

MODUL PRAKTIKUM MESIN - MESIN LISTRIK

NAMA MAHASISWA :

NIM MAHASISWA :

LABORATORIUM TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MALANG
2021

DAFTAR ISI

COVER	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
STANDAR OPERASIONAL PROSEDUR	viii
A. Pra Praktikum	viii
B. Pra Pelaksanaan Percobaan Praktikum	viii
C. Praktikum Berlangsung	ix
D. Praktikum Berakhir	ix
E. Pasca Praktikum	x
F. Sanksi	x
G. Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3)	xi

BAB I TRANSFORMATOR SATU FASA BEBAN NOL

1.1 Tujuan.....	1
1.2 Pendahuluan	1
1.3 Buku Bacaan	4
1.4 Peralatan	4
1.5 Langkah Kerja	5
1.6 Data Hasil Percobaan	7
1.7 Analisa Perhitungan	8
1.8 Analisa Data	9
1.9 Kesimpulan.....	10

BAB II KARAKTERISTIK START DAN ARAH PUTARAN

MOTOR INDUKSI SATU FASA

2.1 Tujuan.....	11
2.2 Pendahuluan	11
2.3 Buku Bacaan	15
2.4 Peralatan	15
2.5 Langkah Kerja	16
2.6 Data Hasil Percobaan	21
2.7 Analisa Data	22
2.8 Kesimpulan.....	23

BAB III KARAKTERISTIK TORKA-KECEPATAN

MOTOR INDUKSI SATU PHASA

3.1 Tujuan.....	24
3.2 Pendahuluan	24
3.3 Buku Bacaan.....	25
3.4 Peralatan	25
3.5 Langkah Kerja	25
3.6 Data Hasil Percobaan.....	28
3.7 Analisa Data	30
3.8 Kesimpulan.....	31

BAB IV KARAKTERISTIK TORKA-KECEPATAN

MOTOR DC SERI DAN SHUNT

4.1 Tujuan.....	32
4.2 Pendahuluan	32
4.3 Buku Bacaan.....	33
4.4 Peralatan	33
4.5 Langkah Kerja	33
4.6 Data Hasil Percobaan.....	37
4.7 Analisa Data	40
4.8 Kesimpulan.....	41

BAB V GENERATOR DC PENGUATAN TERPISAH BERBEBAN

5.1 Tujuan.....	42
5.2 Pendahuluan	42
5.3 Buku Bacaan.....	46
5.4 Peralatan	46
5.5 Langkah Kerja	47
5.6 Data Hasil Percobaan.....	49
5.7 Data Hasil Perhitungan	50
5.8 Analisa Data	51
5.9 Kesimpulan.....	52

PENUTUP.....	53
---------------------	-----------

DAFTAR PUSTAKA	54
-----------------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Induksi Lilitan Trafo Pada Inti Besi.....	1
Gambar 1.2 Rangkaian Equivalen Trafo Satu Fasa.....	2
Gambar 1.3 Rangkaian Transformasi Sisi Primer Dan Sekunder Trafo	3
Gambar 1.4 Rangkaian Equivalen Trafo Beban Nol.....	4
Gambar 1.5 Rangkaian Transformator Satu Fasa Beban Nol.....	6
Gambar 1.6 Rangkaian Pemasangan Trafo Beban Nol	6
Gambar 2.1 Vektor Gaya Lorentz.....	14
Gambar 2.2 Diagram Pengawatan Motor Induksi tanpa Belitan Tambahan dan Kapasitor	16
Gambar 2.3 Rangkaian Motor Induksi.....	17
Gambar 2.4 Rangkaian Motor Induksi Awal Dengan Belitan Tambahan Dan Kapasitor	19
Gambar 2.5 Rangkaian Motor Induksi Awal Dengan Pembalikan Kabel Terminal.....	20
Gambar 2.6 Rangkaian Motor Induksi Awal Dengan Pembalikan Kapasitor	20
Gambar 3.1 Rangkaian Torca Motor Induksi.....	26
Gambar 4.1 Rangkaian Pengereman Pada Motor DC Seri	34
Gambar 4.2 Rangkaian Pengereman Pada Motor DC Shunt	35
Gambar 5.1 Rangkaian Gabungan Penggerak dan Generator.....	42
Gambar 5.2 Fluks Menembus Konduktor Jangkar	45
Gambar 5.3 Fluks Ketika Generator Dibebani	45
Gambar 5.4 Penyimpanan Fluks Akibat Perputaran Jangkar.....	45
Gambar 5.5 Rangkaian Penggerak Dan Rangkaian Generator	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Hasil Percobaan Trafo Beban Nol.....	7
Tabel 2.1 Data Hasil Percobaan Karakteristik Motor Induksi	21
Tabel 2.2 Data Hasil Percobaan Arah Putaran Motor Induksi	21
Tabel 3.1 Data Hasil Percobaan Torka-Kecepatan Motor Induksi Tanpa Belitan Tambahan Dan Kapasitor.....	28
Tabel 3.2 Data Hasil Percobaan Torka-Kecepatan Motor Induksi Dengan Belitan Tambahan Dan Kapasitor.....	28
Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan Pengereman Motor DC Seri.....	37
Tabel 4.2 Data Hasil Percobaan Pengereman Motor DC Shunt.....	37
Tabel 5.1 Data Hasil Percobaan Rangkaian Generator	49

BAB I

Transformator Satu Fasa Beban Nol

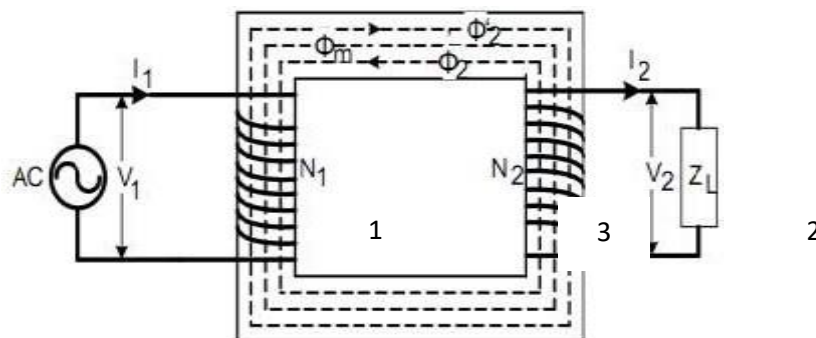
1.1 Tujuan

Setelah melaksanakan percobaan ini maka diharapkan dapat :

1. Memahami prinsip dasar suatu Transformator satu fasa beban nol.
2. Menghitung parameter dasar dari rangkaian ekivalen Transformator .

1.2 Pendahuluan

Transformator termasuk pada mesin listrik yang tidak memiliki bagian yang bergerak . Tranformator ini mampu menyalurkan daya dari suatu rangkaian ke rangkaian lain melalui koping magnetic . Secara umum transformator terdiri dari tiga bagian utama , yaitu :

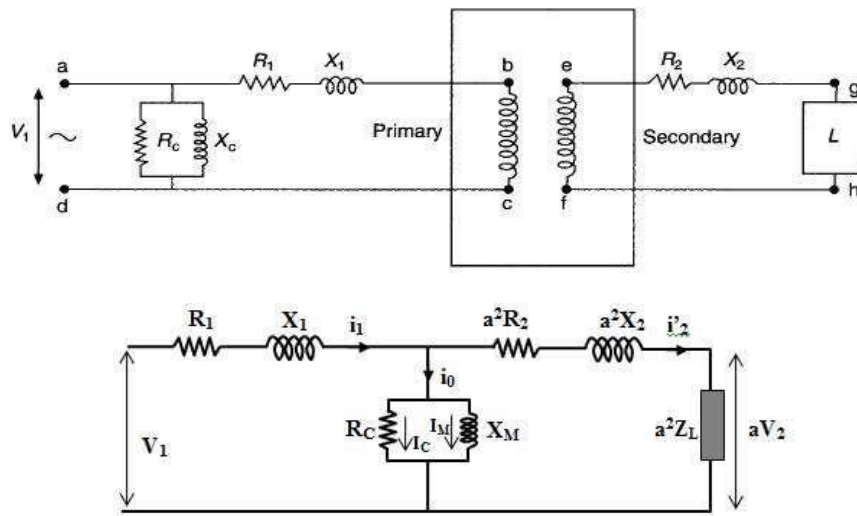


Gambar 1.1 Induksi Lilitan Trafo pada Inti Besi

1. Kumaran primer yang dihubungkan dengan sumber tegangan . Kumaran ini dapat merupakan kumaran tegangan tinggi atau rendah tergantung dari pemakaian .
2. Kumaran sekunder yang dihubungkan dengan beban . Kumaran ini merupakan kumaran tegangan tinggi atau rendah tergantung pemakaian .
3. Inti Transformator . Pada inti ini kumaran primer dan sekunder dililitan , dan rangkaian ini merupakan rangkaian magnetis tempat dibangkitkannya fluksi magnetic.

Di dalam keadaan ideal , suatu transformator diharapkan tidak memiliki rugi rugi yang dapat mempengaruhi daya yang disalurkan . Akan tetapi dalam

kenyataannya, sebuah tranformator akan selalu memiliki rugi-rugi yang disebabkan adanya resistansi dan reaktansi baik dalam kumparan maupun inti transformator tersebut . Untuk memudahkan didalam melakukan perhitungan dan analisa , maka sebuah transformator dapat dituangkan menjadi suatu bentuk rangkaian ekivalen . Rangkaian ekivalen ini terdiri dari besaran listrik yang dapat mewakili keadaan dalam suatu transformator .



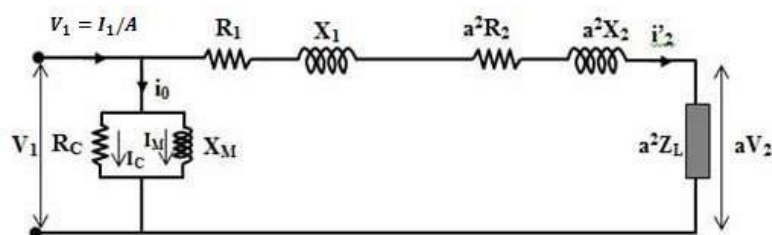
Gambar 1.2 Rangkaian Equivalen Trafo Satu Fasa

dan dengan adanya perbandingan lilitan yang merupakan factor transformasi :

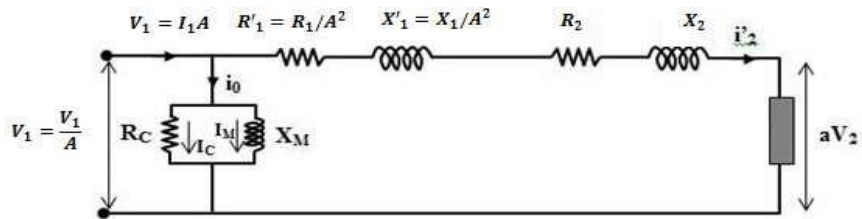
$$A = \frac{n_1}{n_2} = \frac{E_1}{E_2}$$

Maka rangkaian ekivalen tersebut dapat ditransformasikan kembali baik terhadap primwe maupun terhadap sisi sekundernya.

Transformasi terhadap sisi primer



Gambar 1.3 Transformasi Terhadap Sisi Sekunder

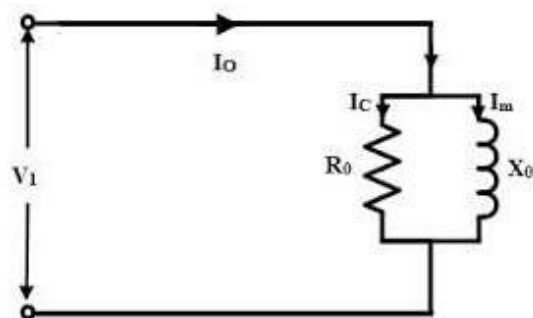


Gambar 1.4 Rangkaian Transformasi Sisi Primer dan Sekunder Trafo

Untuk mengetahui berapa besar parameter rangkaian ekivalen suatu transformator , maka dilakukan dalam dua buah bentuk tes , yaitu tes beban nol (open circuit) dan hubung singkat (short circuit) .

Tes Beban Nol (Open Circuit)

Pada tes ini , sisi primer transformator diberi tegangan nominalnya . Lalu di ukur besar arus dan daya yang terjadi disisi primer . Pada keadaan ini akan diukur besar rugi-rugi inti transformator . Rangkaian ekivalen transformator pada keadaan beban nol adalah sebagai berikut :



Gambar 1.5 Rangkaian Equivalen Trafo Beban Nol

Rumus:

$$P_0 = V_0 I_0 \cos\phi_0$$

$$\cos\phi_0 = \frac{P_0}{V_0 I_0}$$

$$I_m = I_0 \cos\phi_0$$

$$I_c = I_0 \sin\phi_0$$

$$X_{m1} = \frac{V_0}{I_m} = \dots \dots \dots \Omega$$

$$R_{c1} = \frac{V_0}{I_c} = \dots \dots \dots \Omega$$

1.3 Buku bacaan

Untuk membantu dan menambahi pengetahuan tentang materi pada percobaan ini , anada disarankan akan membaca buku-buku yang berikut ini :

1. Chapman SJ. , “Fundamental of Electric Machtes” , Mc-graw Hill Book Company. New york : 1991 .
2. Nagrato, IJ .. “Electric Machines” , Tata McGraw-Hill Company , New Delhi : 1987.
3. Zuhail , “ Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Dasar “, PT Gramedia Pustaka Utama , Jakarta 1995 .

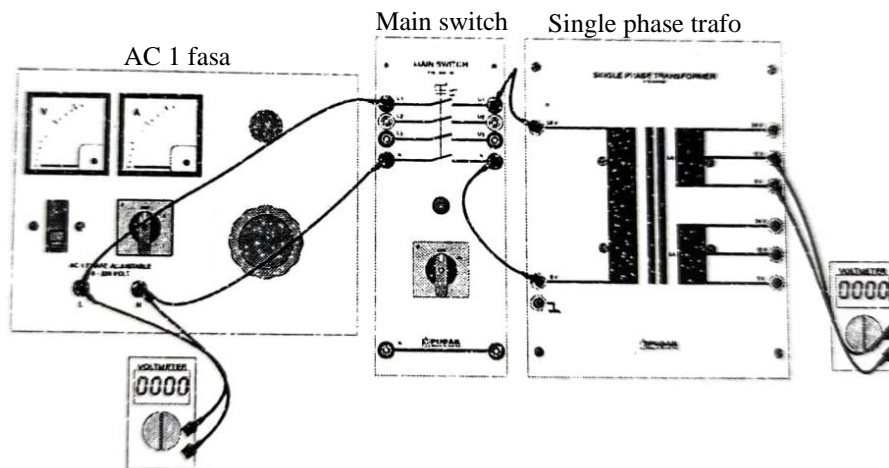
1.4 Peralatan

Utama	: Bench Power Supply	PTE 046-01	1 Unit
	: Single phase Transformer	PTE 046-02	1 Unit
	: Main Switch	PTE 046-22	1 Unit
	: Safety Connecting leads		
Pendukung	: Single phase power meter		1 Unit

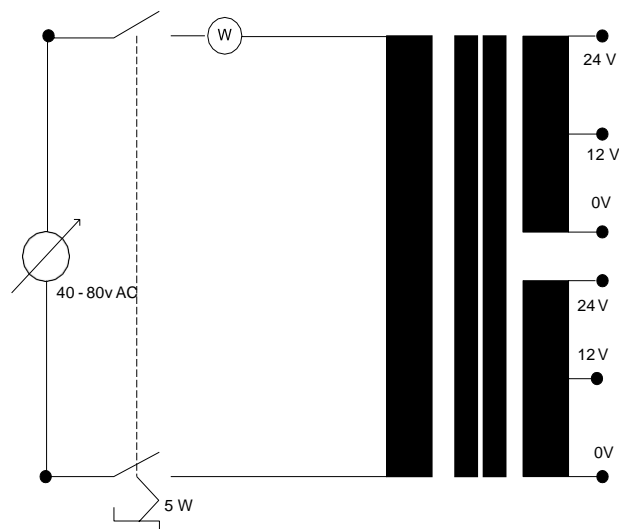
1.5 Langkah Kerja

1. Transformator satu fasa beban nol.

- a. Siapkan peralatan yang dibutuhkan untuk melakukan percobaan seperti Gambar 1.5 Kemudian buat rangkaian pegawatan sesuai dengan gambar .



Gambar 1.5 rangkaian transformator satu fasa beban nol



Gambar 1.6 rangkaian pemasangan trafo beban nol

- b. Atur catu daya AC 1 fasa mengeluarkan tegangan sebesar 40 volt.
- c. Ubah posisi saklar utama ke posisi “ON”.
- d. Lalu catat besar arus beban nol sisi primer (I_0) dan daya beban nol (P_0) untuk setiap kenaikan tegangan primer (V_0) pada table 1.1
- e. Matikan catu daya bila telah selesai .
- f. Dari data yang telah didapat , maka parameter beban nol transformator dapat diketahui

1.6 Data Hasil Percobaan

Tabel 1.1 Data Hasil Percobaan Trafo Beban Nol

$V_o(V)$	$I_o(A)$	$P_o(W)$
40		
50		
60		
70		
80		

1.7 Analisa Perhitungan

Data percobaan 1 ($V_o = 40$ v)

$$P_o = V_o I_o \cos\phi_0$$

$$\cos\phi_0 = \frac{P_o}{V_o I_o} = \dots \dots \dots$$

$$\sin\phi_i = \dots \dots \dots$$

$$I_m = I_o \cos\phi_0$$

$$I_c = I_o \sin\phi_0$$

$$X_{m1} = \frac{V_o}{I_m} = \dots \dots \dots \Omega$$

$$R_{c1} = \frac{V_o}{I_c} = \dots \dots \dots \Omega$$

Data percobaan 2 ($V_o = 50$ v)

$$P_o = V_o I_o \cos\phi_0$$

$$\cos\phi_0 = \frac{P_o}{V_o I_o} = \dots \dots \dots$$

$$\sin\phi_i = \dots \dots \dots$$

$$I_m = I_o \cos\phi_0$$

$$I_c = I_o \sin\phi_0$$

$$X_{m2} = \frac{V_o}{I_m} = \dots \dots \dots \Omega$$

$$R_{c2} = \frac{V_o}{I_c} = \dots \dots \dots \Omega$$

Data percobaan 3 ($V_o = 60$ v)

$$P_o = V_o I_o \cos\phi_0$$

$$\cos\phi_0 = \frac{P_o}{V_o I_o} = \dots \dots \dots$$

$$\sin\phi_i = \dots \dots \dots$$

$$I_m = I_o \cos\phi_0$$

$$I_c = I_o \sin\phi_0$$

$$X_{m3} = \frac{V_o}{I_m} = \dots \dots \dots \Omega$$

$$R_{c3} = \frac{V_o}{I_c} = \dots \dots \dots \Omega$$

Data percobaan 4 ($V_0 = 70$ v)

$$P_0 = V_0 I_0 \cos\phi_0$$

$$\cos\phi_0 = \frac{P_0}{V_0 I_0} = \dots \dots \dots$$

$$\sin\phi_i = \dots \dots \dots$$

$$I_m = I_0 \cos\phi_0$$

$$I_c = I_0 \sin\phi_0$$

$$X_{m4} = \frac{V_0}{I_m} = \dots \dots \dots \Omega$$

$$R_{c4} = \frac{V_0}{I_c} = \dots \dots \dots \Omega$$

Data percobaan 5 ($V_0 = 80$ v)

$$P_0 = V_0 I_0 \cos\phi_0$$

$$\cos\phi_0 = \frac{P_0}{V_0 I_0} = \dots \dots \dots$$

$$\sin\phi_i = \dots \dots \dots$$

$$I_m = I_0 \cos\phi_0$$

$$I_c = I_0 \sin\phi_0$$

$$X_{m5} = \frac{V_0}{I_m} = \dots \dots \dots \Omega$$

$$R_{c5} = \frac{V_0}{I_c} = \dots \dots \dots \Omega$$

Buat rata-rata resistansi (R_c) dan reaktansi (X_m) dari hasil perhitungan sebelumnya

$$R_i = \frac{R_{c1} + R_{c2} + R_{c3} + R_{c4} + R_{c5}}{5} = \dots \dots \dots \Omega$$

$$X_i = \frac{X_{m1} + X_{m2} + X_{m3} + X_{m4} + X_{m5}}{5} = \dots \dots \dots \Omega$$

1.8 Analisa Data

1.9 Kesimpulan

BAB II

Karakteristik Start dan Arah Putaran Motor Induksi Satu Fasa

2.1 Tujuan

Setelah melaksanakan percobaan ini, saudara diharapkan dapat:

1. Memahami cara kerja motor induksi satu fasa
2. Memahami cara start pada motor induksi satu fasa
3. Mengoperasikan motor induksi satu fasa pada arah putaran searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam.

2.2 Pendahuluan

A. Karakteristik Start pada Motor Induksi

Motor induksi satu fasa merupakan motor serba guna yang banyak digunakan pada alat-alat rumah tangga. Masukan motor jenis ini membutuhkan arus bolak-balik satu fasa yang banyak tersedia di rumah. Karena itu, motor induksi satu fasa digunakan sebagai penggerak mesin cuci, pompa air, dan alat- alat lain.

Cara kerja motor induksi adalah dengan memanfaatkan gaya Lorentz yang timbulkan akibat adanya arus yang mengalir di stator dan rotor. Arus yang mengalir pada rotor menimbulkan medan magnet yang berputar. Medan magnet ini terimbasnya tegangan induksi pada rotor. Karena rotor dihubung-singkat, maka akan timbul arus pada rotor. Interaksi antara medan stator dan arus rotor ini yang menyebabkan timbulnya gaya Lorentz sehingga motor berputar.

Secara sekilas, prinsip induksi electromagnet yang terjadi antara belitan stator dan rotor mirip dengan cara kerja transformator. Berbeda dengan jenis motor lain, motor induksi hanya membutuhkan satu masukan yang diberikan pada belitan stator. Arus pada rotor didapatkan dengan cara induksi elektromagnet. Oleh karena itu, motor AC jenis ini dinamakan motor induksi. Catatan penting yang perlu diketahui dalam mengoperasikan motor induksi adalah harus adanya

perbedaan kecepatan antara medan putar stator dengan kecepatan aktual rotor. Bila kecepatan keduanya sama, tidak akan ada tegangan induksi yang timbul di stator. Perbedaan kecepatan ini dinamakan slip yang besarnya satu pada saat mulai dan mendekati nol pada saat akan berputar

$$slip = \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

n_s = kecepatan medan putar stator

n_r = kecepatan aktual rotor

Untuk membuat motor induksi dapat berputar, diperlukan adanya medan putar yang bergerak searah yang timbul pada stator. Medan putar searah ini baru bias timbul apabila ada dua belitan atau lebih yang berbeda fasanya. Pada motor induksi satu fasa hanya satu belitan yang tidak kemungkinan timbul medan putar searah. Bila hanya ada satu belitan, medan yang ditimbulkan hanyalah medan bolak-balik yang bias diartikan sebagai dua buah medan putar yang bergerak berlawanan arah.

Pada saat start, ketika slip = 1, tidak ada torka (gaya putar, momen gaya) yang timbul motor. Keadaan ini membuat motor induksi satu fasa tidak dapat melakukan start sendiri. Agar bias langsung berputar, perlu adanya torka atau dorongan awal yang diberikan kepada rotor motor tersebut. Setelah motor berputar, maka medan putar yang timbul akan berputar satu arah sesuai dengan arah putaran motor induksi satu fasa tersebut.

Penggunaan cara start yang memerlukan penggerak mula pada motor induksi satu fasa tentunya tidak praktis. Ada cara lain yang bisa digunakan agar motor induksi satu fasa bisa melakukan start sendiri. Untuk dapat melakukan start sendiri, ada beberapa cara yang bisa digunakan. Cara tersebut antara lain adalah penggunaan kapasitor start, penggunaan tahanan bantu, dan penggunaan motor induksi jenis kutub belah (split pole).

Dua cara yang pertama pada intinya adalah menambahkan belitan tambahan pada stator yang berbeda fasanya dengan belitan utama. Perbedaan fasa ini bisa didapatkan dengan bantuan kapasitor seperti cara pertama, atau dengan tahanan bantu seperti cara kedua. Motor induksi satu fasa jenis kutub belah memiliki konstruksi yang berbeda dengan dua jenis sebelumnya. Walaupun berbeda, prinsip kerjanya sama saja, yaitu berusaha memunculkan medan putar.

Pada percobaan ini, kita akan menggunakan motor induksi satu fasa yang menggunakan belitan tambahan. Pada belitan tambahan ini bisa dipasang sebuah kapasitor yang membuat arus mengalir dibelitan tambahan berbeda fasanya 90° dengan belitan utama. Dengan adanya dua belah belitan yang berbeda fasa, akan timbul medan putar searah yang kemungkinan motor melakukan start sendiri. Setelah motor induksi satu fasa tersebut berputar pada arah tertentu, belitan tambahan tersebut bisa dilepaskan.

B. Arah Putaran pada Motor Induksi

Putaran motor induksi satu fasa terjadi karena adanya gaya Lorentz yang dihasilkan akibat interaksi antara arus yang mengalir di rotor dengan medan putar yang dihasilkan stator. Gaya Lorentz merupakan besaran vektor yang memiliki dan juga memiliki arah. Perkalian vektor yang menghasilkan gaya Lorentz diberikan pada persamaan dibawah ini.

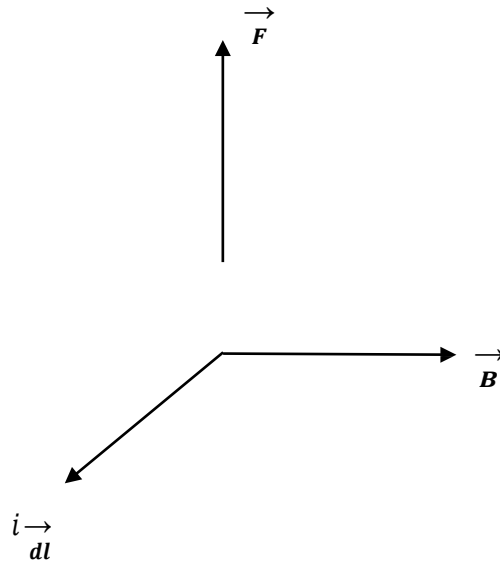
$$\vec{F} = i \int dl \times \vec{B}$$

Dengan \vec{F} = vektor gaya Lorentz

i = arus rotor

\vec{B} = medan putar stator

Jika arah vektor arus rotor menuju ke arah pembaca, sedangkan arah vektor medan putar stator menuju ke arah kanan, maka arah vektor gaya Lorentz adalah menuju ke atas. Diagram vektor ketiga komponen dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Vektor Gaya Lorentz

Untuk mengubah arah putaran, perlu dilakukan modifikasi agar arah vektor gaya Lorentz mengarah ke arah yang berlawanan. Artinya, salah satu komponen, apakah itu vektor medan putar atau vektor arus rotor harus diubah arahnya. Untuk mengubah arah putaran pada motor induksi satu fasa, komponen yang diubah arahnya adalah medan putar stator.

Seperti yang sudah pernah dibahas sebelumnya, medan putar stator pada motor induksi satu fasa didapatkan akibat adanya belitan tambahan yang berbeda fasanya.

Perbedaan fasa terjadi karena pemasangan kapasitor start. Untuk mengubah arah medan putar stator, hubungan antara belitan tambahan dengan belitan utama harus ditukar. Dengan adanya pertukaran ini, arus yang mengalir di

belitan tambahan akan berbalik arah dibandingkan sebelumnya, sehingga resultan medan putar stator yang timbul juga ikut berbalik arah.

2.3 Buku bacaan

Untuk membantu dan menambah pengetahuan tentang materi pada percobaan ini, anda disarankan membaca buku-buku yang berikut ini :

1. Chapman. S.J. , “Fundamentals of Electrical Machines”, Mc-Graw Hill Book Company. New York : 1991.
2. Nagrath, I.J. , “Electric Machines”, Tata Mc-Graw Hill Company, New Delhi : 1987.

2.4 Peralatan

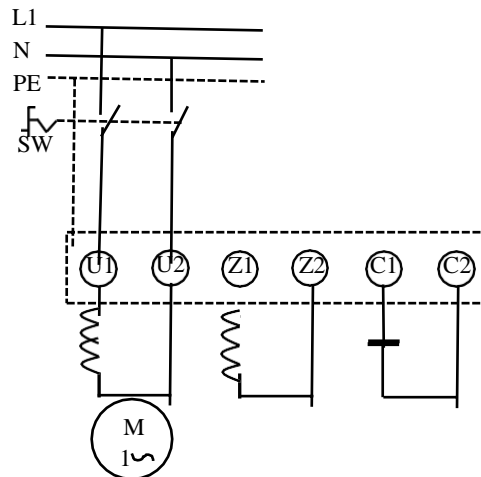
Utama	: Bench Power Supply	PTE-046-01	1 Unit
	: Main Switch	PTE-046-22	1 Unit
	: Single Phase Capacitor Run AC machines	PTE-046-04	1 Unit
	: Safety Connecting Leads		

2.5 Langkah kerja

A. Karakteristik Start Motor Induksi

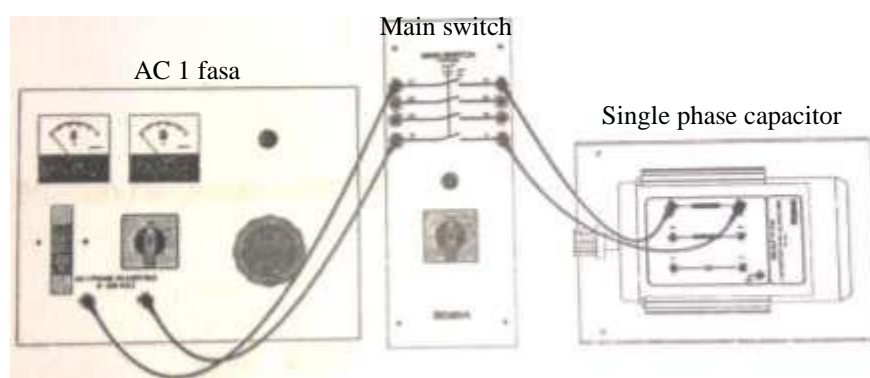
1. Start motor induksi satu fasa tanpa bantuan kapasitor dan belitan bantu

- Siapkan perlengkapan yang dibutuhkan untuk melakukan percobaan seperti pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Diagram Pengawatan Motor Induksi Tanpa Belitan Tambahan dan Kapasitor

- Buatlah pengawatan rangkaian seperti pada gambar 2.3 di bawah ini. Pada rangkaian di bawah ini, motor induksi satu fasa dioperasikan hanya dengan menggunakan satu belitan utama pada statornya.



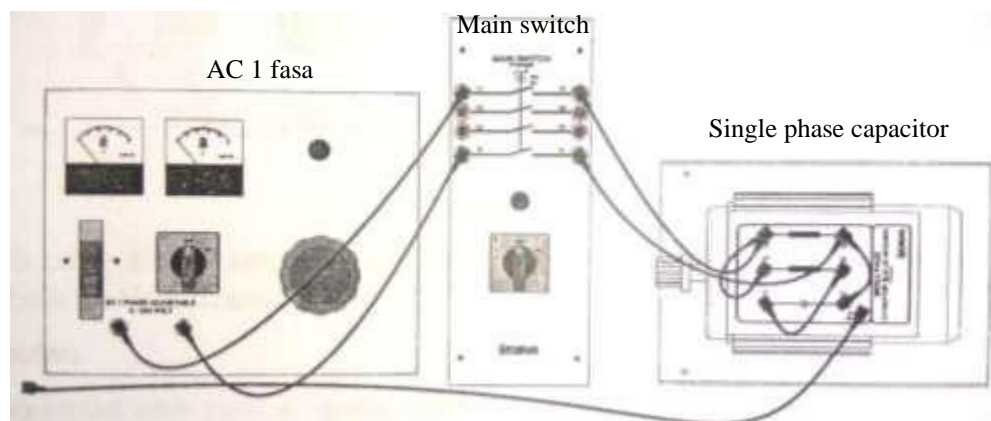
Gambar 2.3 Rangkaian Motor Induksi

*Fasa (AC 1 fasa) → L1 (main switch) ; U1 (main switch) → U1 (single phase cap)
Netral (AC 1 fasa) → N (main switch) ; N (main switch) → U2 (single phase cap)*

- c. Atur catu daya AC 1 fasa agar mengeluarkan tegangan sebesar 150 volt line-to-netral (kawat bertegangan ke kawat netral).
- d. Ubah posisi saklar utama ke posisi 'ON'. Amati yang terjadi. Berputarkah motor?
- e. Dengan bantuan tangan, putarlah rotor motor secara hati-hati searah dengan jarum jam. Amati yang terjadi. Berputarkah motor? Bila berputar, ke arah manakah dia berputar?
- f. Apabila motor berputar, berhentikan motor tersebut dengan cara mengubah posisi saklar utama ke posisi 'OFF'. Setelah itu ubah kembali posisi saklar utama ke posisi 'ON'. Dengan bantuan tangan, putarlah rotor motor secara hati-hati berlawanan dengan arah jarum jam. Amati yang terjadi. Berputarkah motor? Dan bila berputar, ke arah manakah dia berputar?

B. Pengaturan Arah Putar Motor Induksi

1. Siapkan seluruh perlengkapan yang diperlukan untuk melakukan percobaan.
2. Buatlah pengawatan rangkaian percobaan seperti pada Gambar 2.4 di bawah ini.



Gambar 2.4 Rangkaian Motor Induksi Awal Dengan Belitan Tambahan dan Kapasitor

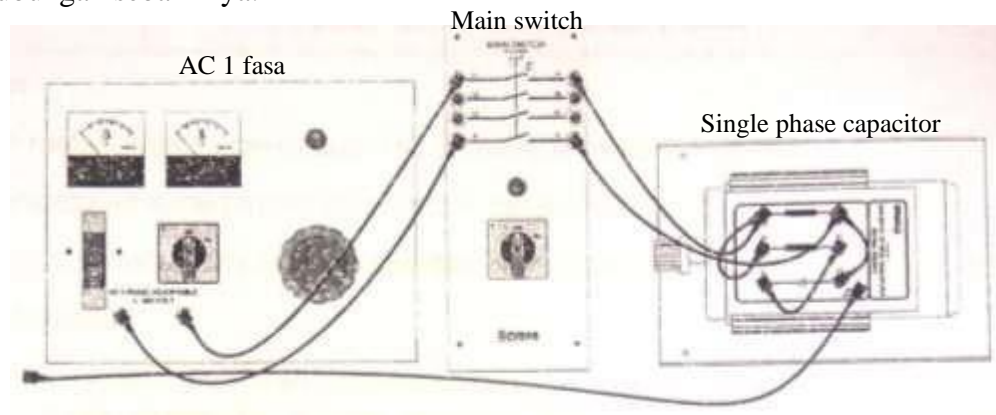
Fasa (AC 1 fasa) → L1 (main switch) ; U1 (main switch) → U1 (single phase cap)

Netral (AC 1 fasa) → N (main switch) ; N (main switch) → U2 (single phase cap)

(single phase cap) U1 → Z1 ; C1 → Z2 ; U2 → C2

PE (single phase cap) → PE (sumber)

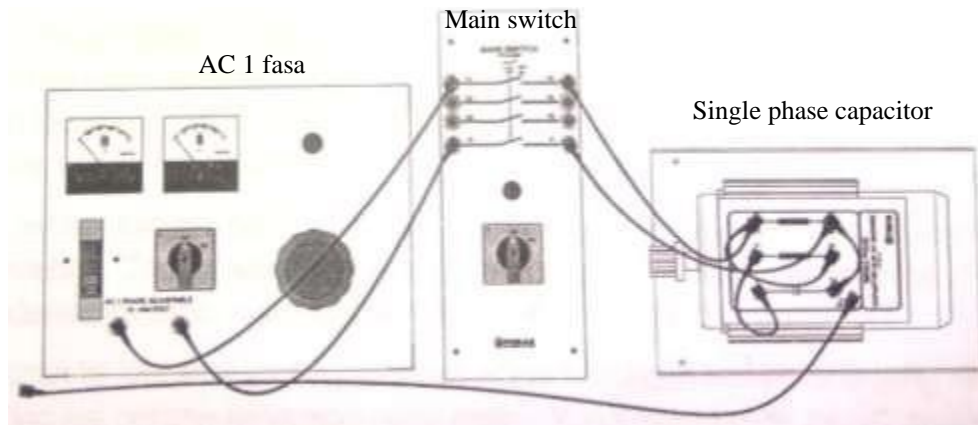
3. Atur catu daya AC 1 fasa agar mengeluarkan tegangan sebesar 220 volt line-to-neutral (kawat bertegangan ke kawat netral).
4. Ubah posisi saklar utama ke posisi 'ON'. Perhatikan ke arah mana motor berputar.
5. Rekalah akankah motor berubah arah putarannya apabila input dari catu daya diubah terminalnya? Cobalah menukarkan hubungan input dari catu daya menjadi hubungan sebaliknya.



Gambar 2.5 Rangkaian Motor Induksi dengan Pembalikan Kabel Terminal

Fasa (AC 1 fasa) → N (main switch) ; U1 (main switch) → U1 (single phase cap)
Netral (AC 1 fasa) → L1 (main switch) ; N (main switch) → U2 (single phase cap)
(single phase cap) U1 → Z1 ; C1 → Z2 ; U2 → C2
PE (single phase cap) → PE (sumber)

6. Ubah posisi saklar utama ke posisi 'ON' dan perhatikan ke arah mana motor berputar. Apakah motor berputar ke arah berlawanan?
7. Sekarang, ubahlah hanya hubungan belitan utama dengan belitan tambahan menjadi hubungan sebaliknya (gambar 2.8)



Gambar 2.6 Rangkaian Motor Induksi dengan Pembalikan Capasitor

Fasa (AC 1 fasa) → L1 (main switch) ; U1 (main switch) → U1 (single phase cap)

Netral (AC 1 fasa) → N (main switch) ; N (main switch) → U2 (single phase cap)

(single phase cap) U1 → Z2 ; C1 → Z1 ; U2 → C2

PE (single phase cap) → PE (sumber)

8. Ubah posisi saklar utama ke posisi 'ON' dan perhatikan arah perputaran motor.
Beralik-arahkan putaran motor ?

2.6 Data Hasil Percobaan

2.6.1 Karakteristik Start Motor Induksi

Tabel 2.1 Data Hasil Percobaan Karakteristik Motor Induksi

Percobaan	Respon
Tanpa belitan tambahan dan kapasitor	
Setelah diputar dengan tangan	
Dengan belitan tambahan dan kapasitor	

2.6.2 Pengaturan Arah Putar Motor Induksi

Tabel 2.2 Data Hasil Percobaan Arah Putaran Motor Induksi

Percobaan	Respon
Arah putar awal	
Setelah ditukar kabel terminalnya	
Saat dibalik sambungan belitan tambahan dan kapasitornya	

2.7 Analisa Data

2.8 Kesimpulan

BAB III

Karakteristik Torka-Kecepatan Motor Induksi 1 Fasa

3.1 Tujuan

Setelah melaksanakan percobaan ini, saudara diharapkan dapat:

1. Mengetahui karakteristik kerja motor induksi satu fasa
2. Mengerti hubungan antara torka dan kecepatan dari motor induksi satu fasa

3.2 Pendahuluan

Motor induksi satu fasa akan diibaratkan sebagai sebuah system kotak hitam (black box system). Pada system ini, apabila masukan tertentu dimasukkan ke dalamnya. Masukan system motor induksi satu fasa adalah arus bolak balik stator satu fasa, sedangkan keluaran system ini adalah kecepatan putar dan torka motor induksi satu fasa.

Motor induksi dikenal sebagai motor dengan kecepatan tunggal. Motor induksi ini memang didesain untuk digunakan pada beban yang tidak membutuhkan pengaturan kecepatan. Pengaturan kecepatan pada motor induksi dapat dilakukan dengan cara mengubah frekuensi arus masukan motor induksi. Oleh karena itu, untuk melakukan pengaturan kecepatan pada motor induksi, diperlukan alat tambahan yang dinamakan inverter yang dapat mengubah frekuensi arus masukan.

Kecepatan motor induksi tidak akan jauh berbeda pada kondisi tanpa beban dan kondisi berbeban. Torka maksimal akan didapatkan pada slip tertentu. Nilai slip untuk mendapatkan torka maksimal ini tidak jauh dari 0%.

Pada percobaan ini kita akan menggambarkan kurva hubungan antara torka yang dihasilkan oleh motor induksi dengan kecepatan putar motor. Kurva karakteristik ini didapatkan untuk dua kondisi operasi yang berbeda. Kondisi operasi pertama tentukan dengan cara memutuskan kapasitor dan belitan

tambahan setelah motor berputar pada kecepatan nominal. Pada kondisi operasi kedua, kapasitor dan belitan tambahan terus digunakan.

3.3 Buku Bacaan

Untuk membantu dan menambah wawasan pengetahuan tentang materi pada percobaan ini, pemakai disarankan membaca buku-buku berikut ini:

1. Chapman, S.J., "Fundamental of Electric Machines", Mc-Graw Hill Book Company. New York :1991.
2. Nagrath, I.J., "Electrical Machines", Tata Mc-Graw Hill Book Company. New Delhi :1958.

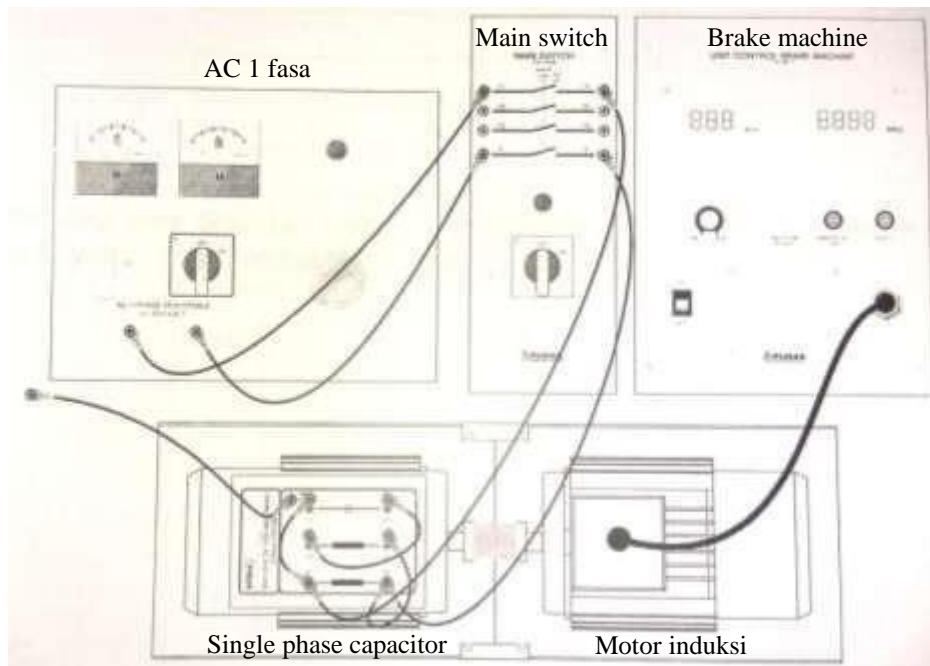
3.4 Peralatan

Utama	: Bench power supply	PTE-046-01	1 unit
	: Main Switch	PTE-046-22	1 unit
	: Single phase capacitor run AC machine	PTE-046-04	1 unit
	: Brake Machine	PTE-046-10	1 unit
	: Unit control brake machine	PTE-046-11	1 unit
	: Coupling		
	: Safety connecting leads		

3.5 Langkah Kerja

Hubungkan motor brake dan unit control brake machine pada suhu 70°C akan terputus akibat gesekan, putusnya hubungan ini ditandai dengan lampu indicator. Untuk dapat melanjutkan percobaan harus di tunggu sampai lampu indicator padam.

1. Siapkan seluruh perlengkapan yang diperlukan untuk melakukan percobaan.
2. Buatlah rangkain percobaan seperti pada Gambar 3.1 dibawah ini. Percobaan ini menggambarkan kondisi operasi pertama yaitu setelah motor berputar dengan kecepatan nominal, belitan tambahan dan kapasitor dilepaskan.



Gambar 3.1 Rangkaian Torka Motor Induksi

Fasa (AC 1 fasa) → L1 (main switch) ; U1 (main switch) → U2 (single phase cap)

Netral (AC 1 fasa) → N (main switch) ; N (main switch) → U1 (single phase cap)

(single phase cap) U1 → Z1 ; C1 → Z2 ; U2 → C2

Motor induksi → brake machine ; PE (single phase cap) → PE (sumber)

3. Aturlah tegangan input sebesar 200 V , Ubah posisi saklar utama ke posisi 'ON'. Motor akan mulai berputar dan mencapai kecepatan nominalnya. Setelah motor berputar mencapai kecepatan nominal, lepaskan kapasitor dan belitan tambahan dari rangkaian.
4. Berikan sumber tegangan pada modul unit control brake machine, kemudian tekan saklar 'ON'.
5. Ukur kecepatan motor pada keadaan ketika torka sama dengan nol. Torka sama dengan nol ini didapatkan dengan mengatur unit control brake machine pada kondisi tidak memberikan efek rem sama sekali, sehingga motor berjalan pada kondisi tanpa beban.
6. Setelah itu, atur potensiometer yang ada pada modul unit control brake machine untuk memberikan efek pengereman yang dilakukan oleh brake machine sehingga motor berputar pada kecepatan tertentu. Catat kecepatan putaran motor untuk setiap tahap pengereman pada table 3.1
7. Plot data yang dihasilkan menjadi sebuah kurva dengan besar pengereman (N) pada sumbu Y dan kecepatan (rpm) pada sumbu X.

8. Sekarang ulangi kembali percobaan di atas untuk rangkaian motor induksi yang menggunakan beban tambahan dan kapasitor dengan mengikuti intruksi berikut ini.
9. Atur kembali rangkaian percobaan seperti yang tertera pada Gambar 3.1 di atas.
10. Berikan sumber tegangan pada modul unit control brake machine, kemudian tekan saklar 'ON'.
11. Ubah posisi saklar utama ke posisi 'ON'. Motor akan mulai berputar dan mencapai kecepatan nominalnya.
12. Ukur kecepatan motor pada keadaan saat torka sama dengan 0,1. Torka sama dengan 0,1 ini didapatkan dengan mengatur unit control brake machine.
13. Setelah itu, atur potensiometer yang ada pada modul unit control brake machine untuk memberikan efek pengereman yang dilakukan oleh brake machine sehingga motor berputar pada kecepatan tertentu. Catat kecepatan putaran motor untuk setiap tahap pengereman pada tabel 3.2
14. Plot data yang dihasilkan menjadi sebuah kurva dengan besar pengereman (N) pada sumbu Y dan kecepatan (rpm) pada sumbu X.
15. Bandingkan hasil yang didapat pada kedua percobaan di atas.

3.6 Data Hasil Percobaan

Tabel 3.1 Data Hasil Percobaan Torka-Kecepatan Motor Induksi tanpa Belitan Tambahan dan Kapasitor

Pengereman (N)	n (rpm)
0,5	
0,6	
0,7	
0,8	
0,9	

Tabel 3.2 Data Hasil Percobaan Torca-Kecepatan Motor Induksi dengan Belitan Tambahan dan Kapasitor

Pengereman (N)	n (rpm)
0,5	
0,6	
0,7	
0,8	
0,9	

Gambar 3.2 Diagram Hubungan Pengereman dan Kecepatan Motor Induksi tanpa Belitan Tambahan dan Kapasitor

Gambar 3.3 Diagram Hubungan Pengereman dan Kecepatan Motor Induksi dengan Belitan Tambahan dan Kapasitor

3.7 Analisa Data

3.8 Kesimpulan

BAB IV

Karakteristik Torka-Kecepatan Motor DC Seri dan Shunt

4.1 Tujuan

Setelah melaksanakan percobaan ini, mahasiswa diharapkan dapat:

1. Mengetahui karakteristik torka-kecepatan motor DC seri dan shunt
2. Dapat menunjukkan dari hasil percobaan kedalam bentuk grafik

4.2 Pendahuluan

A. Motor DC Seri

Motor DC seri memiliki karakteristik torka-kecepatan yang sedikit berbeda dengan karakteristik motor DC lain. Torka pada motor DC seri berbanding lurus dengan kuadrat arus jangkar dan arus medan yang mengalir pada motor. Dari keterangan ini dapat kita simpulkan bahwa motor DC jenis ini cocok untuk aplikasi beban yang memerlukan torka yang besar pada peningkatan arus yang moderat, seperti kerja traksi, operasi crane (pesawat pengangkat), dan lain- lain.

Kecepatan motor DC seri akan berubah drastis seiring dengan berubahnya beban. Karena karakteristik yang seperti ini, dan kemungkinan bahaya yang timbul dari tingginya kecepatan pada beban rendah, motor DC seri tidak cocok untuk digunakan pada pengangkatan beban yang dapat menyebabkan torka mungkin jatuh sampai 15% bawah torka beban jenuh.

B. Motor DC Shunt

Karakteristik motor DC shunt menyajikan motor dengan kecepatan putar yang hampir sama pada segala kondisi beban yang masih berada dalam kapasitasnya. Dan juga motor DC shunt ini hanya akan sedikit berkurang kecepatannya dari keadaan tanpa beban ke beban penuh. Besarnya penurunan ini bervariasi mulai dari 5% hingga 15% dibandingkan dengan kecepatan penuhnya, bergantung pada saturasi, reaksi jangkar, dan posisi sikat.

Kurva karakteristik torka-kecepatan untuk motor DC shunt tanpa melibatkan pengaturan rheostatik akan mendekati sebuah garis tegak. Dengan

sedikit pengaturan menggunakan penghambat depan, kurva ini bisa diatur kemiringannya.

4.3 Buku Bacaan

Untuk membantu dan mmenambah pengetahuan tentang materi pada percobaan ini, pemakai disarankan membaca buku-buku berikut ini:

1. Chapman,S.J., “*Fundamental of Electric Machines*”, Mc-Graw Hill Book Company, New York:1991.
2. Nagrath,I.J.,”*Electrical Machines*”, Tata Mc-Graw Hill Book Company Delhi:1958.

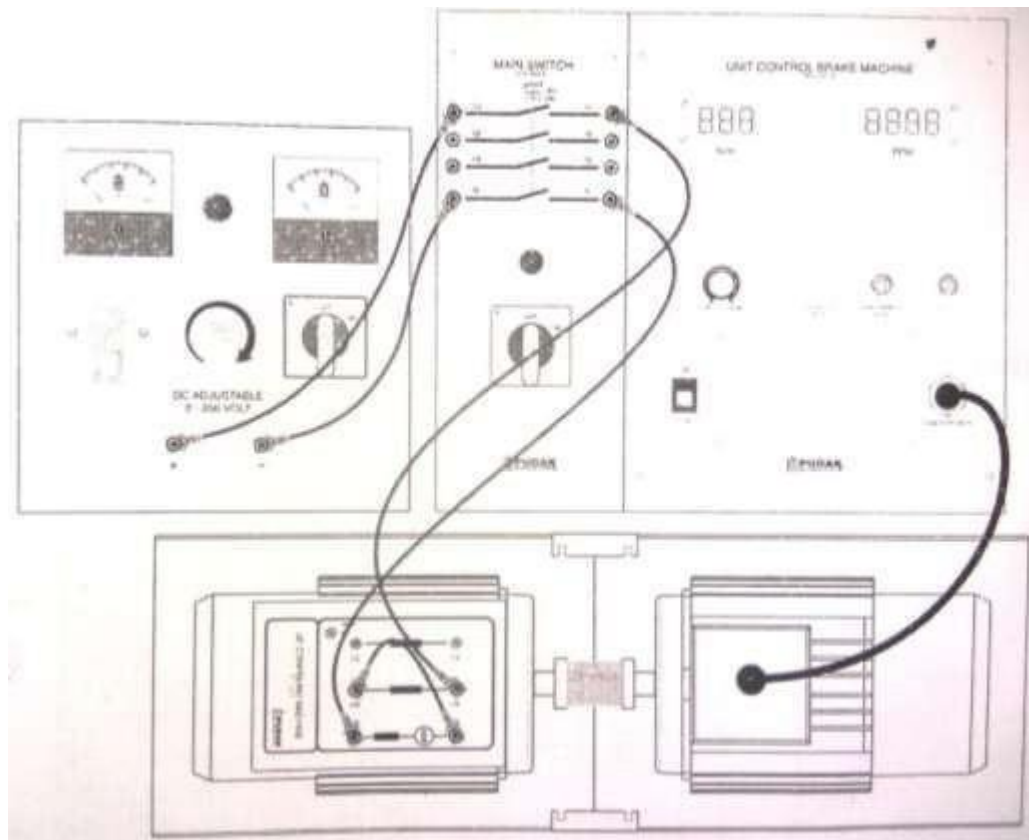
4.4 Peralatan

Utama : Bench Power Supply	PTE-046-01	1 unit
: DC Coumpound Machine	PTE-046-09	1 Unit
: Brake Machine	PTE-046-10	1 Unit
: Unit Control Brake Machine	PTE-046-11	1 Unit
: Starter for DC Machine	PTE-046-13	1 Unit
: Field Regulator for AC and DC machine	PTE-046-14	1 Unit
: Main Switch	PTE-046-13	1 Unit
: Coupling		
: Safety Connection Leads		

4.5 Langkah Kerja

A. Motor DC Seri

1. Siapkan peralatan yang akan digunakan
2. Buatlah pengawatan rangkaian seperti pada gambar 4.1 di bawah ini dengan hubungan motor DC yang digunakan adalah motor DC seri:



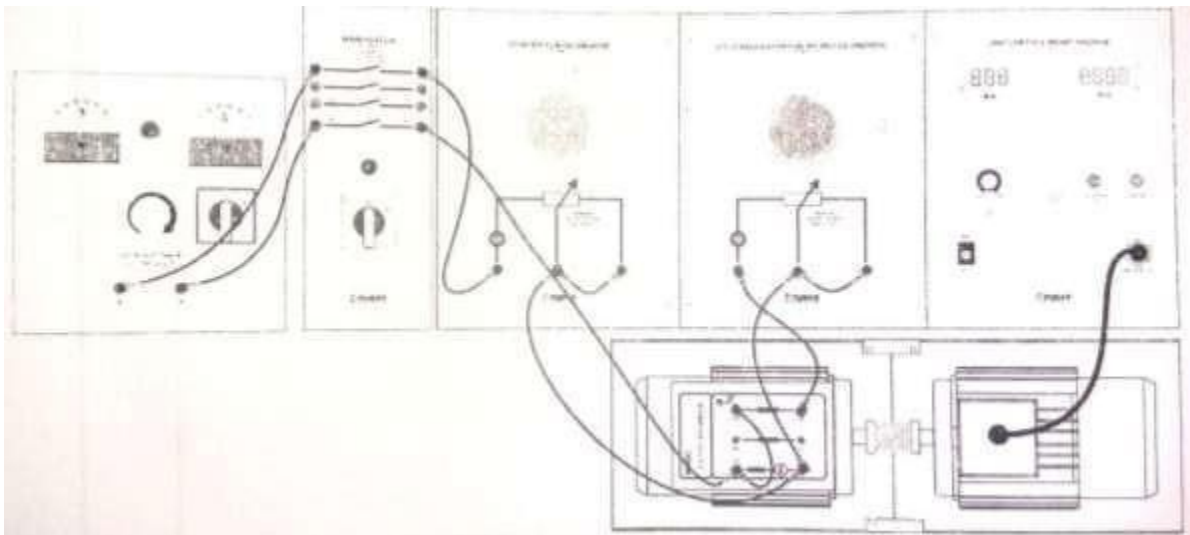
Gambar 4.1 Rangkaian Pengereman pada Motor DC Seri

3. Setelah rangkaian dirakit, periksa rangkaian kepada instruktur sebelum dioperasikan
4. Berikan sumber tegangan pada modul unit control brake machine. kemudian putar knop potensiometer pada unit brake sehingga $M=0,1Nm$
5. Atur tingkat tegangan keluaran catu daya sehingga besarnya 100V
6. Ubah posisi saklar utama ke posisi 'ON'
7. Motor akan berputar dengan kecepatan lebih dari 5000RPM
8. Perhatikan!!! Apabila putaran motor lebih dari 5000RPM, atur potensio yang ada pada modul unit control brake machine untuk memberi efek pengereman yang dilakukan oleh brake machine sehingga motor berputar pada kecepatan dibawah 5000RPM dan menghasilkan torka dengan besar tertentu. Catat kecepatan motor (n) untuk setiap tahap pengereman pada tabel 4.1.

9. Plot data yang dihasilkan menjadi sebuah kurva dengan besar pengereman (N) pada sumbu y dan kecepatan (rpm) pada sumbu x
10. Setelah selesai, matikan motor dengan mengubah posisi saklar utama ke posisi 'OFF'.

B. Motor DC Shunt

1. Siapkan peralatan yang akan digunakan.
Buatlah rangkaian seperti pada gambar 39.1 bawah ini dengan hubungan motor DC compound yang digunakan adalah motor DC shunt:



Gambar 4.2 Rangkaian Pengereman pada Motor DC Shunt

2. Atur tingkat tegangan keluaran catu daya DC sehingga besarnya 100V
3. Atur posisi saklar pengaturan rheostat untuk pengaturan jangkar (Rea) pada posisi 25% dan pengaturan medan (Ref) pada posisi 0%
4. Setelah rangkaian selesai dibuat dan tingkat tegangan keluaran catu daya sudah sesuai dengan yang diminta, ubah posisi saklar utama ke posisi 'ON'
5. Perhatikan apakah motor berputar? Jika tidak maka berilah putaran awal agar motor berputar, dan semakin lama motor akan semakin cepat
6. Setelah motor berputar dengan kecepatan maksimal, maka aturlah potensio Ref pada posisi 25% dan potensio Rea 0%.

7. Setelah itu atur potensiometer yang ada pada modul unit control brake machine untuk memberikan efek pengereman yang dilakukan oleh brake machine sehingga motor berputar pada kecepatan tertentu dan menghasilkan torka dengan besar tertentu. Catat kecepatan putaran motor (rpm) untuk setiap tahap pengereman pada tabel 4.2.
8. Plot data yang dihasilkan menjadi sebuah kurva dengan besar pengereman (N) pada sumbu y dan kecepatan (rpm) pada sumbu x
9. Setelah selesai, matikan motor dengan mengubah posisi saklar utama ke posisi 'OFF'

4.6 Data Hasil Percobaan

Tabel 4.1 Data Hasil Percobaan Pengereman motor DC seri

Pengereman (N)	n (rpm)
0,50	
0,60	
0,70	
0,80	
0,90	

Tabel 4.2 Data Hasil Percobaan Pengereman Motor DC shunt

Pengereman (N)	n (rpm)
0,50	
0,60	
0,70	
0,80	
0,90	

Gambar 4.3 Diagram Torka-Kecepatan Pada Motor DC Seri

Gambar 4.4 Diagram Torka-Kecepatan Pada Motor DC Shunt

4.7 Analisa Data

4.8 Kesimpulan

BAB V

Generator DC Penguatan Terpisah Berbeban

5.2 Tujuan

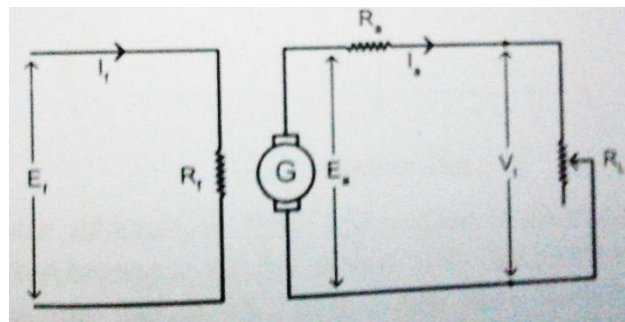
Setelah melaksanakan percobaan ini, Saudara diharapkan dapat:

1. Memahami cara kerja generator DC penguatan bebas.
2. Menggambar rangkaian ekuivalen dari generator DC penguatan terpisah.
3. Mengerti karakteristik generator DC penguatan terpisah dalam kondisi berbeban.

5.3 Pendahuluan

DC penguatan bebas adalah generator DC dengan sumber penguatan medannya diambil dari luar. Keuntungan dari penguatan terpisah ini adalah arus penguatan (I_f) tidak bergantung dari arus jangkar dan arus beban. Sehingga mesin dapat bekerja dengan tegangan jepitan dari keadaan minimum sampai keadaan maksimumnya.

Untuk memudahkan analisa, maka generator DC penguatan bebas ini dapat dinyatakan dalam bentuk rangkaian ekuivalen sebagai berikut :



Gambar 5.1 Rangkaian Gabungan Penggerak dan Generator

dengan :

E_r = Tegangan jepitan rangkaian medan (Volt)

I_r = Arus penguatan medan shunt (A)

R_f = Tahanan kumparan medan shunt (Ω)

E_a = Tegangan induksi di kumparan jangkar (Volt)

R_a = Tahanan kumparan jangkar (Ω)

I_a = Arus kumparan jangkar (A)

$V_t =$ Tegangan jepitan terminal generator (Volt)

$R_L =$ Tahanan beban (Ω)

Dari rangkaian ekivalen tersebut, maka dapat diturunkan suatu persamaan umum untuk Generator DC penguatan bebas.

$I_a = I_L$

$E_a = V_t + I_a.R_a$

$P_a = V_t.I_a$

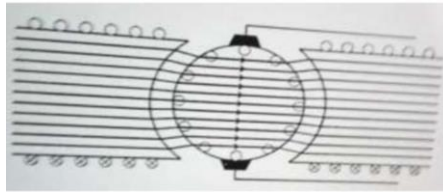
Keadaan Berbeban

Ketika generator DC penguatan bebas ada dalam keadaan berbeban, arus beban ($I_a = I_L$) akan mengalir dikumparan jangkar. Pada keadaan berbeban ini, maka akan terjadi jatuh tegangan akibat adanya tahanan jangkar dan reaksi jangkar. Gambar di atas merupakan grafik karakteristik berbeban dari generator DC penguatan bebas. Kurva 1 merupakan kurva generator dalam keadaan beban nol, dan kurva 3 merupakan kurva berbeban. Tegangan yang terbaca pada kurva 3 sebenarnya adalah tegangan terminal generator. Pada saat terjadi pembebanan dengan arus penguatan (I_f) dan putaran yang konstan, tegangan terminal generator adalah FC. Sedangkan tegangan induksi yang terjadi dikumparan jangkar adalah FD. Hal ini terjadi karena adanya jatuh tegangan akibat tahanan jangkar (BC) dan reaksi jangkar (BD).

Sedangkan kurva 2 adalah kurva karakteristik internak pembebanan yang didapat dari persamaan :

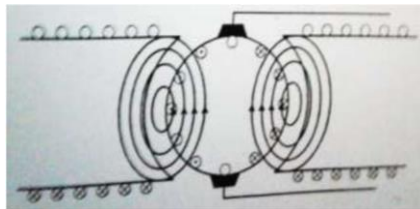
$$E_a = V_t + I_a.R_a$$

Reaksi Jangkar



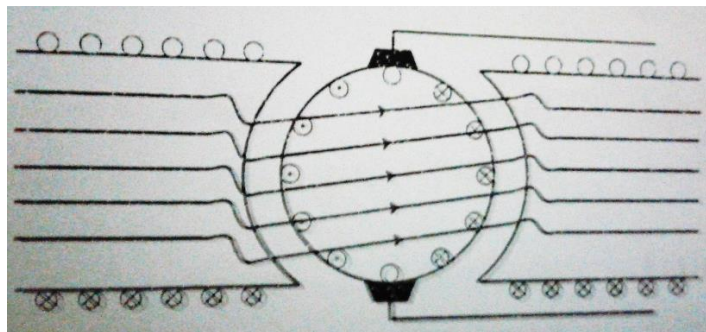
Gambar 5.2 Fluks Menembus Konduktor Jangkar

Ketika generator di bebani, timbul arus jangkar. Arus jangkar ini menimbulkan fluks pada kumparan jangkar.



Gambar 5.3 Fluks Ketika Generator Dibebani

Fluks dari kumparan jangkar akan berinteraksi dengan fluks medan rotor



Gambar 5.4 Penyimpangan Fluks Akibat Perputaran Jangkar

Efisiensi Generator

Secara umum efisiensi suatu mesin adalah :

$$\eta = \frac{\text{Daya Keluar}}{\text{Daya Masuk}} = \frac{P_o}{P_i}$$

$$P_i = P_o + \sum R_{ugi} - r_{ugi}$$

$$\eta = \frac{P_i - \sum R_{ugi} - r_{ugi}}{P_o}$$

$$\eta = \frac{P_i}{P_o + \sum R_{ugi} - r_{ugi}}$$

Dan rugi – rugi yang terjadi pada generator DC penguatan bebas adalah :

1. Rugi besi,
2. Rugi tembaga,
3. Rifi gesek.

5.4 Buku Bacaan

Untuk membantu dan menambah pengetahuan tentang materi pada percobaan ini, pemakai disarankan membaca buku – buku berikut ini:

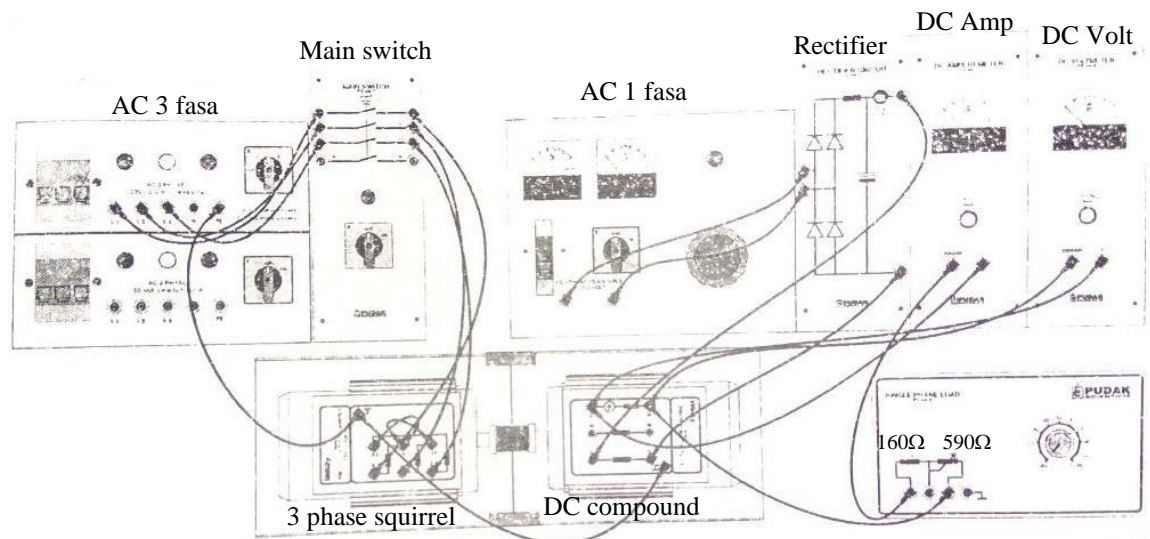
1. Chapman, S.J., “*Fundamental of Electric Machine*”, Mc-Graw Hill Book Company. New York: 1991.
2. Nagrath, I.J., “*Elevtrical Machine*”, Tata Mc-Graw Hill Book Company. New Delhi: 1958.

5.5 Peralatan

Utama : Bench Power Supply	PTE-046-01	1 unit
: Three Phase Squirrel Cage AC Machine	PTE-046-05	1 unit
: DC Compound Machine	PTE-046-09	1 unit
: Single Phase Load	PTE-046-16	1 unit
: Rectifier Circuit	PTE-046-17	1 unit
: Main Switch	PTE-046-22	1 unit
: DC Voltmeter	PTE-046-26	1 unit
: DC Amperemeter	PTE-046-27	1 unit
: Coupling		
: Safety Connecting leads		

5.6 Langkah Kerja

1. Buatlah rangkaian seperti pada gambar 5.5 di bawah ini.



Gambar 5.5 Rangkaian Penggerak dan Rangkaian Generator

L1, L2, L3 (AC 3 fasa) → L1, L2, L3 (main switch)

U1 (main switch) → W1 (3 phase squirrel) ; U2 (main switch) → V1 (3 phase squirrel) ;

U3 (main switch) → U1 (3 phase squirrel) ; U2 – V2 – W2

Fasa (AC 1 fasa) → red (rectifier) ; Netral (AC 1 fasa) → black (rectifier)

Red output (rectifier) → E1 (DC compound) ; black output (rectifier) → E2 (DC compound)

Common (DC Amp) → 160Ω ; I (DC Amp) → A1 (DC compound)

Common (DC Volt) → A1 ; V (DC Volt) → A2 → 590Ω

PE (DC compound) → PE (3 phase squirrel) → PE (AC 3 fasa)

2. Atur catu daya AC 3 fasa agar mengeluarkan tegangan sebesar 220 volt line-to-netral (kawat bertegangan ke kawat netral). Ubah posisi saklar utama ke posisi “ON”.
3. Ubah posisi saklar utama ke posisi :ON”. Motor akan berputar dan generator DC akan ikut berputar.
4. Naikkan arus penguatan generator sampai tegangan terminal generator mencapai nilai nominalnya ($V_n = 100 \text{ V}$).
5. Berikan beban secara bertahap lalu catat besar arus beban (IL) dan tegangan terminal (V_t) generator pada tabel 5.1

6. Matikan catu daya bila telah selesai.
7. Dari data percobaan yang saudara dapatkan, maka tegangan induksi (E_a) yang terjadi di kumparan jangkar dan daya yang dikeluarkan (P_o) oleh generator dapat diketahui. Dan efisiensi (η) pada generator pun dapat diketahui, bila rugi – rugi yang terjadi dianggap karena tahanan kumparan jangkar saja.
8. Plot data yang tercatat dengan konfigurasi arus beban (I_L) pada sumbu x, dan tegangan terminal generator (V_t) pada sumbu y.

5.7 Data Hasil Percobaan

Tabel 5.1 Data Hasil Percobaan Rangkaian Generator

Beban (Ω)	I_L (A)	V_t (V)
10%		
20%		
30%		
40%		
50%		
60%		
70%		
80%		
90%		
100%		

Gambar 5.6 Diagram I_L Dengan V_t pada Generator Berbeban

5.8 Data Hasil Perhitungan

- a. Beban 10%

$$E_a = V_t + I_a.R_a = \dots\dots\dots V$$

$$P_o = V_t.I_a = \dots\dots\dots \text{ watt}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + R_a.I_a^2}$$

- b. Beban 20 %

$$E_a = V_t + I_a.R_a = \dots\dots\dots V$$

$$P_o = V_t.I_a = \dots\dots\dots \text{ watt}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + R_a.I_a^2}$$

c. Beban 30%

$$E_a = V_t + I_a.R_a = \dots\dots\dots V$$

$$P_o = V_t.I_a = \dots\dots\dots \text{watt}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + R_a.I_a^2}$$

d. Beban 40%

$$E_a = V_t + I_a.R_a = \dots\dots\dots V$$

$$P_o = V_t.I_a = \dots\dots\dots \text{watt}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + R_a.I_a^2}$$

e. Beban 50%

$$E_a = V_t + I_a.R_a = \dots\dots\dots V$$

$$P_o = V_t.I_a = \dots\dots\dots \text{watt}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + R_a.I_a^2}$$

f. Beban 60%

$$E_a = V_t + I_a.R_a = \dots\dots\dots V$$

$$P_o = V_t.I_a = \dots\dots\dots \text{watt}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + R_a.I_a^2}$$

g. Beban 70%

$$E_a = V_t + I_a.R_a = \dots\dots\dots V$$

$$P_o = V_t.I_a = \dots\dots\dots \text{watt}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + R_a.I_a^2}$$

h. Beban 80%

$$E_a = V_t + I_a.R_a = \dots\dots\dots V$$

$$P_o = V_t.I_a = \dots\dots\dots \text{watt}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + R_a.I_a^2}$$

i. Beban 90%

$$E_a = V_t + I_a.R_a = \dots\dots\dots V$$

$$P_o = V_t.I_a = \dots\dots\dots \text{watt}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + R_a.I_a^2}$$

j. Beban 100%

$$E_a = V_t + I_a \cdot R_a = \dots\dots\dots V$$

$$P_o = V_t \cdot I_a = \dots\dots\dots \text{ watt}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_o}{P_o + R_a \cdot I_a^2}$$

5.9 Analisa data

5.10 Kesimpulan

