satuan N.m. Torsi yang merupakan kemampuan mesin untuk melakukan kerja, di torsi adalah suatu energi. Besaran torsi adalah besaran turunan yang digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya.



Gambar 2.8 Skema Pengukuran Torsi  
(Raharjo, 2013)

Apabila suatu benda berputar dan mempunyai besar gaya sentrifugal sebesar  $F$ , benda berputar pada porosnya dengan jari-jari sebesar  $b$  dengan data tersebut torsinya adalah (Heywood, 1988: 46) :

$$T = F \times b \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

$T$  = momen gaya (Nm)

$b$  = panjang lengan gaya (m)

$F$  = gaya (N)

Adanya torsi inilah yang menyebabkan benda berputar terhadap porosnya, dan benda akan berhenti apabila ada usaha melawan torsi dengan besar sama dengan arah yang berlawanan. Sedangkan daya dihasilkan dari proses pembakaran di dalam silinder dan biasanya disebut dengan daya indikator. Daya indikator adalah merupakan sumber tenaga persatuan waktu operasi mesin untuk mengatasi semua beban mesin (Raharjo, 2014:25).

Mesin dijepit pada sebuah landasan pengujian dan poros serta terhubung ke rotor dinamometer. Gambar 2.7 menggambarkan prinsip operasi dinamometer. Rotor digabungkan secara elektromagnetis, secara hidrolis, atau dengan gesekan mekanis ke sebuah stator, yang didukung dengan bantalan gesekan rendah. Stator diimbangi dengan rotor stasioner. Torsi diberikan pada stator dengan putaran rotor serta diukur dengan menyeimbangkan stator dengan berat, pegas atau alat-alat pneumatik.

Menurut Arends dan Berenschot (1980:18) daya motor adalah besarnya kerja motor selama waktu tertentu. Satuan daya yaitu kW (Kilowatt), J/s (Joule per detik), atau HP (*Horse Power*).

#### b) Daya

Daya dinyatakan sebagai laju kerja yang dilakukan. Daya kuda (hp) menyatakan satuan daya yang dinyatakan dengan 745,7 watt atau 0,7457 kW (Kristanto 2015: 23). Daya P dihantarkan oleh mesin dan diserap oleh dinamometer dengan hasil dari torsi dan putaran, sehingga dirumuskan sebagai berikut (Heywood 1988: 45-46):

$$P = 2\pi NT/60 \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

P = daya (Watt)

N = putaran motor (rpm)

T = torsi rotor (Nm)

Dalam unit SI (Heywood 1988: 45-46):

$$P = 2\pi NT \times 10^{-3} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

P = daya (Kilowatt)

N = putaran motor (rev/s)

T = torsi rotor (Nm)

Atau dalam satuan U.S. (Heywood 1988: 45-46):

$$P(\text{hp}) = \frac{N(\text{rev/min})T(\text{lb}\cdot\text{ft})}{5252} \dots\dots\dots (2.6)$$

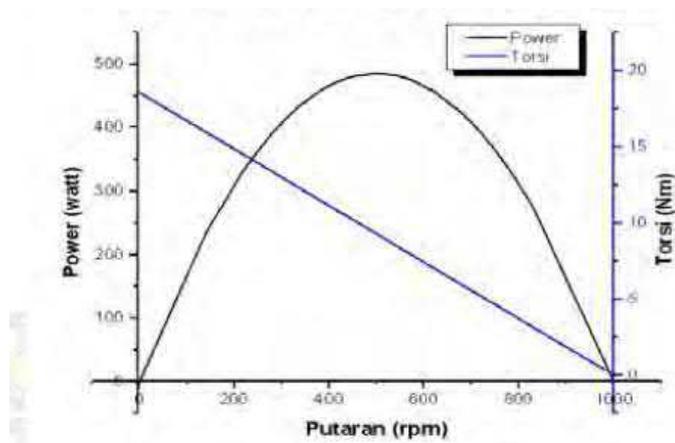
Dimana:

P = daya (Horsepower)

N = putaran motor (rev/m)

T = torsi rotor (lb.ft)

Terdapat hubungan antara daya, torsi dan rpm yang sesuai seperti grafik berikut:



Gambar 2.9. Grafik Daya dan Torsi vs Rpm DC Motor secara teoritis (Wengi dan Muhmmad, 2014:3)

Kurva torsi vs kecepatan bisa digunakan untuk mengetahui karakteristik perubahan torsi terhadap beban pada kecepatan. Dengan kurva ini kita bisa mengetahui performa motor serta karakteristik range kerja pada output motor listrik (Wengi dan Muhmmad, 2014:6). Torsi adalah sebuah besaran mesin sebagai kemampuan untuk kerja; daya adalah laju di mana pekerjaan dilakukan. Nilai kekuatan mesin yang diukur seperti dijelaskan di atas disebut *brake power*. Daya ini adalah daya yang dapat digunakan serta dihantarkan oleh mesin untuk beban, dalam kasus ini adalah sebuah "rem" (Heywood 1988: 45-46).

## 2.2 Kajian Penelitian yang Relevan

Dasar atau acuan yang berupa teori-teori atau temuan-temuan melalui hasil berbagai penelitian sebelumnya merupakan hal yang sangat perlu dan dapat dijadikan sebagai data pendukung. Salah satu data pendukung yang perlu dijadikan bagian tersendiri adalah penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang sedang dibahas dalam penelitian ini. Dalam hal ini, fokus penelitian terdahulu yang dijadikan acuan adalah terkait dengan masalah dinamometer. Oleh karena itu perlu dilakukan langkah kajian terhadap beberapa hasil penelitian berupa skripsi, tesis dan jurnal-jurnal.

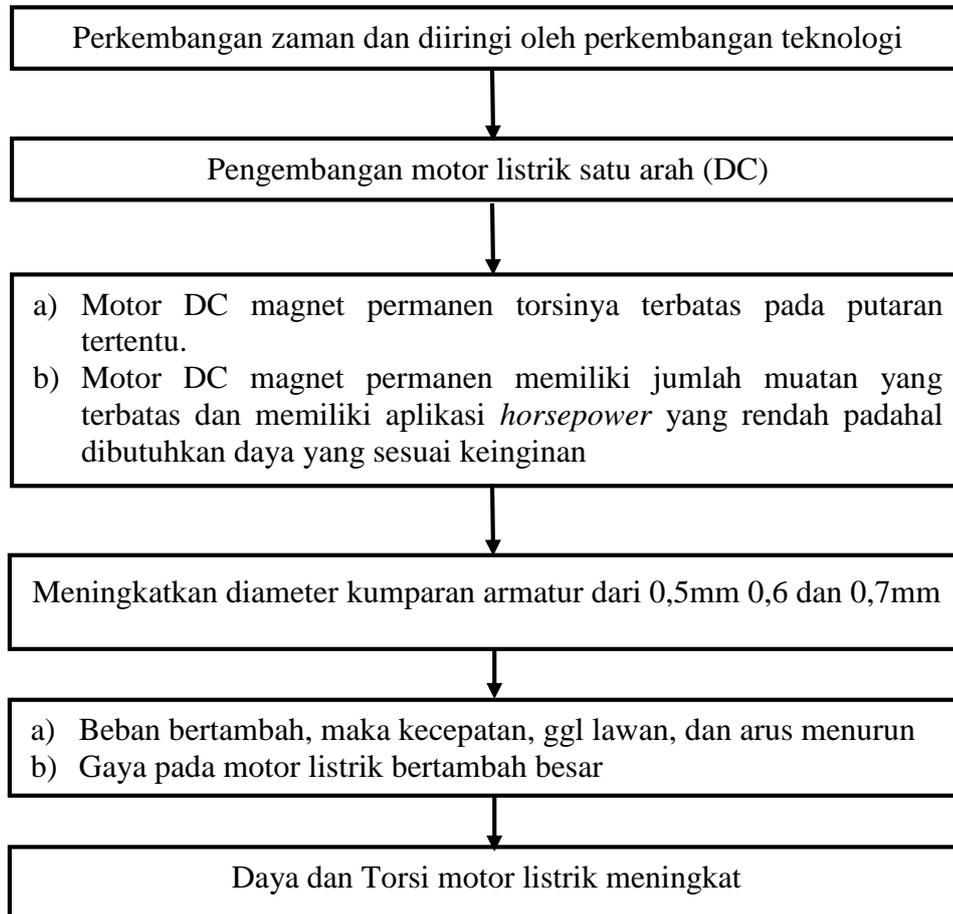
Penelitian yang dilakukan oleh wahyuni, dkk (2105: 79-85) menyatakan bahwa besaran medan megnetik rata-rata pada koil akan bertambah besar seiring dengan bertambahnya diameter yang digunakan semakin besar arus yang diberikan maka besarnya medan magnet akan semakin besar pula.

Penelitian yang dilakukan oleh Ananda, et al (2002: 98-104) menyatakan bahwa daya input, daya *loses* dan torsi meningkat secara linier seiring dengan kenaikan kecepatan. Sedangkan untuk mengatur kecepatan putar kumparan rotor,

menurut Soni, (2014:5) cara yang biasa dilakukan yaitu dengan mengatur tahanan pada kumparan stator maupun rotor dan mengatur tegangan listrik yang masuk pada kumparan rotor.

Kebutuhan torsi kecepatan rendah puncak cenderung mendikte inverter arus maksimum. Selama daya konstan dan kerugian besi wilayah kecepatan tinggi menjadi signifikan. Kemudian dari penelitian yang dilakukan oleh Sinaga dan Aria (2012: 8-12) menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin semakin besar pula daya mesin, tetapi pada suatu putaran tinggi tertentu daya mesin mencapai maksimum kemudian turun kembali. Torsi maksimum terjadi pada putaran rendah, hal ini disebabkan karena pada putaran tinggi mesin tidak mampu menyerap lebih banyak udara yang dibutuhkan ke dalam mesin sehingga torsi yang dihasilkan rendah. Pada penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa meningkatkan jumlah lilitan atau kumparan akan menambah beban contohnya pada koil, namun pada penelitian ini akan menggunakan lilitan armatur. Sehingga berdasarkan penelitian-penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa memvariasikan jumlah lilitan pada armatur akan memberikan pengaruh terhadap daya dan torsi yang dihasilkan motor listrik.

### 2.3 Kerangka Berfikir Penelitian



Gambar 2.10. Kerangka Berfikir

Seiring dengan perkembangan zaman dan diikuti dengan perkembangan teknologi. Hal ini tentunya memberikan dampak pada berbagai sektor terutama di sektor industri, sehingga manusia harus berfikir lebih keras lagi untuk mengikuti perkembangan zaman. Perkembangan teknologi seperti saat ini misalnya pengembangan motor listrik searah (DC). Setiap motor listrik memiliki perbedaan diameter lilitan karena kebutuhan tegangan yang berbeda. Energi mekanik dari motor listrik DC akan menghasilkan gaya yang dapat menggerakkan benda (torsi).

Perbedaan diameter lilitan armatur tersebut akan berdampak pada besarnya daya dan torsi yang dihasilkan. Kemudian berdasarkan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa meningkatnya diameter lilitan akan memperbesar hambatan kawat jangkar ( $R$ ) sehingga harga arus jangkar  $I_j$  akan mengecil kemudian dengan meningkatnya lilitan jangkar maka torsi putaran motor yang meningkat, mengakibatkan meningkatnya arus atau masukan daya listrik. Sehingga penelitian ini disusun guna mengetahui pengaruh diameter lilitan yang ada pada armatur terhadap daya dan torsi yang dihasilkan motor listrik jenis magnet permanen.

#### **2.4 Hipotesis Penelitian**

Berdasarkan kajian pustaka, penelitian yang relevan, dan kerangka beripikir maka, hipotesis penelitian ini yaitu

1. Diameter kumparan armatur mempengaruhi daya motor listrik.
2. Diameter kumparan armatur mempengaruhi torsi motor listrik.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Simpulan**

Berdasarkan data yang diperoleh dari penelitian maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Diameter lilitan armature dapat mempengaruhi torsi motor listrik. Semakin kecil diameter lilitan maka akan mengakibatkan torsi yang dihasilkan semakin kecil dan semakin besar diameter lilitan maka torsi yang dihasilkan semakin besar. Torsi yang paling tinggi dihasilkan oleh motor listrik dengan diameter lilitan 0,7 dengan torsi rata rata 1,17 Nm
2. Diameter lilitan armature mempengaruhi daya motor listrik. Semakin kecil diameter lilitan maka akan mengakibatkan daya yang dihasilkan semakin kecil dan diameter lilitan yang lebih besar maka daya yang dihasilkan semakin besar. Daya yang paling tinggi dihasilkan oleh motor listrik dengan diameter lilitan 0,7 dengan daya rata-rata 184,99 Watt.

#### **5.1 Saran**

1. Penggunaan motor listrik dengan diameter yang besar cocok digunakan untuk motor listrik dengan kebutuhan torsi dan daya yang tinggi dengan rpm yang tinggi pula.

2. Penggunaan motor listrik dengan diameter lilitan yang kecil cocok digunakan untuk motor listrik dengan kebutuhan torsi dan daya rendah dengan rpm yang rendah pula.
3. Penggunaan diameter kecil pada motor listrik memungkinkan menghasilkan temperatur motor listrik yang tinggi sehingga perlu dilakukan pendinginan agar tidak terjadi kerusakan pada motor listrik.
4. Pada motor listrik dengan daya 250 W sebaiknya menggunakan diameter lilitan 0,7 mm.
5. Perlu adanya pengembangan alat pengukur torsi dan daya sehingga mendapatkan nilai performa yang lebih baik dalam kinerjanya.
6. Penelitian ini dapat menjadi referensi pada penelitian lainnya yang berhubungan dengan motor listrik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, Julius S. Sentosa, dan Benny S. Augusta. 2002. Studi Penggunaan Permanen Magnet Servo Motor Tegangan 460 V DC, 1850 Rpm Pada Mesin Potong Karton. *Jurnal Teknik Elektro*.2/2: 98 – 104
- Arikunto, S. 2010. *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Edisi Revisi 2010. Jakarta: Rineka Cipta
- Chavan, P dan Sapale. 2016. Torque Improvement in Brushed DC Motors by using Four Pole Permanent Magnet. *International Journal of Science Technology & Engineering*. 2/11: 470-477
- Daryanto. 2011. *Dasar-Dasar Kelistrikan Otomotif*. Jakarta: PT. Prestasi Pustakarya
- Fitzgerald, A. E., Higginbotham E. David, dan Grabel, A. 1985. *Dasar-Dasar Elektronik*. Edisi kelima. Diterjemahkan oleh Pantur Silaban. Jakarta: Erlangga
- Frank D. P. 1996. *Elektronik Industri*. Edisi II. Diterjemahkan oleh: Sumanto. 2001. Yogyakarta: Andi
- Gunawan, et al. 2000. Uji Fungsi Magnet Permanen Elastis P3ib Pada Motor Listrik Arus Searah. Prosiding Seminar Nasional Bahan Magnet I. Serpong, 11 Oktober 2000
- Gupta. J.B. 2001. *Electrical Engineering*. Delhi: Sanjeev Kumar Kataria
- Heywood, J. B. 1998. *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw-Hill
- Irawan, Indra. 2007. *Dinamometer*. Universitas Negeri Surabaya
- Khurmi. 2005. *Dinamometer Absorpsi hanya dapat mengukur mesin dengan tenaga relatif kecil*. Semarang: Gramedia Pustaka Utama
- Kristanto, P. 2015. *Motor Bakar Torak- Teori dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Andi
- Mellor, P.D., et al. 2006. Impact of winding and rotor design on efficiency and torque ripple in brushless AC permanent magnet traction motors. *Journal of Electrical & Electronic Engineering*. London: *Department of Electrical & Electronic Engineering, University of Bristol, Bristol, UK*. Hlm 240-244
- Nugroho dan Sri. 2015. Analisa Motor Dc (Direct Current) Sebagai Penggerak Mobil Listrik. *Jurnal Mikrotiga*. 2/1: 28-34
- Parhan, N. 2013. *Teknik Listrik*. Jakarta: Kementerian Pendidikan & Kebudayaan
- Putra, D. H. Y. dan Riswan D. 2014. Studi Pengaturan Kecepatan Motor DC Shunt dengan Metode Ward Leonard (Aplikasi pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-USU). *Jurnal Singuda Ensikom*. 6/1: 13 – 18.

- Raharjo, W. D. dan Karnowo. 2008. *Mesin Konversi Energi*. Semarang: Universitas Negeri Semarang Press
- Shrivastava dan Pawar. 2016. A Review on Types of DC Motors and the Necessity of Starter for Its Speed Regulation. *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*.5/4: 61-63
- Sinaga, N dan Aria, D. 2012. Pengujian Dan Pembuatan Buku Petunjuk Operasi Chassis Dinamometer Tipe *Water Brake*. *Jurnal Teknik Mesin*. 14/3: 8-12
- Soni, A. 2014. Speed Control of Dc Motor Using Chopper. *International Journal of Engineering, Management & Sciences (IJEMS)*. 1/10: 5 – 8.
- Stone, R. 1992. *Introduction to internal combustion engines*. Edisi ke-2. London: The Macmillan Press LTD. Hlm 59
- Sugiyono, A., et al. 2016. *Outlook energi Indonesia 2016: Pengembangan Energi Untuk Mendukung Industri Hijau*. Jakarta: Pusat teknologi Sumber Daya Energi dan Industri Kimia BPPT. Hlm 14-15
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta Data
- Sumardjati, P., et al. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3 untuk SMK*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional
- Wahyuni, S., et al. 2015. Analisa Pengaruh Inti Koil Terhadap Medan Magnetik Dan Muatan Pada Kapasitor Dalam Rangkaian Seri Lc. *Jom Fmipa*. 2/1: 79-85
- Wengi, H.R dan M. N. Yuniarto, 2014. Perancangan dan Uji Performa Axial Flux Permanent Magnet Coreless Brushless Direct Curent (DC) Motor. *Jurnal Teknik Pomits*. 1/1: 1-7
- Zuhal. 1992. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Ektronika Daya*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama