



**DESAIN MEDAN MOTOR ARUS SEARAH DENGAN
PENGUATAN TERPISAH**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk
menyelesaikan Program Studi Teknik (S1) dan mencapai gelar
Sarjana Teknik

oleh

Agung Teguh Pribadi
NIM 101910201097

PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015



**DESAIN MEDAN MOTOR ARUS SEARAH DENGAN
PENGUATAN TERPISAH**

SKRIPSI

oleh

**Agung Teguh Pribadi
NIM 101910201097**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2015**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT, agama, bangsa, dan almamater saya;
2. Ibu Yudha Tri Astutik dan Bapak Rahardjo tercinta, yang tiada hentinya memberikan kasih sayang, dorongan semangat, pelajaran hidup dan segala pengorbanan yang tiada terkira, serta senantiasa mengiringi dalam doa dan harapan;
3. Guru-guru saya semenjak taman kanak-kanak hingga Perguruan Tinggi yang terhormat, yang telah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran.

MOTTO

Orang yang terlalu memikirkan akibat dari sesuatu keputusan atau tindakan, sampai kapanpun dia tidak akan menjadi orang yang berani.

(Khalifah Ali bin Abi Talib)

Akan kuberikan ilmu yang kumiliki kepada siapapun, asal mereka mau memanfaatkan ilmu yang telah kuberikan itu.

(Imam Syafi'i)

Barangsiapa ingin mutiara, harus berani terjun di lautan yang dalam.

(Ir. Soekarno)

Dalam kehidupan yang terberat bukan saat kita tidak memiliki uang, tapi saat kita bimbang dan ragu antara terus melangkah ke depan atau mundur tapi dipaksa terus maju.

(Agung T.P, Amd)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agung Teguh Pribadi

NIM : 101910201097

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Desain Medan Motor Arus Searah dengan Penguatan Terpisah“ adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak sah.

Jember, 2 Juni 2015

Yang menyatakan,

Agung Teguh Pribadi

NIM 101910201097

SKRIPSI

**DESAIN MEDAN MOTOR ARUS SEARAH DENGAN
PENGUATAN TERPISAH**

Oleh

Agung Teguh Pribadi

NIM 101910201097

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Ir. Widyono Hadi, M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Triwahju Handianto, S.T., M.T.

RINGKASAN

Desai Medan Motor Arus Searah Dengan Penguatan Terpisah; Agung Teguh Pribadi; 101910201097; 2015; 53 halaman; Program Studi Strata Satu Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Aspek kehidupan manusia pada zaman sekarang tidak terlepas dari penggunaan motor listrik. Salah satu dari jenis motor listrik yaitu motor DC, dalam aplikasinya motor ini biasanya disesuaikan dengan fungsinya. Tiap jenis motor listrik jenis DC haruslah disesuaikan dengan aplikasinya. Kelebihan motor DC ialah menggunakan sikat, sehingga sistem kontrol relatif sederhana. Kegunaan motor DC ini biasanya dimanfaatkan untuk aplikasi berdaya rendah sehingga sangat cocok diaplikasikan pada kecepatan rendah dan daya yang rendah sampai sedang.

Motor listrik sangat sering digunakan di industri seperti mesin bubut, pembentuk, dan *spinning*, serta untuk keperluan suatu proyek pengembangan penelitian di berbagai universitas. Ada beberapa tipe motor DC yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam penelitian ini dirancang motor DC yang dalam satu rangka memiliki dua macam kumparan medan sehingga bisa dioperasikan sesuai dengan keperluan tanpa harus mengeluarkan biaya tambahan yang lain. Penelitian-penelitian ini akan dibuat atau didesain sebuah motor DC penguatan terpisah.

Perancangan motor DC adalah usaha untuk dapat merancang motor DC yang lebih baik sehingga memiliki unjuk kerja yang baik bukan hanya dalam percobaan di laboratorium tetapi dalam kehidupan sehari-hari. Dalam merancang motor DC pada penelitian ini hanya merancang motor DC penguat terpisah dengan 3 medan dengan metode jerat.

SUMMARY

Desai Medan Direct Current Motor with Separate Strengthening; Agung Teguh Pribadi; 101910201097; 2015; 53 pages; Study Program Tier One Engineering, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Aspects of human life in today is inseparable from the use of electric motors. One of a kind electric motor is a DC motor, in its application the motor is usually adapted to its function. Each type of electric motor must be adapted to the kind of DC application. Excess brush DC motor is used, so that the control system is relatively simple. The usefulness of the DC motor is usually used untuk low-power applications so it is properly used at low speeds and low power to moderate.

Electric motors are very often used in industries such as lathes, shapers, and spinning, as well as a project for the purposes of research development at various universities. There are several types of DC motors, each of which has advantages and disadvantages. In this study designed DC motor in one frame has two kinds of field coils that can be operated in accordance with purposes without having to incur additional costs other. These studies will be created or designed a separate reinforcement DC motor.

DC motor design is an attempt to be able to design better DC motors so as to have a good performance not only in experiments in the laboratory but in everyday life. In designing the DC motor is not only required to issue a good performance, but the product must be in accordance with market needs. To obtain a DC motor has a high efficiency requires a thorough design or can be also on certain parts alone.

PRAKATA

Segala puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat yang sangat luar biasa kepada penulis dan juga sholawat serta salam kepada Nabi besar Muhammad SAW yang telah membawa kita semua menuju peradaban manusia yang lebih baik. Skripsi adalah salah satu ujian yang akan membawa kita menjadi manusia yang lebih mampu mengolah dan menganalisis suatu permasalahan untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Oleh karena itu, dengan kerendahan hati penulis mempersembahkan karya tulis ini untuk :

1. Kedua orang tuaku yang amat saya cintai, Ibu Yudha Tri Astutik dan Bapak Rahardjo yang dengan tulus selalu mendo'akan dan selalu mendukung baik moral maupun materiil.
2. Kakak – kakakku tersayang, Erika Rahayu Prihandini dan Bayu Puguh Setiawan yang selalu menjadi motivasi penulis dan mendo'akan agar sukses selalu.
3. Semua Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah membimbing dan memberikan ilmu. Terutama Bapak Ir. Widyono Hadi, M.T selaku DPU ,Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T selaku DPA.
4. Primadiar Radiantika yang selalu memberikan motivasi serta kritik dan selalu megeleli.
5. Seluruh Guru-guruku dari TK, SD,SMP, SMK dan Guru Mengaji yang telah membimbing dengan sabar dan memberikan ilmunya.
6. Teman-teman teknik, khususnya Teknik Elektro angkatan 2010.
7. Teman-teman Asisten dan Teknisi Laboratorium Konversi energi.
8. Teman-teman seperjuangan yang pernah singgah diperum. Mastrib blok H no. 7.
9. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR GRAFIK	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Pembahasan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Prinsip Kerja Motor DC	6

2.2 Gaya Gerak Listrik pada Motor DC	9
2.3 Konstruksi Motor DC	9
2.4 Bagian-Bagian Stator	10
2.4.1 Badan Motor/Rangka.....	10
2.4.2 Kutub Utama	11
2.4.3 Kutub Antara	12
2.4.4 Kumparan Medan	12
2.4.5 Celah Udara	14
2.4.6 Bantalan Medan.....	14
2.4.7 Sikat Arang.....	15
2.4.8 Penutup Mesin, Kipas dan Kontak Terminal	16
2.5 Bagian-Bagian Rotor	16
2.5.1 Inti Jangkar dan Poros Jangkar.....	16
2.5.2 Komutator.....	17
2.6 Motor DC Penguatan Terpisah	18
2.7 Rugi-Rugi Motor Penguatan Terpisah	19
2.7.1 Rugi-Rugi Tembaga	20
2.7.2 Rugi Rotasional	20
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan	21
3.2.1 Alat	21
3.2.2 Bahan.....	22
3.3 Tahapan Penelitian	22
3.4 Desain Penelitian	23
3.4.1 Desain Pengujian Motor Induksi 1 Fasa 2 Kutub <i>Split</i> <i>Capasitor</i>	23

3.4.2 Diagram Alir (<i>Flowchart</i>) Penelitian	24
3.5 Konstruksi Penelitian	24
3.5.1 Rangka Stator	24
3.5.2 Inti Stator	25
3.5.3 Kumparan Stator	26
3.5.4 Menggulung Kumparan Stator	26
3.5.5 Penggabungan dengan Rotor	27
3.5.6 Pengujian Alat	28
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Pengujian Resistansi	31
4.2 Pengujian DC <i>Test</i>	33
4.3 Percobaan Tanpa Beban	39
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	53
DAFTAR BACAAN	
LAMPIRAN	

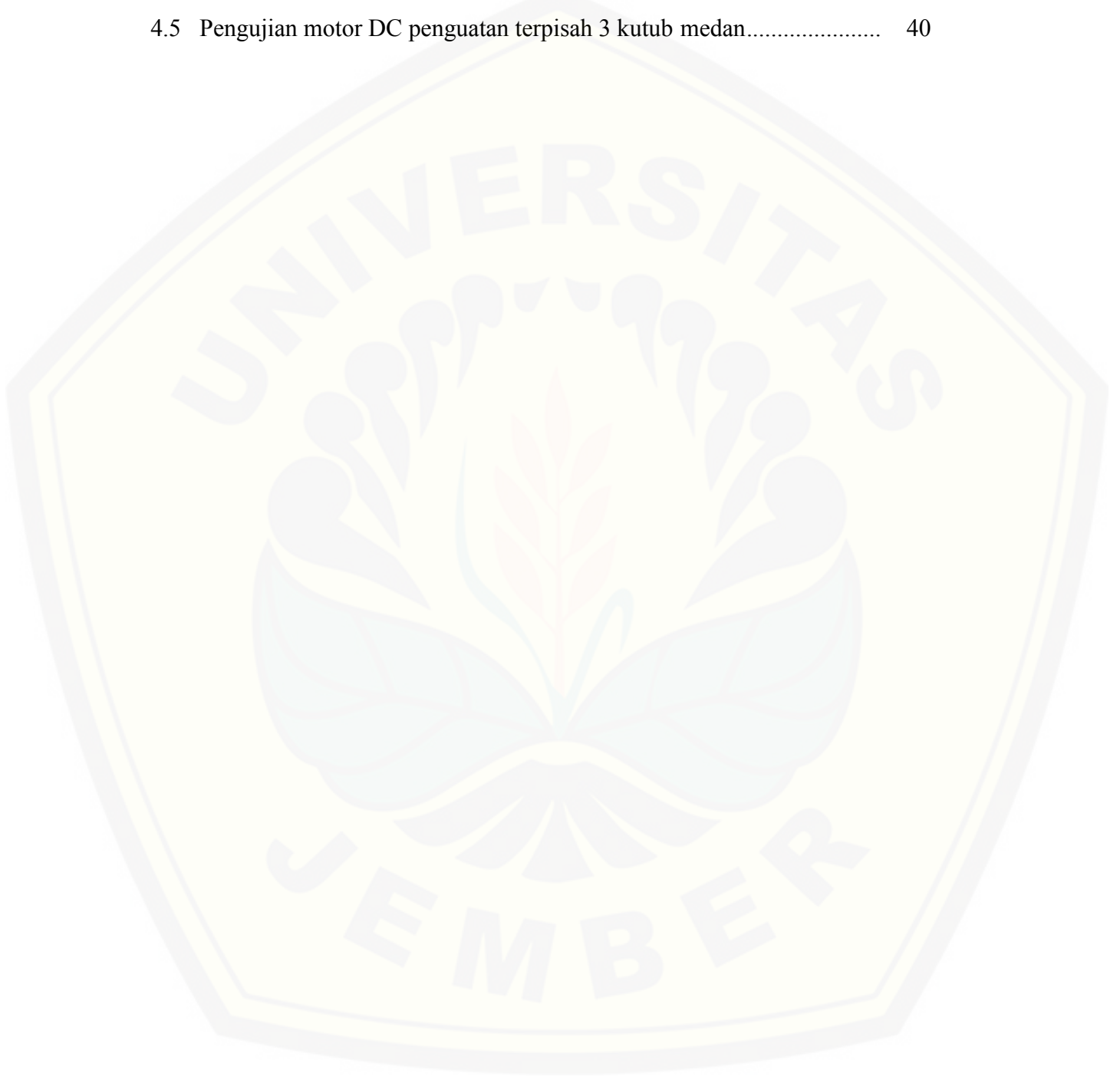
DAFTAR TABEL

	halaman
3.1 Jadwal kegiatan penelitian	21
4.1 Resistansi motor DC penguat terpisah 3 kutub medan magnet	31
4.2 Pengujian DC <i>test</i> pada kumparan jangkar	35
4.3 Pengujian DC <i>test</i> pada kumparan medan	37
4.4 Percobaan tanpa beban	41
4.5 Hasil perhitungan RPM	46
4.6 Hasil perhitungan rugi-rugi pada motor DC penguat tanpa beban	49

DAFTAR GAMBAR

	halaman
2.1 Prinsip perputaran Motor DC penguatan terpisah.....	7
2.2 Kaidah tangan kiri <i>Fleming</i>	8
2.3 Konstruksi motor DC.....	9
2.4 Motor DC.....	10
2.5 Rangka Motor.....	11
2.6 Sepatu Kutub.....	12
2.7 Peletakan kumparan medan pada kutub utama.....	14
2.8 Bantalan dan kipas.....	15
2.9 Sikat dan pemegangnya.....	15
2.10 Tutup motor.....	16
2.11 Inti jangkar dan poros jangkar.....	17
2.12 Letak dan penampang komutator.....	17
2.13 Rangkaian ekuivalen motor penguatan terpisah.....	18
3.1 Diagram pengujian alat.....	23
3.2 Diagram alir penelitian.....	24
3.3 Rangka Stator.....	25
3.4 Inti Stator.....	25
3.5 Kumparan jerat.....	26
3.6 Menggulung tembaga.....	27
3.7 Rotor saat akan digabung dengan stator.....	27
3.8 Pengambilan data pada medan.....	28
3.9 Pengambilan data pada jangkar.....	29
3.10 Pengambilan data RPM.....	29
4.1 Pengukuran resistansi medan (R_f).....	32
4.2 Pengukuran resistansi jangkar (R_a).....	32

4.3 DC <i>test</i> pada posisi medan	33
4.4 DC <i>test</i> pada posisi jangkar.....	34
4.5 Pengujian motor DC penguatan terpisah 3 kutub medan.....	40



DAFTAR GRAFIK

	halaman
4.1 Hubungan antara I_a dan V_a	36
4.2 Hubungan antara I_f dan V_f	38
4.3 Hubungan antara V dan I medan dan jangkar.....	38
4.4 Hubungan antara V medan dan RPM pada saat tegangan jangkar 2 volt	42
4.5 Hubungan antara V medan dan I pada saat tegangan jangkar 2 volt	43
4.6 Hubungan antara V medan dan RPM pada saat tegangan jangkar 6 volt	43
4.7 Hubungan antara V medan dan I pada saat tegangan jangkar 6 volt	44
4.8 Hubungan antara V medan dan RPM pada saat tegangan jangkar 12 volt	44
4.9 Hubungan antara V medan dan I pada saat tegangan jangkar 12 volt ...	45
4.10 Hubungan N percobaan dan N perhitungan saat V_a 2	47
4.11 Hubungan N percobaan dan N perhitungan saat V_a 10	48
4.12 Rugi tembaga dan rugi rotasioner pada saat V_a 2 volt pada jangkar	51
4.13 Rugi tembaga dan rugi rotasioner pada saat V_a 6 volt pada jangkar	52

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aspek kehidupan manusia pada zaman sekarang tidak terlepas dari penggunaan motor listrik. Salah satu dari jenis motor listrik yaitu motor DC, dalam aplikasinya motor ini biasanya disesuaikan dengan fungsinya. Tiap jenis motor listrik jenis DC haruslah disesuaikan dengan aplikasinya.

Kelebihan motor DC ialah menggunakan sikat, sehingga sistem kontrol relatif sederhana. Kegunaan motor DC ini biasanya dimanfaatkan untuk aplikasi berdaya rendah sehingga sangat cocok diaplikasikan pada kecepatan rendah dan daya yang rendah sampai sedang.

Motor listrik terkadang disebut “kuda kerja” industri sebab diperkirakan motor-motor menggunakan sekitar 70% beban listrik total di industri. Sedangkan untuk motor DC itu sendiri memerlukan suplai tegangan yang searah pada kumparan jangkar dan kumparan medan untuk diubah menjadi energi mekanik. Pada motor DC kumparan medan disebut *startor* (bagian yang berputar). Motor DC sering dimanfaatkan sebagai penggerak pintu bergeser otomatis dan pada rangkaian robot sederhana. Motor DC memiliki peran yang sangat banyak dalam kehidupan sehari-hari dan kehidupan dunia industri. Motor DC memudahkan pekerjaan sehingga proses industri dapat berjalan efisien. Semakin banyak industri yang berkembang maka akan semakin banyak mesin yang digunakan. Semakin banyak mesin yang digunakan, maka semakin banyak penggunaan motor DC, oleh karena itu sangat penting untuk mengetahui dan mengerti pengertian motor DC, prinsip kerja, jenis-jenis motor DC, aplikasi dan

perhitungan motor DC.

Motor listrik sangat sering digunakan di industri seperti mesin bubut, pembentuk, dan *spinning*, serta untuk keperluan suatu proyek pengembangan penelitian di berbagai universitas. Ada beberapa tipe motor DC yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam penelitian ini dirancang motor DC yang dalam satu rangka memiliki dua macam kumparan medan sehingga bisa dioperasikan sesuai dengan keperluan tanpa harus mengeluarkan biaya tambahan yang lain. Penelitian-penelitian ini akan dibuat atau didesain sebuah motor DC penguatan terpisah.

Perancangan motor DC adalah usaha untuk dapat merancang motor DC yang lebih baik sehingga memiliki unjuk kerja yang baik bukan hanya dalam percobaan di laboratorium tetapi dalam kehidupan sehari-hari. Dalam merancang motor DC tidak hanya dituntut masalah unjuk kerja yang baik, akan tetapi produk tersebut harus sesuai dengan kebutuhan pasar. Untuk mendapatkan suatu motor DC yang mempunyai efisiensi tinggi diperlukan suatu perancangan yang menyeluruh atau dapat juga pada bagian-bagian tertentu saja.

Akan tetapi sampai saat ini banyak perguruan tinggi masih membeli motor DC untuk keperluan di laboratorium maupun keperluan suatu proyek penelitian dan pengembangan lebih lanjut. Oleh karena itu, pada penelitian dan penulisan tugas akhir ini akan didesain sebuah motor DC penguatan terpisah dan juga akan dianalisis besaran-besaran yang dihasilkan motor DC tersebut sehingga nanti hasilnya bisa dimanfaatkan untuk keperluan laboratorium Fakultas Teknik Universitas Jember khususnya jurusan Teknik Elektro.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini ada beberapa hal yang menjadi rumusan masalah diantaranya:

1. Bagaimana mendesain kumparan medan motor penguatan terpisah yang dibangun.
2. Pengujian hasil desain motor DC penguatan terpisah tidak menggunakan beban.
3. Penelitian meliputi desain medan motor DC Penguat Terpisah
4. Jangkar yang digunakan adalah jangkar motor DC Permanen Magnet.

1.3 Tujuan

Penelitian yang diusulkan dalam proposal ini memiliki beberapa tujuan diantaranya:

1. Mendesain motor DC penguatan terpisah dari motor permanen magnet dan menguji desain motor DC penguatan terpisah dengan tidak menggunakan beban.
2. Mengimplementasikan desain motor DC penguatan terpisah pada kehidupan sehari-hari dan menguji unjuk kerja peralatan yang dibuat dan membandingkan dengan teori.

1.4 Manfaat

Penelitian yang diusulkan dalam proposal ini memiliki beberapa manfaat diantaranya:

1. Tidak perlu pembelian motor DC lagi apabila motor DC mengalami kerusakan.

2. Memperkenalkan motor DC penguatan terpisah pada industri rumah tangga dengan biaya relatif murah.
3. Dapat membuat motor DC penguat terpisah dari motor DC permanen magnet.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan uraian rumusan masalah tersebut, maka pembahasan pada skripsi dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Motor DC yang akan dibuat motor DC penguatan terpisah dari motor DC permanen magnet.
2. Desain meliputi kumparan medan motor DC penguatan terpisah 3 kutub.
3. Besaran yang dianalisis adalah kecepatan yang dihasilkan motor DC penguatan terpisah.

1.6 Sistematika Pembahasan

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika pembahasan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi penjelasan tentang teori yang berhubungan dengan penelitian.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi hasil penelitian dan analisa hasil penelitian.

BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulis.



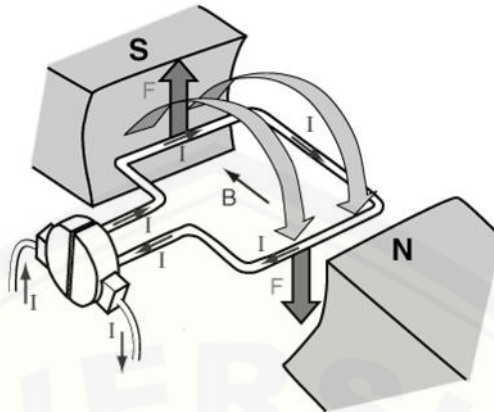
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Motor DC adalah mesin yang mengubah energi listrik DC menjadi energi mekanis. Pada prinsip pengoperasiannya, motor DC sangat identik dengan generator DC. Mesin yang bekerja sebagai generator DC akan dapat bekerja sebagai motor DC, oleh sebab itu, sebuah mesin DC dapat digunakan baik sebagai motor DC maupun generator DC.

Penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari sangat jarang untuk aplikasi industri biasa. Hal ini disebabkan sistem peralatan listrik yang menggunakan sumber AC, akan tetapi untuk aplikasi khusus seperti pabrik baja, tambang dan kereta api listrik, penggunaan motor DC sangat bermanfaat di dalam mengubah sumber AC menjadi sumber DC. Ini dimungkinkan karena motor arus searah memiliki karakteristik yang berbeda. Motor DC juga memiliki efisiensi yang tinggi sehingga lebih unggul dari motor arus bolak-balik.

2.1 Prinsip Kerja Motor DC

Prinsip kerja sebuah motor DC dapat dijelaskan dengan gambar berikut ini.

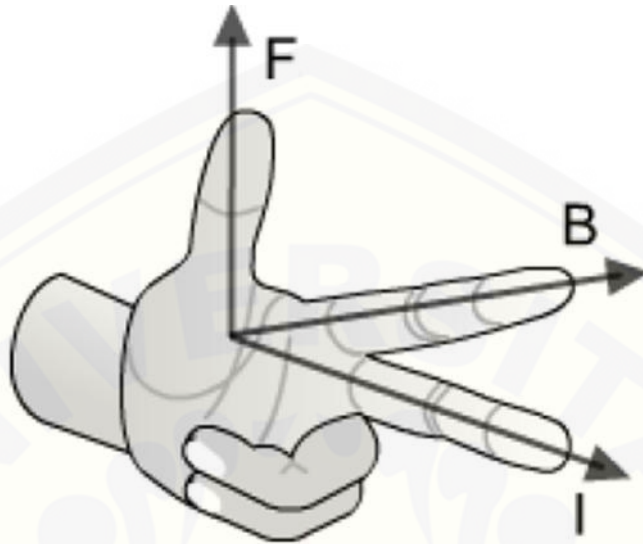


Gambar 2.1 Prinsip perputaran motor DC penguatan terpisah

Pada saat kumparan medan dihubungkan dengan sumber tegangan, mengalir arus medan I_f pada kumparan medan karena rangkaian tertutup sehingga menghasilkan fluksi magnet yang arahnya dari kutub utara menuju kutub selatan. Selanjutnya ketika kumparan jangkar dihubungkan ke sumber tegangan, pada kumparan jangkar mengalir arus jangkar I_a . Arus yang mengalir pada konduktor-konduktor kumparan jangkar menimbulkan fluksi magnet yang melingkar. Fluksi jangkar ini memotong fluksi dari kutub medan, sehingga menyebabkan perubahan kerapatan fluksi dari medan utama. Hal ini menyebabkan jangkar mengalami gaya sehingga menimbulkan torsi.

Gaya yang dihasilkan pada setiap konduktor dari sebuah jangkar, merupakan akibat aksi gabungan medan utama dan medan di sekeliling konduktor. Gaya yang dihasilkan berbanding lurus dengan besar fluksi medan utama dan kuat medan di sekeliling konduktor. Medan di sekeliling masing-masing konduktor jangkar tergantung pada besarnya arus jangkar yang mengalir pada konduktor tersebut. Arah gaya ini dapat ditentukan dengan “KAIDAH TANGAN KIRI FLEMING”, yang berbunyi: apabila tangan kiri terbuka diletakkan di antara kutub U dan S, sehingga garis-garis gaya yang keluar dari kutub utara menembus telapak tangan kiri dan arus di dalam kawat mengalir searah dengan arah keempat

jari, maka kawat itu akan mendapat gaya yang arahnya sesuai dengan arah ibu jari, sebagaimana yang ditunjukkan oleh gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kaidah tangan kiri *Fleming* (Tonny, 2011)

Besarnya gaya $F = B \cdot I \cdot l \cdot \sin\theta$, karena arus jangkar (I) tegak lurus dengan arah induksi magnetik (B) maka besar gaya yang dihasilkan oleh arus yang mengalir pada konduktor jangkar yang ditempatkan dalam suatu medan magnet adalah :

$$F = B \cdot I \cdot L \text{ (Newton) } \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

F = Gaya *lorenz* (Newton)

I = Arus yang mengalir pada konduktor jangkar (Ampere)

B = Kerapatan fluksi (Weber/m²)

l = Panjang konduktor jangkar (m)

2.2 Gaya Gerak Listrik pada Motor DC

Ketika jangkar motor berputar konduktornya juga berputar dan memotong fluksi utama. Sesuai dengan hukum *faraday*, akibat gerakan konduktor di dalam suatu medan magnetik maka pada konduktor tersebut akan timbul GGL induksi yang diinduksikan pada konduktor tersebut dimana arahnya berlawanan dengan tegangan yang diberikan pada motor. Karena arahnya melawan, maka hal tersebut disebut GGL lawan. Besarnya tegangan yang diinduksikan tersebut sesuai dengan persamaan berikut:

$$E_b = K \cdot n \cdot \Phi \text{ (Volt) (2.2)}$$

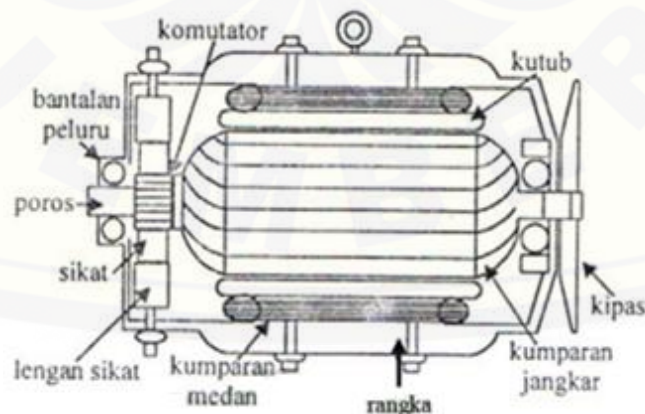
Keterangan :

K = konstanta (bergantung pada ukuran fisik motor)

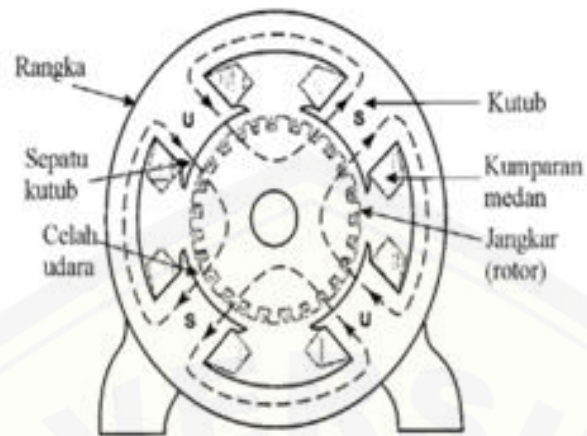
Φ = fluksi setiap kutub

2.3 Konstruksi Motor DC

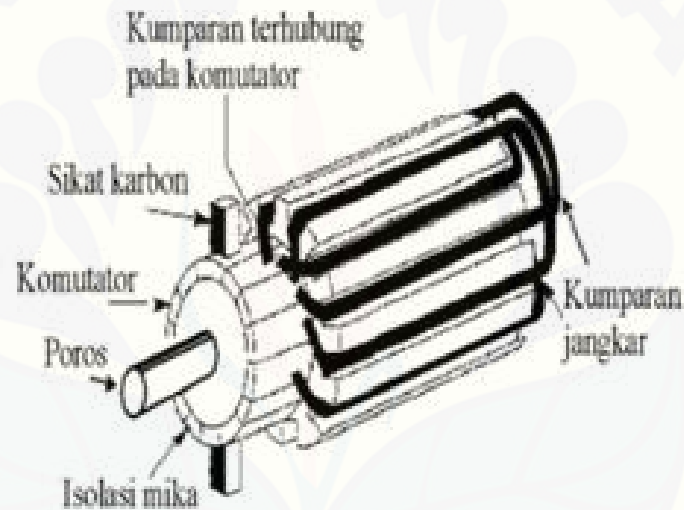
Motor DC terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian yang diam (stator) dan bagian yang berputar (rotor). Konstruksi motor DC adalah seperti gambar berikut :



Gambar 2.3 Konstruksi motor DC



(a) Stator



(b) Rotor

Gambar 2.4 Motor DC

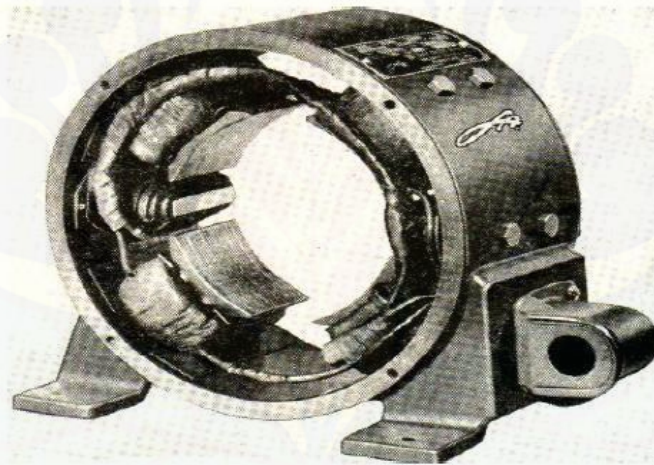
2.4 Bagian–Bagian Stator

2.4.1 Badan Motor/Rangka

Rangka (*frame* atau *yoke*) mesin DC seperti juga mesin-mesin listrik lainnya secara umum memiliki dua fungsi, yaitu:

- a. Merupakan sarana pendukung mekanik untuk mesin secara keseluruhan.
- b. Untuk membawa fluks magnetik yang dihasilkan oleh kutub-kutub magnet.

Untuk mesin kecil, pertimbangan harga lebih dominan dari pada beratnya, biasanya rangkanya terbuat dari besi tuang (*cast iron*), tetapi untuk mesin-mesin besar umumnya terbuat dari baja tuang (*cast steel*) atau lembaran baja (*rolled steel*). Rangka ini pada bagian dalam dilaminasi untuk mengurangi rugi-rugi inti, selain itu rangka ini juga harus memiliki permeabilitas yang tinggi, selain kuat secara mekanik. Biasanya pada motor terdapat papan nama (*name plate*) yang bertuliskan spesifikasi umum atau data-data teknik dari mesin, juga terdapat kotak ujung yang merupakan tempat ujung belitan penguat medan dan lilitan jangkar.



Gambar 2.5 Rangka motor

2.4.2 Kutub Utama

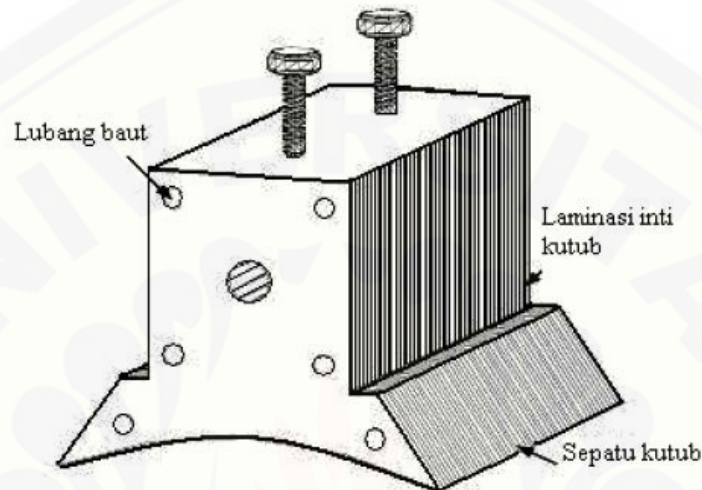
Kutub utama pada suatu mesin DC (motor DC) terdiri atas:

- a. Inti Kutub

Inti kutub ini terbuat dari laminasi baja yang terisolasi satu sama lain dengan permeabilitas tinggi. Bentuknya biasanya datar atau menonjol (*salient*) dan berfungsi untuk menghasilkan fluks magnet.

b. Sepatu Kutub

Sepatu kutub yang terletak berdekatan celah udara, berfungsi untuk memperlebar fluks magnet agar terdistribusi merata meliputi daerah yang luas di celah udara dan permukaan inti jangkar.



Gambar 2.6 Sepatu kutub

2.4.3 Kutub Antara

Kutub antara ini mempunyai bentuk yang lebih kecil dari kutub utama, serta jumlah kutub yang sama atau setengah dari kutub utama. Kutub ini berfungsi untuk membangkitkan fluks magnet di daerah jangkar diantara medan utama agar tidak terdistorsi sebab distorsi dapat menyebabkan *ripple* gelombang dan berakibat loncatan api di sikat arang.

2.4.4 Kumbaran Medan

Kumbaran medan yang dikenal juga dengan kumbaran penguat berfungsi untuk menghasilkan fluks magnet, diletakkan pada inti kutub. Adapun kumbaran

medan ini akan disuplai dengan sumber tegangan searah (DC). Ada beberapa jenis cara untuk meletakkan kumparan medan dan bagian dari kumparan medan ini, yang diantaranya:

a. Kumparan *Shunt*

Jumlah lilitan yang banyak, dengan kawat berdiameter kecil menyebabkan tahanannya besar yang memungkinkan diparalel dengan tegangan terminal.

b. Kumparan Seri

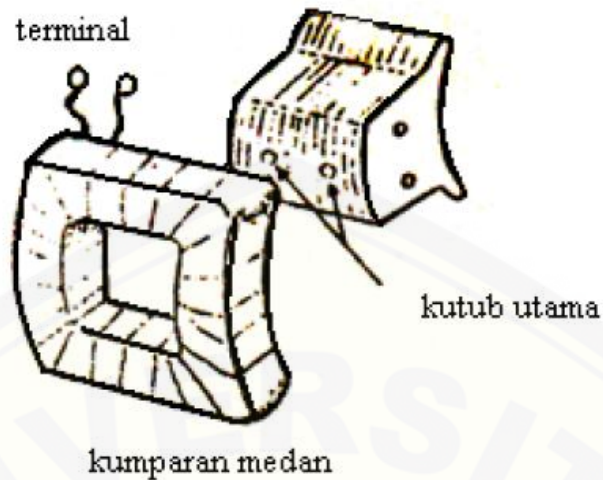
Jumlah lilitan sedikit, namun kawat diameternya besar sehingga mampu dilalui arus cukup besar, sementara tahanannya kecil sehingga rugi tegangannya kecil.

c. Kumparan Komutasi / Antara

Disambungkan secara seri dengan kumparan utama sehingga arus yang mengalir cukup besar, dengan penampang kawat besar dan jumlah lilitan sedikit.

d. Kumparan Kompensasi

Biasanya dijumpai pada mesin berkapasitas besar, berfungsi untuk mengantisipasi distorsi medan utama dan membantu penyebaran fluks secara merata selama terbebani. Kumparan kompensasi ini diletakkan pada sepatu kutub.



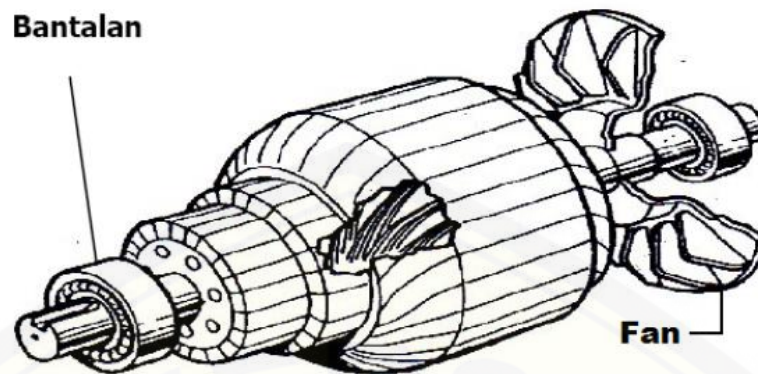
Gambar 2.7 Peletakan kumparan medan pada kutub utama

2.4.5 Celah Udara

Celah udara berperan sebagai pemisah antara kumparan jangkar dengan kumparan medan yang memberikan ruang untuk kumparan jangkar berputar, serta sebagai tempat mengalirnya fluks yang dihasilkan oleh kutub-kutub medan.

2.4.6 Bantalan

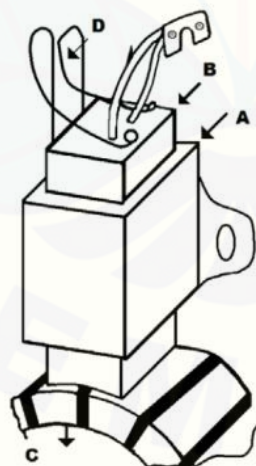
Bantalan pada suatu mesin DC dapat dibedakan menjadi mesin terbuka, setengah terbuka, tahan percikan api, dan tertutup dengan pendingin zat cair atau gas. Sedangkan *bearing* (bantalan) adalah merupakan tempat bertumpunya rotor sehingga dapat berputar. Bantalan yang terpasang di ujung rotor dikenal dengan AS (*After Shaft*) dan BS (*Before Shaft*).



Gambar 2.8 Bantalan dan kipas

2.4.7 Sikat Arang

Sikat ini ditempatkan di atas komutator dengan pegas yang memberikan tingkatan penekanan sesuai yang diinginkan. Sikat sebaiknya memiliki konduktivitas tinggi untuk mengurangi rugi-rugi listrik dan memiliki koefisien gesek yang rendah untuk mengurangi keausan (*excessive wear*).



**A (Dudukan
Sikat)**

B (Sikat Arang)

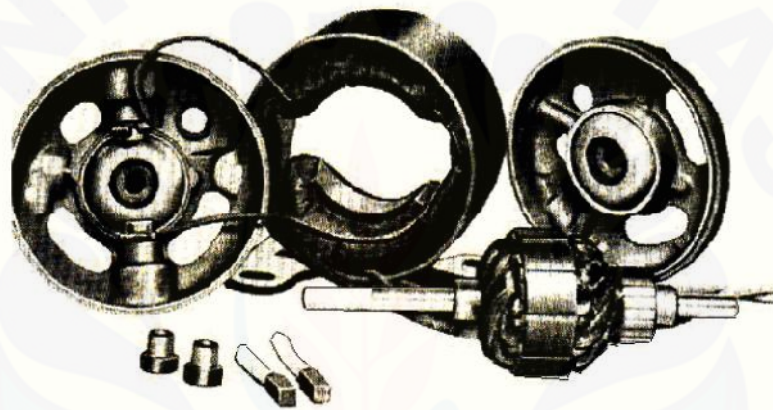
C (Komutator)

D (Pegas)

Gambar 2.9 Sikat dan pemegangnya

2.4.8 Penutup Mesin, Kipas dan Kotak Terminal

- a. Kipas terdapat pada motor dengan kapasitas kecil hingga sedang, yang berfungsi sebagai sistem pendingin sendiri.
- b. *Terminal Box* merupakan tempat untuk menyambungkan kumparan–kumparan mesin dengan jala–jala atau sumber tegangan.
- c. Tutup yang diletakkan pada kedua sisi ujung rangka berfungsi sebagai tempat dudukan bantalan poros motor, serta melindungi bagian dalam dari motor.



Gambar 2.10 Tutup motor

2.5 Bagian–Bagian Rotor

2.5.1 Inti Jangkar dan Poros Jangkar

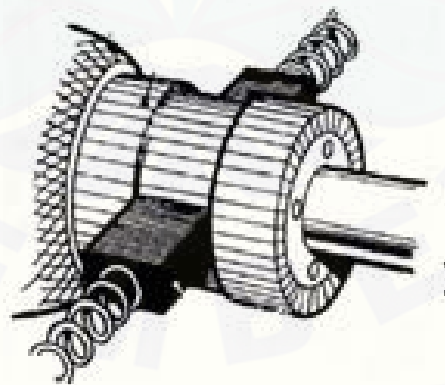
Terdiri dari laminasi besi permeabilitas tinggi, terdapat slot atau alur untuk kumparan, berlubang untuk udara pendingin. Inti jangkar berfungsi sebagai tempat dudukan belitan jangkar, sedangkan poros berfungsi sebagai pemutar beban.



Gambar 2.11 Inti jangkar dan poros

2.5.2 Komutator

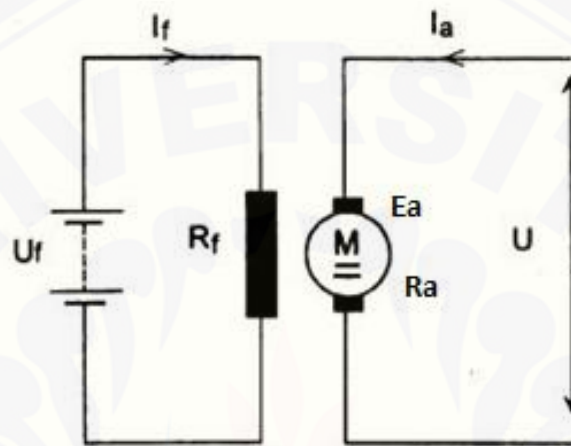
Komutator terdiri dari sejumlah segmen tembaga yang berbentuk lempengan yang dirakit ke dalam silinder yang terpasang pada poros. Tiap-tiap lempengan atau segmen komutator terisolasi dengan baik antara satu sama lainnya. Isolasi pada komutator adalah mika. Komutator ini berfungsi untuk merubah arus bolak-balik pada kumparan jangkar menjadi DC.



Gambar 2.12 Letak dan penampang komutator

2.6 Motor DC Penguatan Terpisah

Motor DC penguatan terpisah adalah sebuah motor yang merubah energi listrik menjadi energi gerak dimana kumparan jangkar dan kumparan medannya disusun secara terpisah dan rangkaian ekuivalen motor DC penguatan terpisah dapat dilihat pada gambar 2.13.



Gambar 2.13 Rangkaian ekuivalen motor penguatan terpisah

Pada motor Penguatan terpisah ini terdapat dua hal yang mempengaruhi nilai torsi dan kecepatan dari motor dc jenis penguat terpisah, yaitu tegangan fluks medan. Hal ini dapat kita amati dari persamaan dasar motor dc, sebagai berikut :

$$V = E_a + I_a R_a \dots \dots \dots (2.3)$$

Jika

$$E = c n \Phi$$

Maka diperoleh

$$V_t = c n \Phi + I_a R_a$$

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

Keterangan :

N = kecepatan

c = konstanta

R_a = Tahanan jangkar

V_t = tegangan jepit motor

I_a = arus jangkar

Φ = fluks magnet

2.7 Rugi –Rugi Motor Penguatan terpisah

Motor DC menerima daya masukan berupa energi listrik dan menghasilkan daya keluaran berupa energi mekanis. Akan tetapi, tidak seluruh daya masukan ke motor diubah menjadi daya keluaran yang berguna, selalu ada energi yang hilang selama proses pengkonversian energi tersebut. Energi yang hilang tersebut ada yang dikonversikan menjadi panas dan ada yang diserap oleh mesin untuk mengatasi gesekan karena adanya bagian yang berputar di dalam mesin. Rugi-rugi daya dalam bentuk panas ini jika nilainya terlalu besar akan dapat menyebabkan kenaikan temperatur motor yang dapat merusak isolasi dan mempercepat berkurangnya umur ekonomis motor sehingga membatasi daya keluaran motor.

Dengan demikian selalu ada selisih antara daya masukan dan daya keluaran motor. Ini merupakan rugi-rugi daya yang terjadi di dalam motor. Dalam persamaan dinyatakan dengan :

$$\Sigma \text{Rugi-Rugi} = \text{Daya Masukan} - \text{Daya Keluaran} \dots\dots\dots (2.4)$$

Akhirnya, rugi-rugi di dalam motor DC didefinisikan sebagai selisih daya antara daya masukan yang diterima motor dengan daya keluaran yang dapat dihasilkannya dimana selisih daya tersebut berubah menjadi bentuk energi yang lain yang tidak dapat digunakan bahkan dapat merugikan bagi motor itu sendiri.

Sebagian tenaga listrik (input) motor DC hilang atau berubah menjadi panas. Dalam hal ini akan menimbulkan panas yang berlebihan yang berakibat rusaknya isolasi. Hal tersebut terjadi pada setiap mesin DC, baik itu generator DC

maupun motor DC dan mesin AC. Kerugian–kerugian itu antara lain disebabkan oleh reaksi jangkar, arus liar, gesekan, arus yang mengalir pada belitan, rheostat dan sebagainya.

2.7.1 Rugi-Rugi Tembaga

Rugi-rugi tembaga adalah rugi-rugi daya yang terjadi di dalam kumparan medan dan kumparan jangkar motor. Kawat tembaga kedua kumparan tersebut memiliki nilai resistansi R_f dan R_a , maka jika mengalir arus DC sebesar I_f dan I_a akan menyebabkan kerugian daya yang dihitung dengan persamaan :

$$P_a = I_a^2 \cdot R_a \dots\dots\dots (2.5)$$

$$P_f = I_f^2 \cdot R_f \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

P_a = rugi tembaga kumparan jangkar

P_f = rugi tembaga kumparan medan

I_a = arus jangkar

I_f = arus medan

R_a = resistansi jangkar

R_f = resistansi medan

2.7.2 Rugi Rotasional

Rugi-rugi beban *stray* merupakan rugi-rugi yang disebabkan oleh arus pusar di dalam tembaga dan rugi-rugi inti tambahan di dalam besi, yang timbul karena pendistorsian fluks magnetik oleh arus beban dan rugi-rugi hubung singkat komutasi.

$$\text{Rugi Rotasional} = P_{in} - \text{Rugi Tembaga} \dots\dots\dots (2.7)$$

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Slamet Riyadi No. 62 Patrang, Jember 68111 setelah pelaksanaan seminar proposal.

Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian

No	Kegiatan	Bulan				
		I	II	III	IV	V
1	Studi literature					
2	Perancangan dan pembuatan alat					
3	Analisa data					
4	Pengujian alat					
5	Pembuatan laporan					

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

- a. Obeng plus 1 Buah
- b. Obeng minus 1 Buah
- c. Kunci pas 1 Buah
- d. Kunci ring 1 Buah

e. Tracker	1 Buah
f. Palu besi	1 Buah
g. Palu karet	1 Buah
h. Peniti	1 Buah
i. Tang potong	1 Buah
j. Tang buaya	1 Buah
k. Tang kombinasi	1 Buah
l. <i>Power analyzer</i>	1 Buah
m. AVR	1 Buah
n. Tachometer	1 Buah
o. Solder	1 Buah

3.2.2 Bahan

a. Motor DC permanet magnet	1 Buah
b. Grease (stempet)	secukupnya
c. Kumparan tembaga	3 Buah
d. Isolasi	secukupnya
e. Akrelik	secukupnya
f. Mur dan baut	secukupnya
g. Kabel dan jumper	secukupnya

3.3 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini, ada beberapa tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Tahap pembongkaran motor DC permanet magnet.
2. Tahap desain kontruksi pada kumparan medan motor DC Penguatan Terpisah.

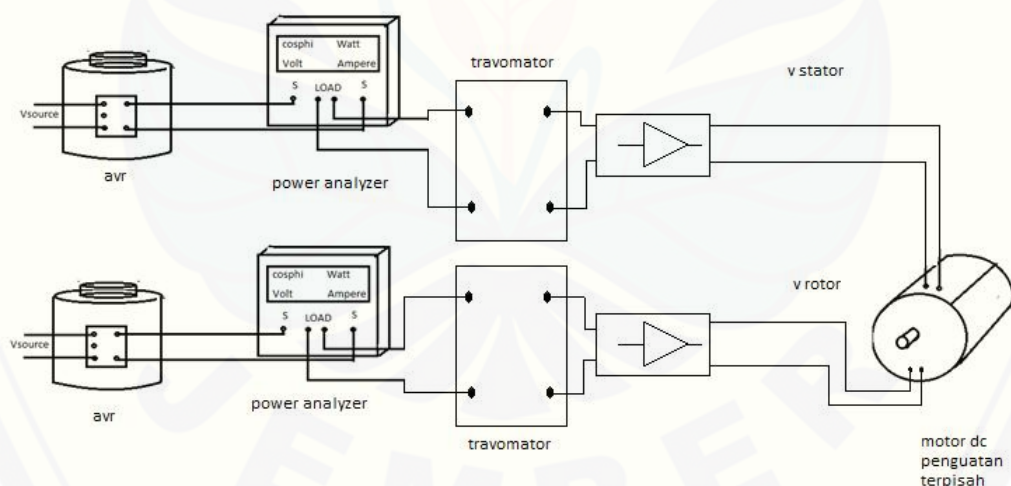
3. Tahap mengulung kumparan medan motor DC Penguatan terpisah dengan metode jerat.
4. Tahap pengujian dan analisis data.

3.4 Prinsip Pengujian Sistem

Berikut ini merupakan desain pengujian dan diagram alir (*FlowChart*) penelitian tentang motor DC Penguat Terpisah..

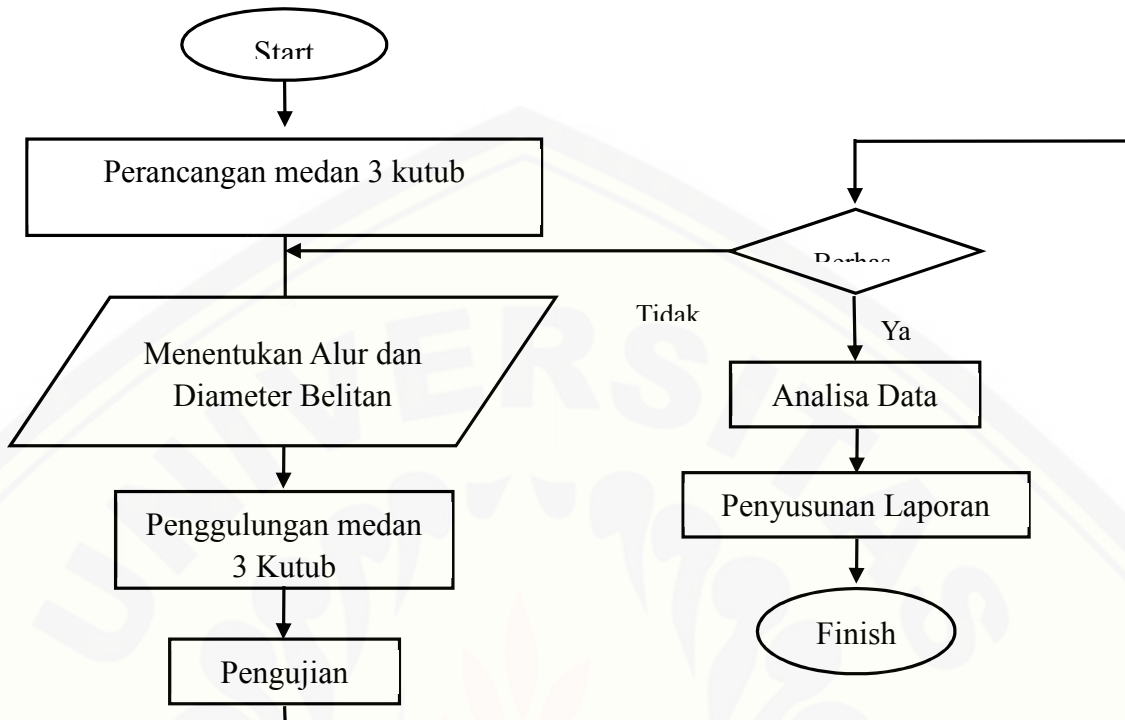
3.4.1 Desain Pengujian Motor DC Penguat Terpisah 3 Kutub Medan

Pada penelitian ini, Motor DC Penguat Terpisah 3 Kutub Medan yang sudah digulung ulang medannya akan diuji. Pengujian pada penelitian ini menggunakan AVR untuk mengatur tegangan inputnya, sedangkan untuk mengukur arus dan tegangan digunakan avometer dan mengukur kecepatan dengan Tachometer.



Gambar 3.1 Diagram pengujian alat

3.4.2 Diagram alir (*Flow Chart*) Penelitian

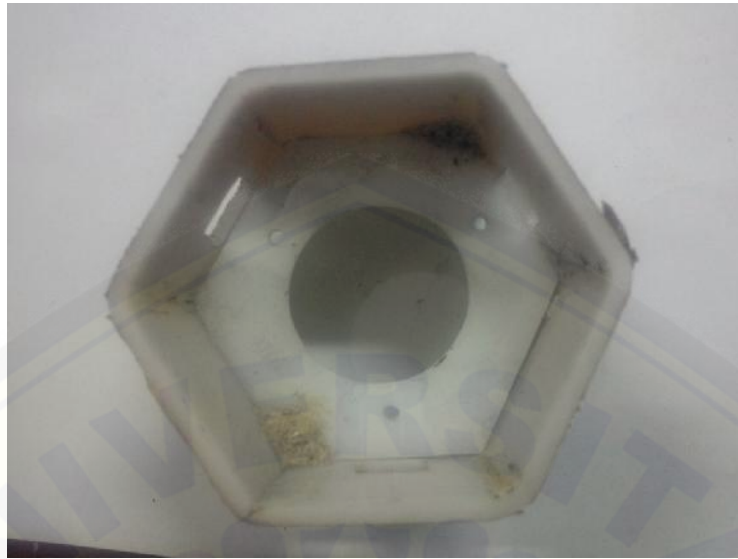


Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

Dalam penelitian ini dimulai dengan merencanakan 3 kutub medan, dimana setelah menentukan kutub medan dilanjutkan dengan menentukan alur serta diameter kawat tembaga kemudian digulung dengan metode jerat diaman keunggulan metode ini sangat mudah pengaplikasiannya dan kemudian proses selanjutnya ialah melaksanakan pengujian untuk mendapatkan parameter pada motor DC penguat terpisah dengan 3 (tiga) kutub medan, proses selanjutnya ialah menganalisa dan menyusun laporan.

3.4.1 Rangka Stator

Rangka stator yang digunakan terbuat dari akrilik. Hal ini memiliki tujuan untuk mempermudah dalam peletakan stator dan kumparannya. Bentuk rangka stator dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangka Stator

3.4.2 Inti Stator

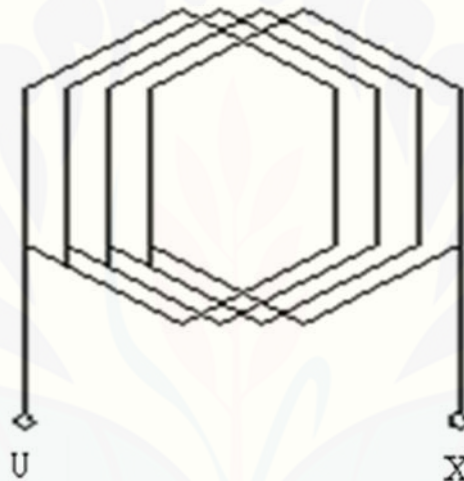
Inti stator terbuat dari besi lunak yang disusun sedemikian rupa sehingga diperoleh ukuran panjang penampang 7,7 cm, lebar penampang 3 cm dan tinggi penampang 1 cm. Inti stator ini berguna untuk memperkecil rugi-rugi gesek udara dikarenakan jarak antara medan dan jangkar dapat kita atur. Bentuk inti stator dapat dilihat pada gambar 3.4 .



Gambar 3.4 Inti Stator

3.4.3 Kumparan Stator

Kumparan atau belitan stator terbuat dari bahan tembaga yang dilapisi mika sebagai bahan isolator. Kawat tembaga yang digunakan yaitu jenis supreme. Gulungan tembaga ini terdiri dari beberapa lilitan dan membentuk solenoid. Bentuk kumparan stator ada tiga jenis tergantung dari kapasitas motor yang akan dibuat diantaranya adalah kumparan jerat (*spiral*), kumparan terpusat (*concentric winding*) dan kumparan gelombang (*wave winding*). Pada penelitian ini, model kumparan menggunakan kumparan jerat (lihat Gambar 3.5).



Gambar 3.5 Kumparan Jerat

3.4.4 Menggulung Kumparan Medan

Hal yang diperlukan untuk menggulung motor penguat terpisah 3 kutub adalah menghitung kumparan. Penghitungan jumlah lilitan pada suatu bidang difungsikan untuk mengetahui serta menyeragamkan jumlah belitan pada tiap kutub sehingga diharapkan diperolehnya resistansi yang seragam pada tiap belitan pada kutubnya.



Gambar 3.6 Menggulung Tembaga

3.4.5 Penggabungan dengan Rotor

Setelah kumparan stator digulung dan stator selesai dirakit, dimulai penggabungan stator dengan rotor untuk menguji keberhasilan rancang bangun motor induksi satu fasa dua kutub.



Gambar 3.7 Rotor saat akan digabung dengan stator

3.4.6 Pengujian Alat

Pada penelitian ini, untuk mengetahui target yang diinginkan, motor dirangkai dengan alat ukur berupa 4 buah multimeter sehingga dapat diketahui nilai tegangan dan arus pada catu daya rotor dan stator motor DC Penguat Terpisah 3 Kutub ini, serta menggunakan Tachometer untuk menentukan RPM motor.



3.8 Gambar pengambilan data pada medan



3.9 Gambar pengambilan data pada jangkar



3.10 Gambar pengambilan data RPM

Pengambilan data pada medan (gambar 3.8) menghubungkan paralel pada *power supply* medan untuk mengukur tegangannya sedangkan pada saat mengambil data arus dihubungkan seri pada rangkaian. Proses pengambilan data pada jangkar (gambar 3.9) mirip dengan pengambilan data pada medan, hanya saja berbeda pada *power supply*nya, dikarenakan motor yang dibahas adalah motor DC penguat terpisah. Pengambilan data kecepatan motor DC penguat terpisah (gambar 3.10) ini menggunakan tachometer, dengan cara menembakkan mengarahkan cahaya tachometer pada motor.

3.5 AVR

AVR atau *Automatic Voltage Regulator* ini digunakan untuk memberikan tegangan konstan pada pengujian motor DC Penguat Terpisah.

3.6 Penyearah

Penyearah ini digunakan untuk mengkonversi sumber ac dari AVR tersebut menjadi sumber DC. Dan sumber DC ini yang digunakan untuk membangkitkan motor DC tipe Penguat Terpisah.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian motor DC penguat terpisah dengan 3 kutub medan ini menggunakan beberapa metode yaitu dengan metode pengukuran resistansi, pengujian DC test dan pengujian tanpa beban. Hal ini dilakukan untuk dapat mengetahui hasil data serta mengetahui permasalahan setiap pengujian.

4.1 Pengukuran Resistansi

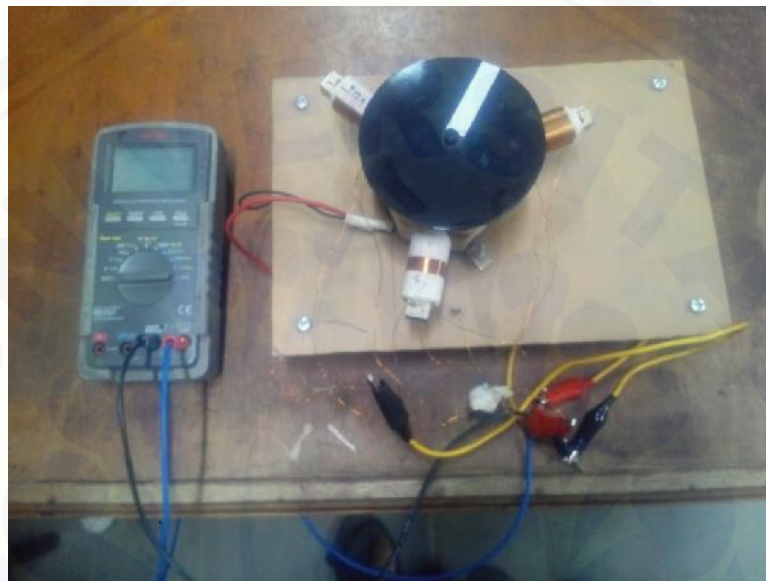
Pada pengukuran resistansi ini diukur dengan menggunakan avometer dimana kita mengukur resistansi pada resistansi jangkar (R_a) dan resistansi medan (R_f). Pengukurannya menggunakan jamper buaya dalam menyambungkan avometer dengan medan dan jangkar pada motor DC penguat terpisah 3 kutub medan magnet, sehingga kita mengetahui nilai dari R_a (resistansi medan) dan R_f (resistansi jangkar) sesuai tabel 4.1 berikut :

4.1 Tabel pengukuran resistansi motor DC penguat terpisah 3 kutub medan magnet

Resistansi Ohm	
R_f (Resistansi Medan)	5,6 Ohm
R_a (Resistansi Jangkar)	2,7 Ohm

Setelah melaksanakan pengukuran resistansi pada jangkar dan medan, kita dapatkan nilai resistansi medan (R_f) sebesar 5,6 Ohm, sehingga kita mengetahui besarnya R_f pada saat R_f belum diberikan tegangan. Sedangkan

pada resistansi medan (R_a) diketahui nilai 2,7 Ohm dimana kita dapat mengetahui resistansi jangkar (R_a) sebesar 5.6 Ohm, pada saat jangkar belum diberi tegangan. Pengujian ini mengharapakan kita mengetahui resistansi murni saat motor DC penguat terpisah 3 kutub medan belum diberikan tegangan.



Gambar 4.1 Pengukuran Resistansi Medan (R_f)



Gambar 4.2 Pengukuran Resistansi Jangkar (R_a)

4.2 Pengujian DC Test

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui atau mendeteksi berfungsinya desain kumparan medan pada motor DC penguatan terpisah yang dirancang dari motor DC permanen magnet, yang dibuat menjadi motor DC penguat terpisah dengan 3 kutub medan. Sebelum pengujian tanpa beban, dilakukan pengukuran resistansi pada jangkar dan medan. Kemudian kita akan melaksanakan pengujian DC *test* dimana saat pengujian ini keadaan jangkar ditahan, sehingga kita dapat mengetahui resistansinya pada saat diberi tegangan. Sedikit berbeda pada percobaan sebelumnya yaitu pengukuran Resistansi tanpa diberikan tegangan input. Dalam percobaan DC *test* ini kami menggunakan 4 buah avometer serta 2 buah *power supply*, dimana 2 buah avometer serta 1 buah *power supply* diperuntukkan pada sisi jangkar dan 2 buah avometer serta 1 buah *power supply* diperuntukkan pada sisi medan.



Gambar 4.3 DC Test pada posisi medan

DC *test* pada jangkar difungsikan untuk mencari besaran resistansi jangkar, maka kami mengaplikasikan pada sisi jangkar yaitu 2 buah avometer,

dimana satu buah avometer kami susun secara seri dengan *power supply* sehingga dapat mengukur data arusnya, yang kami sebut I_a (arus jangkar). Sedangkan satu buah lagi avometer kami susun paralel dengan *power supply* sehingga dapat mengukur data tegangannya, yang kami sebut V_a (tegangan jangkar).



Gambar 4.4 DC Test pada posisi jangkar

DC *test* pada medan difungsikan untuk mencari besaran resistansi medan, maka kami mengaplikasikan pada sisi medan yaitu 2 buah avometer, dimana satu buah avometer kami susun secara seri dengan *power supply* sehingga dapat mengukur data arusnya, yang kami sebut I_f (arus medan). Sedangkan satu buah lagi avometer kami susun paralel dengan *power supply* sehingga dapat mengukur data tegangannya, yang kami sebut V_f (tegangan medan).

Pengukuran ini bertujuan untuk mencari hambatan di setiap belitannya, untuk hasil DC *test* pada sisi kumparan jangkar maupun kumparan medan. Untuk pengukuran DC *test* ini menggunakan persamaan:

$$R = \frac{V_{dc}}{I_{dc}} \dots \dots \dots (4.1)$$

Untuk menentukan rata – rata pada perhitungan R maka menggunakan persamaan dibawah ini,yaitu:

$$R_{rata - rata} = \frac{R_1+r_{...}+R_n}{n} \dots\dots\dots(4.2)$$

Sesuai persamaan 4.1 maka akan diperoleh besaran resistansi, kami akan memberikan hitungan pada saat mencari $R_{a_{12V}}$, sebagi berikut:

$$R_{a_{12V}} = 12/3,5 = 3.4$$

Setelah kita ketemukan nilai dari resistansinya pada setiap data yang dihitung kemudian kita menentukan nilai resistansi rata-ratanya, dengan persamaan 4.2 kita dapat menghitung R rata-ratanya sebagai berikut :

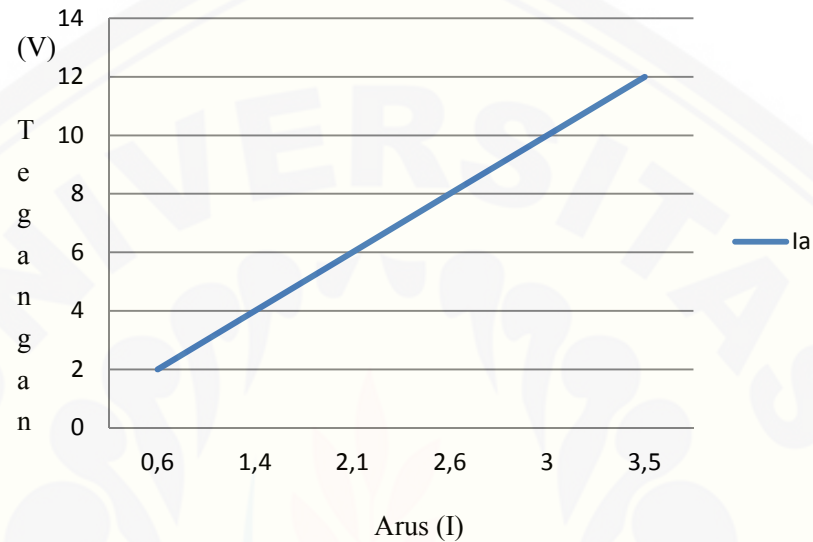
$$R_{a_{rata-rata}} = \frac{3,3+2,8+2,8+2,6+3+3,4+3}{6} = 3 \text{ Ohm}$$

Berdasarkan persamaan 4.2 dan persamaan 4.3 yang dihitung dapat kita lihat pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Pengujian DC test pada kumparan jangkar

Tegangan (Va)	Arus (Ia)	Resistansi Perhitungan (Ra)
2 V	0,6 A	3,3 Ω
4 V	1,4 A	2,8 Ω
6 V	2,1 A	2,8 Ω
8 V	2,6 A	2,6 Ω
10 V	3,0 A	3,3 Ω
12 V	3,5 A	3,4 Ω
Ra rata - rata		3,0 Ω

Dari pengukuran DC *test* tersebut dapat diketahui rata-rata resistansi yang mengalir pada kumparan jangkarnya adalah 3 Ohm. Pengujian DC *test* pada jangkar ini menggunakan tegangan (V_a) 2 V, 4 V, 6 V, 8 V, 10 V dan 12 V. Bila kita munculkan data pada Tabel 4.2 menjadi grafik sebagai berikut :



Grafik 4.1 Hubungan antara I_a dan V_a

Sesuai grafik 4.1 Hubungan antara I_a dan V_a dapat kita artikan bila terjadi kenaikan pada V_a (tegangan jangkar) maka I_a (arus jangkar) semakin naik juga, bisa juga dinyatakan bahwa V_a (tegangan jangkar) berbanding lurus dengan I_a (arus pada jangkar).

Sesuai persamaan 4.1 maka akan diperoleh besaran resistansi, kami akan memberikan hitungan pada saat mencari $R_{f_{12}}$ sebagai berikut:

$$R_{f_{12V}} = 12/1,9 = 6,3 \text{ Ohm}$$

Setelah kita temukan nilai dari resistansinya pada setiap data yang dihitung kemudian kita menentukan nilai resistansi rata-ratanya dengan persamaan 4.2 seperti berikut ini :

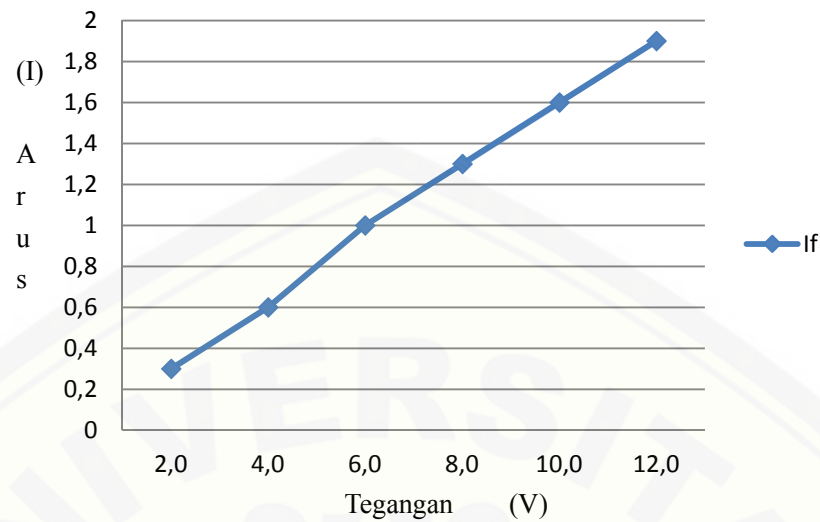
$$R_{rata-rata} = \frac{3,3+2,8+2,8+2,6+3+3,4+3}{6} = 3 \text{ Ohm}$$

Setelah dihitung dan diperoleh nilai dari R_f kemudian kita dapat memasukkan pada tabel 4.3. Pada tabel ini dimasukkan tegangan medan (V_f), arus medan (I_f) yang diperoleh dari DC *test*, serta resistansi medan (R_f) dan rata-rata yang dihitung dengan persamaan 4.1 dan 4.2 :

Tabel 4.3 pengujian DC *test* pada kumparan medan

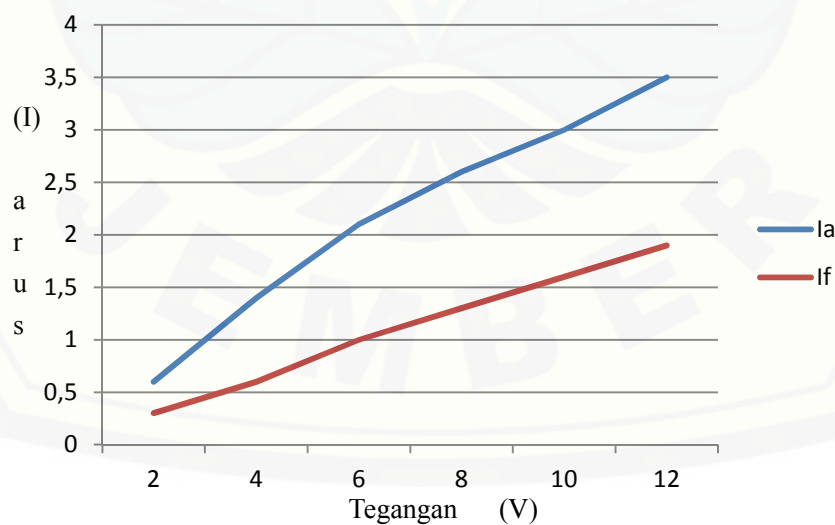
V_f	I_f	R_f Perhitungan
2	0,3	6,6
4	0,6	6,6
6	1,0	6,0
8	1,3	6,1
10	1,6	6,2
12	1,9	6,3
R _f rata - rata		6,3

Dari pengukuran DC *test* tersebut dapat diketahui rata-rata resistansi yang mengalir pada kumparan jangkarnya adalah 6 Ohm sesuai perhitungan dari persamaan 4.2. Pengujian DC *test* pada jangkar ini menggunakan tegangan (V_a) 2 V, 4 V, 6 V, 8 V, 10 V dan 12 V. Bila kita munculkan data pada Tabel 4.3 menjadi grafik sebagai berikut :

Grafik 4.2 Hubungan antara I_f dan V_f

Sesuai grafik 4.2 Hubungan antara I_f dan V_f dapat kita artikan bila terjadi kenaikan pada V_f (tegangan jangkar) maka I_a (arus jangkar) semakin naik juga, juga bisa dinyatakan bahwa V_a (tegangan jangkar) berbanding lurus dengan I_a (arus pada jangkar).

Bila kita membandingkan hubungan I dan V pada medan dan jangkar dapat diperoleh graik seperti berikut:

Grafik 4.3 Hubungan antara V dan I medan dan jangkar

Bila kita perhatikan grafik 4.3 dapat kita ketahui bahwa arus baik pada medan dan jangkar terus naik pada saat tegangan dinaikan. Hal ini membuktikan bahwa tegangan berbanding lurus dengan arus pada motor DC penguat terpisah 3 kutub medan ini.

4.3 Percobaan Tanpa Beban

Setelah pengujian DC *test*, untuk pengujian selanjutnya adalah pengujian motor DC penguatan terpisah 3 kutub magnet tanpa beban, pengujian tanpa beban ini dilakukan untuk mencari besar arus line pada motor saat diberi tegangan dan untuk mencari rugi-rugi tembaga serta mencari rugi-rugi rotasional yang terjadi pada saat motor DC penguatan terpisah 3 kutub medan tanpa beban. Untuk pengujiannya kumparan medan dan kumparan jangkar motor DC dirangkai secara terpisah kemudian diberikan sumber 220 Vac dari kontaktor dimasukkan ke AVR (*Automatic Voltage Regulator*), dengan tujuan agar tegangan dapat berubah-ubah melalui AVR ini dari mulai 0 Volt sampai 220 Volt. Setelah melalui AVR kemudian dihubungkan ke transformator dengan output 12 Vac kemudian kita sambungkan dengan penyearah agar sumber yang dihasilkan dari sumber AC menjadi sumber DC, dari penyearah dihubungkan ke motor DC penguatan terpisah 3 kutub magnet.

Pada saat motor DC penguatan terpisah 3 kutub medan diberikan tegangan, motor akan bergerak dan menghasilkan kecepatan putar serta arus line. Dengan menggunakan alat ukur berupa multimeter maka akan diketahui batas tegangan masukkan dari AVR (*Automatic Voltage Regulator*) yang diberikan arus line yang mengalir baik pada medan maupun pada sisi jangkar. Besarnya kecepatan putar yang dihasilkan motor DC penguat terpisah 3 kutub medan tersebut diukur dengan menggunakan alat pengukur kecepatan putar berupa tachometer.



Gambar 4.5 Pengujian motor DC penguatan terpisah 3 kutub medan

Dari pengujian motor DC penguat terpisah 3 kutub medan tanpa beban tersebut didapatkan hasil parameter pengukuran dari pengujian motor DC tipe penguatan terpisah yang meliputi tegangan masukan (v_{in}), tegangan jangkar (V_a), tegangan medan (V_f), arus line (I_l), arus jangkar (I_a), arus medan penguatan terpisah (I_f) dan RPM.

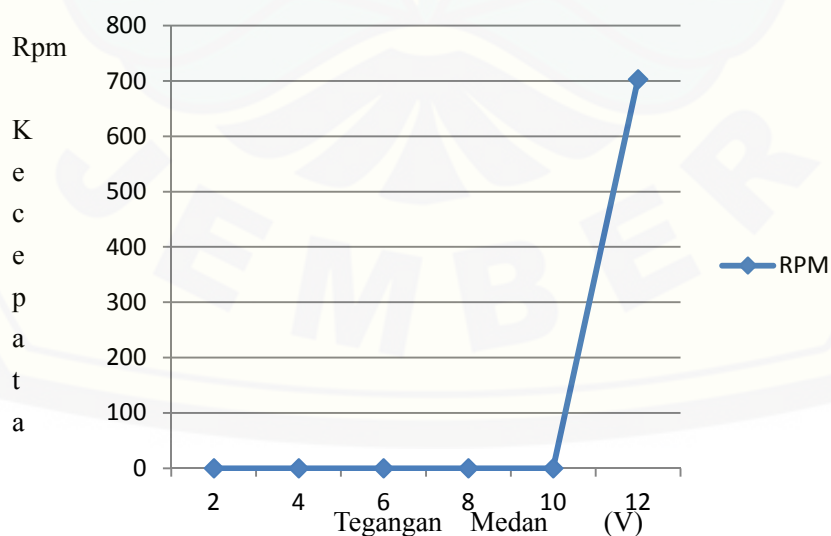
Pada saat pengujian DC tanpa beban ini terdapat data tegangan (V) dan arus (A) sehingga kita dapat menghitung resistansi (R perhitungan) dengan menggunakan persamaan 4.1.

4.4 Tabel percobaan tanpa beban

V		I		Rpm
Jangkar	Medan	Jangkar	Medan	
2	2	0,6	0,3	0
2	4	0,6	0,5	0
2	6	0,6	0,9	0
2	8	0,6	1,2	0
2	10	0,6	1,4	0
2	12	0,5	1,7	703
4	2	1,3	0,2	0
4	4	1,2	0,5	0
4	6	1,2	0,8	276
4	8	1	1,1	858
4	10	0,9	1,4	1157
4	12	0,8	1,7	1348
6	2	2,1	0,2	0
6	4	1,8	0,5	465
6	6	1,5	0,8	1605
6	8	1,2	1,1	2317
6	10	1	1,4	2555
6	12	0,8	1,7	2636
8	2	2,4	0,2	1214
8	4	1,8	0,5	2665
8	6	1,2	0,8	2996
8	8	1	1	3100

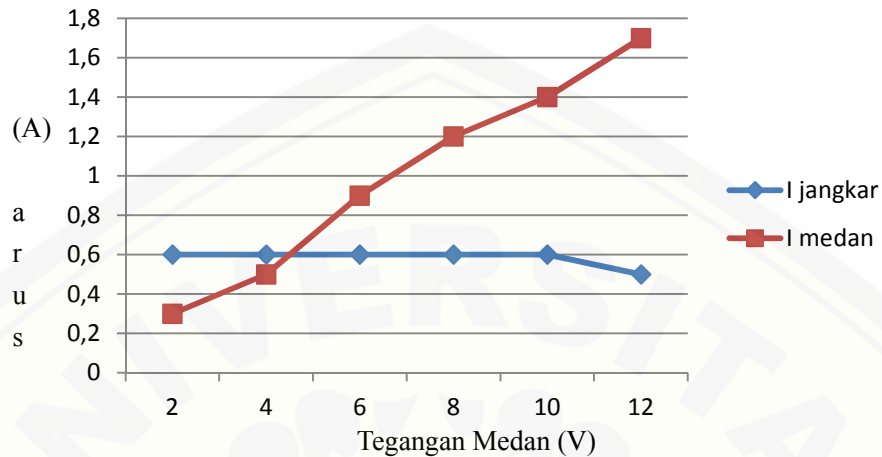
8	10	0,9	1,3	3185
8	12	0,8	1,6	3213
10	2	2,7	0,2	2195
10	4	1,7	0,5	3033
10	6	0,7	0,8	3404
10	8	0,5	1,2	3741
10	10	0,2	1,3	3981
10	12	0,6	1,6	4103
12	2	2,3	0,2	3401
12	4	1,6	0,3	4006
12	6	1,2	0,7	4230
12	8	1,5	1	4223
12	10	1,4	1,6	4249
12	12	0,9	1,3	4288

Untuk lebih mempermudah dalam memahami hasil dari tabel 4.4 maka akan dijelaskan melalui grafik 4.4 ,



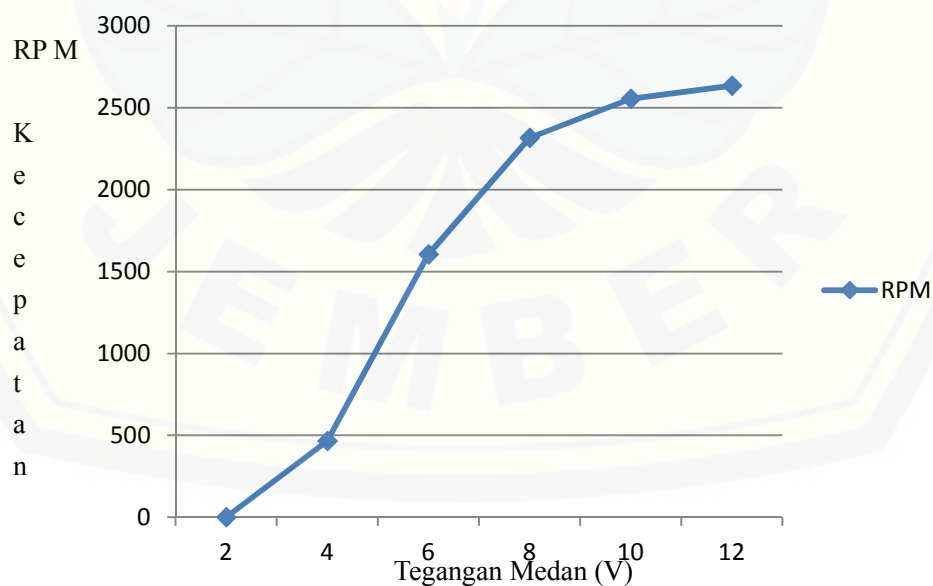
Grafik 4.4 Hubungan antara V medan dan RPM pada saat tegangan jangkar 2 Volt.

Grafik 4.4 ini menunjukkan bahwa pada saat tegangan medan 12 V terjadi putaran, RPM sebesar 703.



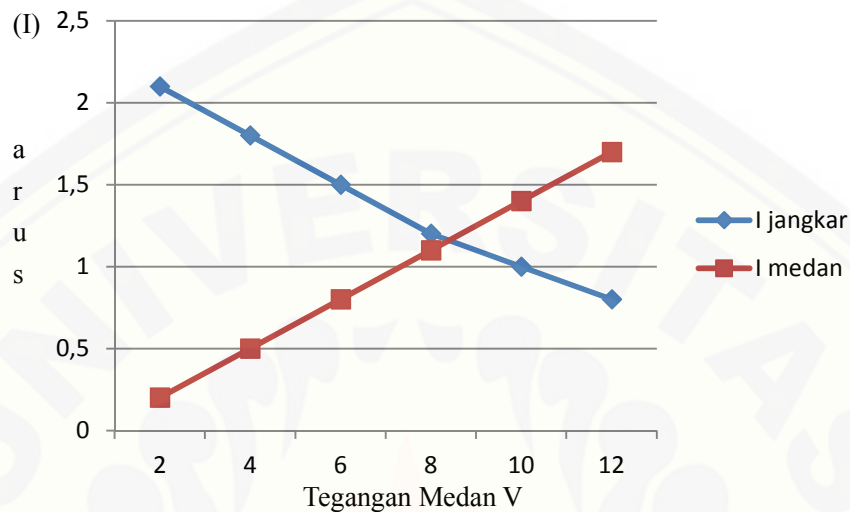
Grafik 4.5 hubungan antara V medan dan I pada saat tegangan jangkar 2 Volt.

Dari grafik 4.5 didapatkan arus I jangkar yang cenderung stabil kemudian turun pada saat di sisi tegangan medan diberikan 12 Volt. Hal ini dikarenakan motor sudah pada posisi *running* atau sudah berputar seperti ditunjukkan pada Grafik 4.5. Sedangkan pada I medan terus naik dikarenakan medan terus dinaikan tensingannya, sedangkan jangkarnya tetap 2 Volt.



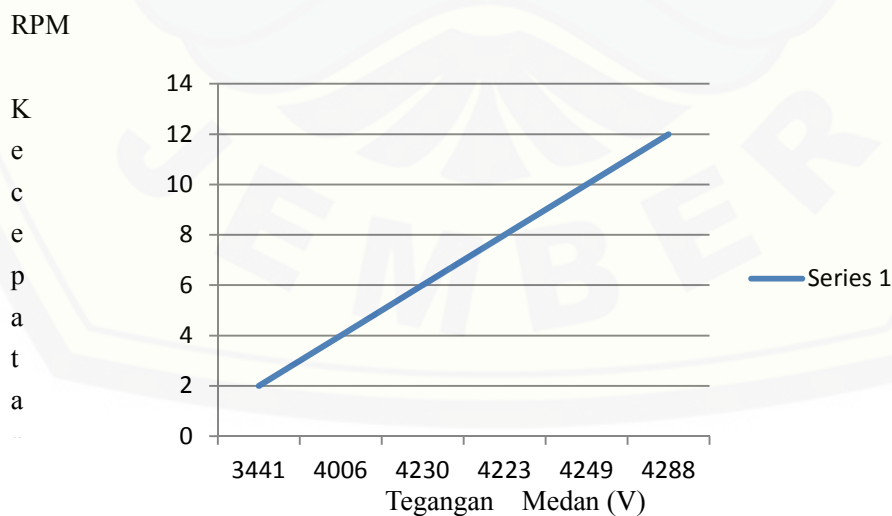
Grafik 4.6 Hubungan antara V medan dan RPM pada saat tegangan jangkar 6 Volt.

Pada Grafik 4.6 didapatkan grafik yang terus naik setiap kita menaikkan tegangan pada medannya.

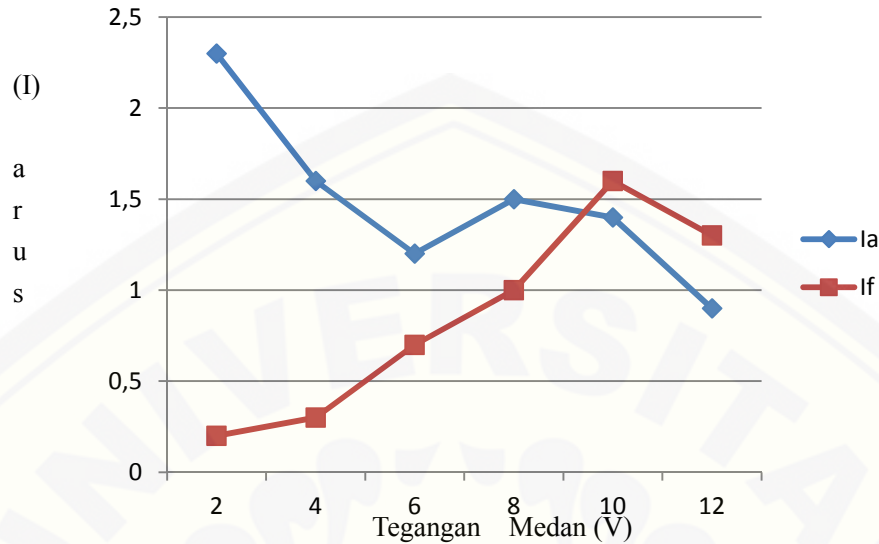


Grafik 4.7 Hubungan antara V medan dan I pada saat tegangan jangkar 6 Volt.

Dari grafik 4.7 didapatkan arus I jangkar yang cenderung turun, hal ini dikarenakan motor sudah pada posisi *running* atau sudah berputar dan dikarenakan tegangan pada jangkar tetap 6 Volt. Sedangkan pada I medan terus naik dikarenakan, medan terus dinaikan tensingannya.



Grafik 4.8 hubungan antara V medan dan RPM pada saat tegangan jangkar 12 Volt.



Grafik 4.9 Hubungan antara V medan dan I pada saat tegangan jangkar 12 Volt.

Pada grafik 4.9 mendapatkan nilai I jangkar yang cenderung turun, tetapi saat tegangan medan 8 Volt maka nilai I jangkarnya naik sedikit kemudian turun kembali. Kenaikan arus ini dimungkinkan karena rotor sudah mendekati titik maksimalnya, hal ini senada dengan nilai grafik 4.8 dimana *ring* RPM sudah tidak lagi terlampaui jauh.

Berdasar penelitian motor DC penguat terpisah yang ditunjukkan Tabel 4.4 dapat dilihat karakteristiknya terdapat hubungan antara tegangan dan arus pada jangkar dan medan, dikarenakan penelitian ini bertujuan mencari RPM sebagai acuannya maka akan dibandingkan dengan RPM pengukuran dengan RPM perhitungan, sesuai dengan persamaan 4.3.

$$\phi = \frac{Vt - I_a . R_a}{c.n} \dots\dots\dots (4.3)$$

Setelah ditemukan fluk sesuai persamaan 4.3 yang dihitung dari Tabel 4.4 kemudian dihitung dengan menggunakan arus dan resistansi pada DC tes sehingga diperoleh RPM perhitungan dengan menggunakan persamaan 4.4 .

$$n = \frac{Vt - I_a \cdot R_a}{c \cdot \phi} \dots\dots\dots(4.4)$$

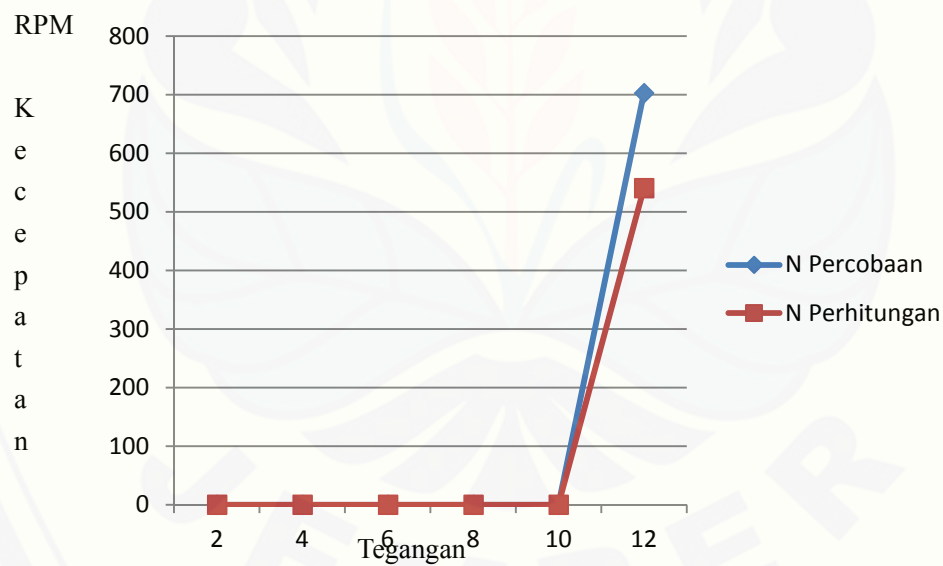
Dari persamaan 4.3 dan 4.4 maka kita dapatkan nilai RPM perhitungan dimana fluk (ϕ) dicari dari data percobaan tanpa beban yang terdapat pada Tabel 4.4. Sedangkan bila kita mencari RPM perhitungan menggunakan persamaan 4.4 dimana R_a menggunakan data pengujian resistansi.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan RPM

V		Rpm	RPM	Error
Jangkar	Medan	Pengukuran	Perhitungan	%
2	2	0	0	0
2	4	0	0	0
2	6	0	0	0
2	8	0	0	0
2	10	0	0	0
2	12	703	540,77	30
4	2	0	0	0
4	4	0	0	0
4	6	276	145,26	90
4	8	858	660,00	30
4	10	1157	958,03	20
4	12	1348	1172,17	15
6	2	0	0	0
6	4	465	244,74	90
6	6	1605	1234,62	30
6	8	2317	2014,78	15
6	10	2555	2322,73	10
6	12	2636	2471,25	6,67
8	2	1214	638,95	90
8	4	2665	2206,69	20,77
8	6	2996	2769,41	8,18
8	8	3100	2924,53	6
8	10	3185	3030,61	5,09
8	12	3213	3080,96	4,29
10	2	2195	1538,93	42,63

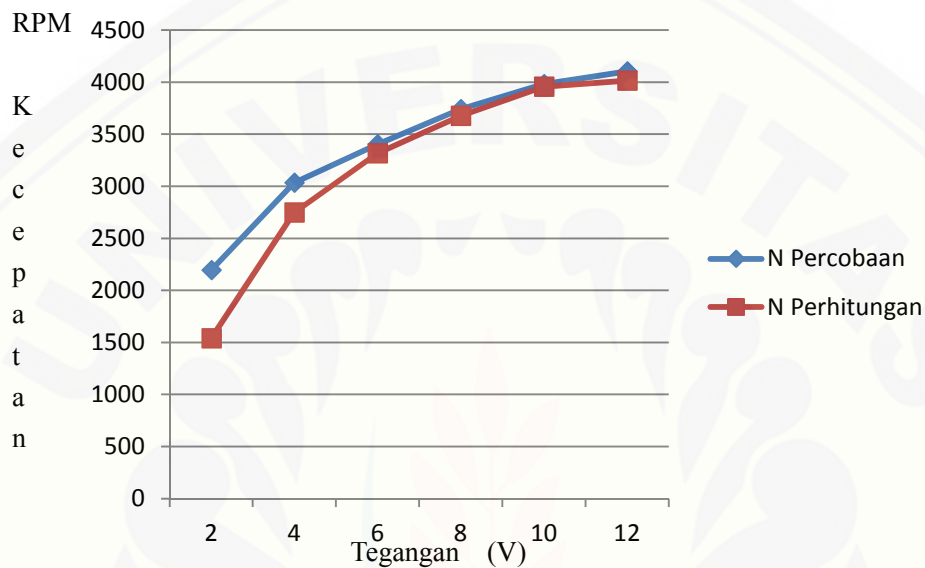
10	4	3033	2747,08	10,41
10	6	3404	3315,86	2,66
10	8	3741	3676,13	1,76
10	10	3981	3955,75	0,64
10	12	4103	4014,87	2,20
12	2	3401	2995,70	13,53
12	4	4006	3755,63	6,67
12	6	4230	4056,16	4,29
12	8	4223	3983,96	6
12	10	4249	4031,90	5,38
12	12	4288	4167,02	2,90

Dengan Tabel 4.5 dapat kita membuat grafik hubungan antara N percobaan dengan N perhitungan dimana N perhitungan ini menggunakan R dari DC Tes. Bisa kita lihat pada grafik 4.10 sebagai berikut:



Grafik 4.10 Hubungan N percobaan dan N perhitungan saat V_a 2

Pada grafik 4.10 diperoleh grafik yang cenderung berhimpitan antara N percobaan dengan N perhitungan hal ini dimungkinkan karena nilai N perhitungan tidak jauh berbeda dengan N percobaan, sehingga menghasilkan grafik yang berhimpit.



Grafik 4.11 Hubungan N percobaan dan N perhitungan saat Va 10

Pada grafik 4.11 mendapatkan nilai N perhitungan dan N percobaan yang linier, meskipun ada perbedaan nilai, masih dapat ditolerir dikarenakan eror persen yang tidak signifikan.

Berdasarkan Tabel 4.4 untuk mencari rugi-rugi tembaga dan rugi rotasional maka diperlukan persamaan berikut dengan $R_a = 3 \text{ Ohm}$ dan $R_f = 6,3 \text{ Ohm}$.

$$\text{Rugi tembaga jangkar} = I_a^2 \cdot R_a \dots\dots\dots(4.5)$$

$$\text{Rugi tembaga medan} = I_f^2 \cdot R_f \dots\dots\dots(4.6)$$

$$\text{Rugi putaran} = P_{in} - ((I_a^2 + I_f^2) \times (R_a + R_f)) \dots\dots\dots(4.7)$$

Dari persamaan tersebut maka dapat diketahui rugi-rugi tembaga dan rugi rotasional pada motor DC penguat terpisah dengan 3 kutub magnet tanpa beban seperti pada tabel 4.6 :

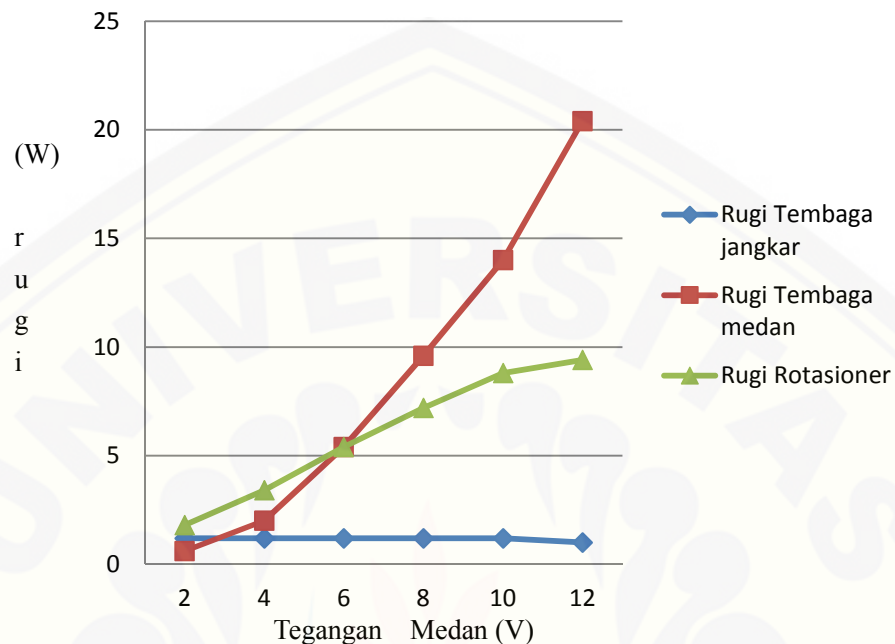
Tabel 4.6 Hasil perhitungan rugi-rugi pada motor DC penguat tanpa beban

Vin		Pin (W)	Rugi Tembaga (W)		Rugi Stasioner (W)
Jangkar	Medan		Jangkar	Medan	
2	2	3,6	1,2	0,6	1,8
2	4	6,6	1,2	2	3,4
2	6	12	1,2	5,4	5,4
2	8	18	1,2	9,6	7,2
2	10	24	1,2	14	8,8
2	12	30,8	1	20,4	9,4
4	2	9	5,2	0,4	3,4
4	4	13,6	4,8	2	6,8
4	6	20	4,8	4,8	10,4
4	8	25,2	4	8,8	12,4
4	10	32,2	3,6	14	14,6
4	12	40	3,2	20,4	16,4
6	2	18,4	12,6	0,4	5,4
6	4	23	10,8	2	10,2
6	6	27,6	9	4,8	13,8
6	8	32,2	7,2	8,8	16,2
6	10	38,4	6	14	18,4

6	12	45	4,8	20,4	19,8
8	2	26	19,2	0,4	6,4
8	4	27,6	14,4	2	11,2
8	6	28	9,6	4,8	13,6
8	8	32	8	8	16
8	10	39,6	7,2	13	19,4
8	12	48	6,4	19,2	22,4
10	2	34,8	27	0,4	7,4
10	4	30,8	17	2	11,8
10	6	24	7	4,8	12,2
10	8	30,6	5	9,6	16
10	10	30	2	13	15
10	12	48,4	6	19,2	23,2
12	2	35	27,6	0,4	7
12	4	30,4	19,2	1,2	10
12	6	34,2	14,4	4,2	15,6
12	8	50	18	8	24
12	10	66	16,8	16	33,2
12	12	52,8	10,8	15,6	26,4

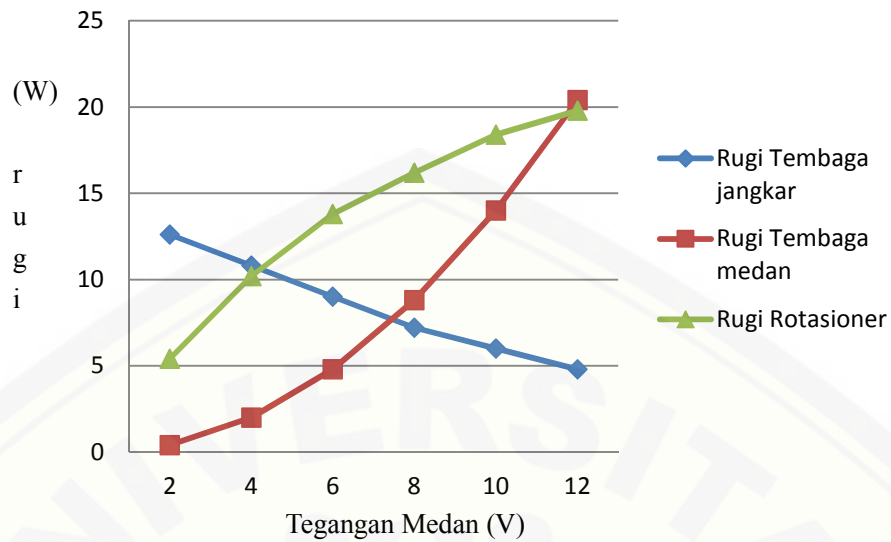
Rugi daya pada tembaga timbul karena setiap kawat tembaga pada kumparan medan dan kumparan jangkar memiliki nilai resistansi R_a dan R_f sehingga jika arus DC mengalir sebesar I_a dan I_f maka akan menyebabkan kerugian daya pada motor. Rugi rotasional dapat terjadi karena semakin meningkat daya masukan yang dihasilkan motor maka semakin meningkatnya rugi-rugi tembaga, maka rugi rotasional juga semakin meningkat. Dari data tabel 4.6 dapat dibuat grafik hubungan antara tegangan terhadap rugi daya yang

dihasilkan motor pada saat berputar tanpa menggunakan beban. Grafik tersebut dapat dilihat pada grafik 4.12:



Grafik 4.12 Rugi tembaga dan rugi rotasioner pada saat V_a 2 Volt pada jangkar

Pada grafik 4.12 rugi tembaga jangkar dapat dikatakan linier karena tidak terjadi perubahan yang signifikan, pada rugi tembaga medan kecenderungannya naik diakibatkan tegangannya terus dinaikan serta arusnya juga naik seiring tegangan pada medan ini dinaikan.



Grafik 4.13 Rugi tembaga dan rugi rotasioner pada saat V_a 6 Volt pada jangkar

Nilai rugi tembaga jangkar pada grafik 4.13 cenderung turun dikarenakan tegangan pada jangkar ini konstan, nilai rugi tembaga medan cenderung naik begitu pula pada rugi stasioner.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan uraian dan penelitian yang penulis lakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Saat mendesain kumparan medan stator motor DC Penguat Terpisah, parameter yang harus diperhatikan adalah dimensi utama, rangka, jangkar, kutub dan lilitan kumparan medan.
2. Pengujian DC *test* pada motor DC Penguat Terpisah dihasilkan nilai resistansi pada jangkar sebesar 3 Ohm dan resistansi pada kumparan medan sebesar 6,3 Ohm.
3. Motor DC penguatan terpisah ini mulai dapat berputar pada saat tegangan jangkar 2 Volt dan tegangan medan 12 Volt.
4. Pada tegangan jangkar 12 Volt dan tegangan medan 4 Volt, 6 Volt, 8 Volt, 10 Volt dan 12 Volt RPM dari motor ini cenderung tidak berubah banyak, motor pada tegangan tersebut sudah maksimum.

5.2 Saran

1. Perlu adanya penambahan alat ukur agar dapat lebih mudah mendapatkan nilai-nilai parameter dalam pengujian.
2. Penelitian berikutnya hendaknya menggunakan rangka motor besi, tidak lagi menggunakan akrilik.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambrosius Alexander Tino, 2012. *Pengaruh Modifikasi Belitan Stator Motor Induksi 1 Fasa Rotor Sangkar Menjadi Motor Induksi 3 Fasa Terhadap Perubahan Daya Keluaran*. Jurnal ELTEK, Vol 10 No 02, ISSN. Kupang : Politeknik Negeri Kupang.
- Arifin Y dan Amir A, 2010. *Pemodelan dan Pengendalian Motor DC Menggunakan Simulasi Matlab*. Palu : Universitas Tadulako.
- Firdaus, 2011. *Analisis Hubungan Peningkatan Beban Pada Tiga Jenis Motor Induksi Satu Fasa Terhadap Nilai Total Harmonic Distortion Arus dan Tegangan*. Pekanbaru : Universitas Riau.
- Chapman S.J, 2005. *Electric Machinery Fundamentals*. Australia : BAE Systems Australia
- Mardika N, 2008. *Analisa Karakteristik Putaran Torsi Arus Searah Penguatan Shunt Berkutub Bantu*. Medan : Universitas Sumatra Utara.
- Pericles E, 1990. *Motors, Generators, Transformers, and Energy*. New York : Queensborough Community College of the City University of New York.
- Sawhney A. K, 1990. *A Course in Electrical Machine Design*. New Delhi : Dhanfat Rai & Sons.
- Universitas Jember. 2009. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Jember : Jember University Press.



LAMPIRAN

A. Perhitungan Resistansi (R) Jangkar Pada Percobaan DC Test

- $V_1 = R_1 \times I_1$

$$2 = R_1 \times 0,6$$

$$R_1 = \frac{2}{0,6}$$

$$R_1 = 3,3 \Omega$$

- $V_2 = R_2 \times I_2$

$$4 = R_2 \times 1,4$$

$$R_2 = \frac{4}{1,4}$$

$$R_2 = 2,8 \Omega$$

- $V_3 = R_3 \times I_3$

$$6 = R_3 \times 2,1$$

$$R_3 = \frac{6}{2,1}$$

$$R_3 = 2,8 \Omega$$

- $V_4 = R_4 \times I_4$

$$8 = R_4 \times 2,6$$

$$R_4 = \frac{8}{2,6}$$

$$R_4 = 2,6 \Omega$$

- $V_5 = R_5 \times I_5$
 $10 = R_5 \times 3$
 $R_5 = \frac{10}{3}$
 $R_5 = 3,3 \Omega$
- $V_6 = R_6 \times I_6$
 $12 = R_6 \times 3,5$
 $R_6 = \frac{12}{3,5}$
 $R_6 = 3,4 \Omega$
- $R_{rata-rata} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6}{6}$
 $R_{rata-rata} = \frac{3,3 + 2,8 + 2,8 + 2,6 + 3,3 + 3,4}{6}$
 $R_{rata-rata} = 3 \Omega$

B. Perhitungan Resistansi (R) Jangkar Pada Percobaan DC Test

- $V_1 = R_1 \times I_1$
 $2 = R_1 \times 0,3$
 $R_1 = \frac{2}{0,3}$
 $R_1 = 6,6 \Omega$
- $V_2 = R_2 \times I_2$
 $4 = R_2 \times 0,6$
 $R_2 = \frac{4}{0,6}$
 $R_2 = 6,6 \Omega$

- $V_3 = R_3 \times I_3$

$$6 = R_3 \times 1$$

$$R_3 = \frac{6}{1}$$

$$R_3 = 6 \Omega$$

- $V_4 = R_4 \times I_4$

$$8 = R_4 \times 1,3$$

$$R_4 = \frac{8}{1,3}$$

$$R_4 = 6,1 \Omega$$

- $V_5 = R_5 \times I_5$

$$10 = R_5 \times 1,6$$

$$R_5 = \frac{10}{1,6}$$

$$R_5 = 6,2 \Omega$$

- $V_6 = R_6 \times I_6$

$$12 = R_6 \times 1,9$$

$$R_6 = \frac{12}{1,9}$$

$$R_6 = 3,4 \Omega$$

- $$R_{rata-rata} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6}{6}$$

$$R_{rata-rata} = \frac{6,6 + 6,6 + 6 + 6,1 + 6,2 + 6,3}{6}$$

$$R_{rata-rata} = 6,3 \Omega$$

C. Perhitungan fluks (Φ)

- $$\Phi_1 = \frac{Vt - I_a \times R_a}{C \times N}$$

$$\Phi_1 = \frac{2 - 0,6 \times 2,7}{4,44 \times 0}$$

$$\Phi_1 = 0$$

- $$\Phi_2 = \frac{Vt - I_a \times R_a}{C \times N}$$

$$\Phi_2 = \frac{2 - 0,6 \times 2,7}{4,44 \times 0}$$

$$\Phi_2 = 0$$

- $$\Phi_3 = \frac{Vt - I_a \times R_a}{C \times N}$$

$$\Phi_3 = \frac{2 - 0,6 \times 2,7}{4,44 \times 0}$$

$$\Phi_3 = 0$$

- $$\Phi_4 = \frac{Vt - I_a \times R_a}{C \times N}$$

$$\Phi_4 = \frac{2 - 0,6 \times 2,7}{4,44 \times 0}$$

$$\Phi_4 = 0$$

- $$\phi_5 = \frac{Vt - Ia \times Ra}{C \times N}$$
$$\phi_5 = \frac{2 - 0,6 \times 2,7}{4,44 \times 0}$$
$$\phi_5 = 0$$

- $$\phi_6 = \frac{Vt - Ia \times Ra}{C \times N}$$
$$\phi_6 = \frac{2 - 0,5 \times 2,7}{4,44 \times 703}$$
$$\phi_6 = 540,77$$

- $$\phi_7 = \frac{Vt - Ia \times Ra}{C \times N}$$
$$\phi_7 = \frac{4 - 1,3 \times 2,7}{4,44 \times 0}$$
$$\phi_7 = 540,77$$

- $$\phi_8 = \frac{Vt - Ia \times Ra}{C \times N}$$
$$\phi_8 = \frac{4 - 1,2 \times 2,7}{4,44 \times 276}$$
$$\phi_8 = 0$$

- $$\phi_9 = \frac{Vt - Ia \times Ra}{C \times N}$$
$$\phi_9 = \frac{4 - 1,2 \times 2,7}{4,44 \times 0}$$
$$\phi_9 = 0$$

- $$\phi_{10} = \frac{Vt - I_a \times R_a}{C \times N}$$
$$\phi_{10} = \frac{4 - 1,3 \times 2,7}{4,44 \times 0}$$
$$\phi_{10} = 540,77$$

- $$\phi_{11} = \frac{Vt - I_a \times R_a}{C \times N}$$
$$\phi_{11} = \frac{4 - 1,3 \times 2,7}{4,44 \times 0}$$
$$\phi_{11} = 540,77$$

- $$\phi_{12} = \frac{Vt - I_a \times R_a}{C \times N}$$
$$\phi_{12} = \frac{4 - 1,3 \times 2,7}{4,44 \times 0}$$
$$\phi_{12} = 540,77$$

D. Hghghg