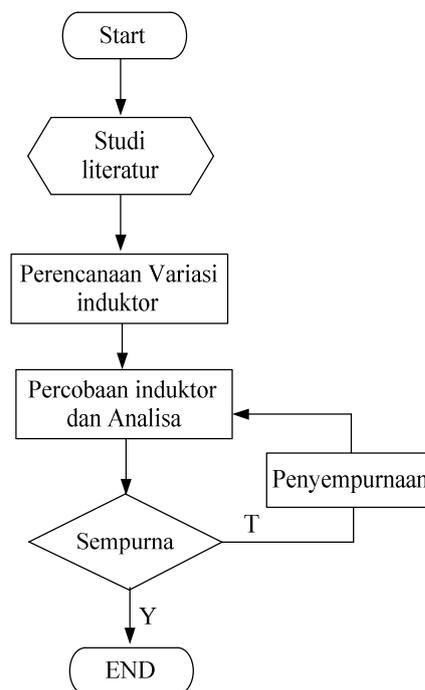


BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, diambil langkah-langkah diilustrasikan seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian

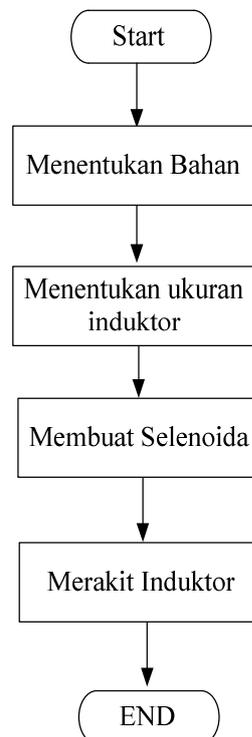
3.1. Studi literatur

Pada langkah ini, sumber-sumber informasi dikumpulkan yang menjadi dasar ilmiah dari analisa pada penelitian ini. Diantaranya berasal dari jurnal nasional, wawancara dengan nara sumber, buku-buku, skripsi yang berhubungan dengan induktor, starting motor induksi dan metode perancangannya atau pembuatan induktor sebagai alat penahan arus. Tahapan ini dilakukan guna menambah pengetahuan penulis, sehingga dapat

menguasai ilmu yang hendak digunakan untuk melakukan analisa. Pengetahuan tersebut meliputi teori tentang daya, energi, dua efek dari arus listrik, penghantar, arus bolak-balik melalui induktansi, dasar-dasar penentuan starting, penentuan waktu starting, induktansi kumparan solenoida, hubungan deret dan impedansi-impedansi, pengertian starting, medan magnet dan induktansi.

3.2. Perencanaan variasi induktor

Dalam perencanaan dan pembuatan induktor sebagai penahan arus ini, blok diagram rangkaian yang akan digunakan dapat dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Perencanaan variasi induktor

3.2.1 Menentukan bahan

Bahan-bahan yang perlu disiapkan adalah sebagai berikut:

1. Jenis kawat

Pada penelitian ini dipilih kawat nikelin yang akan digunakan sebagai induktor dan dibentuk menjadi solenoida, pemilihan kawat nikelin yang memiliki kadar nikelin 100% dipasaran tidak didapatkan, terlebih yang memiliki resistivitas tinggi namun pada penelitian ini digunakan kawat nikelin yang ada di pasaran. Komposisi kawat nikelin 54% Cu, 26 % Ni, 20 % Zn sesuai tabel 3.1 digunakan sebagai bahan penelitian.

Tabel 3.1 Bahan resistivitas tinggi

Nama Paduan	Komposisi (%)	Massa Jenis	Resistivitas (mm ² /m)	Koefisien suhu 10 ⁵ /°C
Konstanta	60 Cu, 40 Ni	8,9	0,48.052	5,25
Kromel	0,7Mn, 0,6 Ni, 23 s/d 27 Cr, 4,5 s/d 6,5 Al+Fe	6,9 s/d 7,3	1,3 s/d 1,5	6,5
Manganin	86 Cu, 12 Mn, 2 Ni	84	0,42 s/d 0,48	5,3
Nikrom	1,5 Mn, 75 s/d 78 Ni, 20 s/d 23 cr sisanya Fe	8,4 s/d 8,5	1 s/d 1,1	10 s/d 20
Fechral	0,7 Mn, 0,6 Ni, 12 s/d 1,5 Cr 3,5 s/d 5 Al, sisanya Fe	7,1 s/d 7,5	1,2 s/d 1,35	10 s/d 12
Nikelin	54 Cu, 26 Ni, 20 Zn	-	0,4 s/d 0,47	23

Sumber: Dr. Ir. Gatot Priowirjanto, Ilmu Bahan Listrik, halaman 24.

2. Bahan semen putih

Sifat nikelin dapat mengakibatkan panas, maka harus diredam dengan semen putih.

3. Lampu indikator (*Indicator Lamp*)

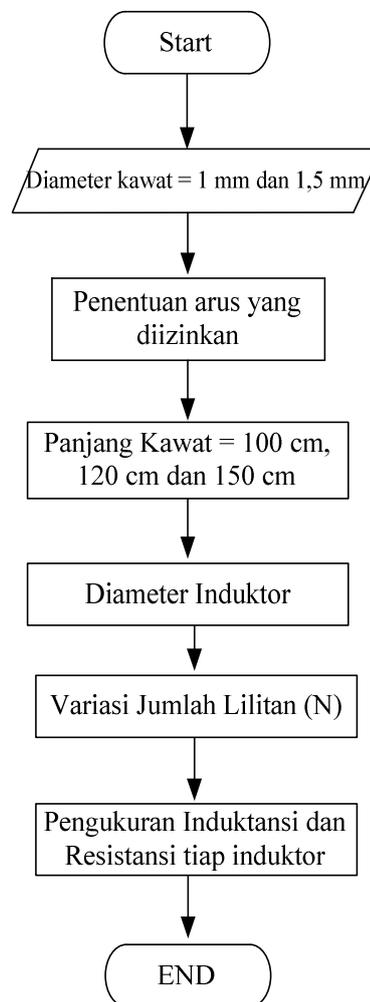
Lampu tanda induktor berfungsi sebagai petunjuk pada saat beban maksimum, pada kondisi ini lampu indikator akan menyala.

4. *Cassing* induktor

Cassing merupakan rumah induktor, yaitu sebagai pengaman induktor agar tidak timbul induksi di sekelilingnya.

3.2.2 Menentukan ukuran induktor

Menentukan ukuran induktor menggunakan sistematika seperti blok diagram pada gambar 3.3 sebagai berikut:

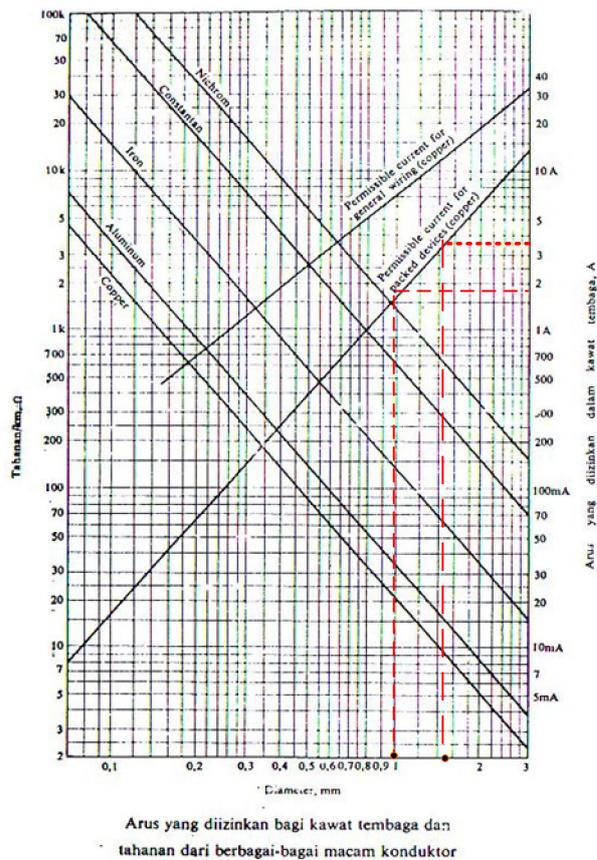


Gambar 3.3. Blok diagram menentukan ukuran induktor

Dari diagram alur gambar 3.3 cara menentukan ukuran induktor adalah sebagai berikut :

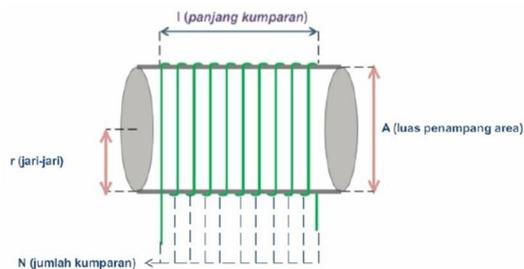
1. Diameter kawat (mm) dan penentuan arus yang diizinkan

Menentukan penampang kawat Nikelin induktor dengan memperhitungkan jenis bahan kawat, tetapi yang ada di pasaran sulit untuk didapatkan. Diameter yang digunakan ada 2 yaitu 1 mm dan 1,5 mm sehingga didapatkan nilai arus 1,9 A untuk $d = 1\text{ mm}$ sedangkan 3,5 A untuk $d=1,5\text{ mm}$, hal ini ditunjukkan pada gambar 3.4 sesuai dengan kemampuan motor yang akan dibuat percobaan.



Gambar 3.4. Penentuan arus berdasarkan diameter kawat

Contoh perhitungan menentukan ukuran induktor A adalah sebagai berikut :



Gambar 3.5 solenoida

Perhitungan pada spesifikasi induktor A adalah sebagai berikut:

- d kawat nikelin = 1,5 mm
- d solenoida = 3,2 cm = 0,032 m dengan $r = 0,016$ m
- Panjang $p = 100$ cm = 1 m
- l solenoida = 13 cm = 0,13 m
- Permeabilitas inti (μ)

$$\mu = \mu_0 \mu_r = 12,57 \times 10^{-7} (75) \text{ H/m} = 9,42 \times 10^{-5} \text{ H/m}$$

- Keliling solenoida

$$\odot = 2 \pi r = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,016 = 0,1 \text{ m}$$

- Jumlah lilitan kawat nikelin

$$N = \frac{p \text{ kawat}}{\text{keliling solenoida}} = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ lilitan}$$

- Luas penampang solenoid

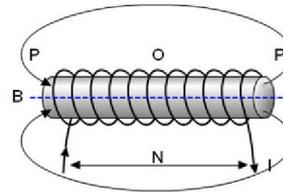
$$\begin{aligned} A &= \pi \cdot r^2 \\ &= 3,14 \cdot 0,016^2 \\ &= 0,00080 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

i. Induktansi (L)

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{\mu_0 \cdot A \cdot N^2}{l} \dots \dots \dots \text{H} \\
 &= \frac{9,42 \cdot 10^{-5} \times 0,00080 \times 100}{0,13} \\
 &= \frac{0,7536 \cdot 10^{-5}}{0,13} \\
 &= 5,796 \cdot 10^{-5} \text{ H} = 5,796 \cdot 10^{-2} \text{ mH}
 \end{aligned}$$

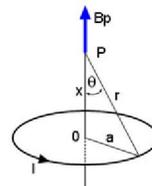
j. Medan magnet disekitar kawat melingkar (B)

Dengan arah medan magnet ditentukan dengan kaidah tangan kanan. Arah arus menentukan arah medan magnet pada solenoida yang ditunjukkan pada gambar 3.6



Gambar 3.6 lilitan kawat (bentuk selenoid)

Medan magnet disekitar kawat melingkar (solenoid) dapat dilihat seperti gambar 3.7



Gambar 3.7 Besarnya medan magnet di pusat kawat melingkar

Besarnya medan magnet di pusat kawat melingkar sesuai gambar 3.7 dapat dihitung sebagai berikut :

$$B = \frac{\mu_0 \times I \times N}{2 a}$$

$$B = \frac{4 \times 3,14 \cdot 10^{-7} \times 3,5 \times 10}{2 \cdot 0,016}$$

$$B = \frac{439,6 \cdot 10^{-7}}{0,032} = 13.737,5 \cdot 10^{-7} \text{ tesla}$$

Berdasarkan grafik penentuan kemampuan hantar arus untuk $d = 1$ mm arusnya 1,9A sedangkan $d = 1,5$ mm arus 3,5 A.

Keterangan :

B_0 = medan magnet pada pusat solenoida dalam tesla (T)

μ_0 = permeabilitas ruang hampa = $4\pi \cdot 10^{-7}$ Wb/amp. M

I = kuat arus listrik dalam ampere (A)

N = jumlah lilitan dalam solenoida

L = panjang solenoida dalam meter (m)

Tabel 3.2 hasil perhitungan jumlah kawat, luas penampang, induktansi dan medan magnet pada induktor A,B,C,D,E dan F

Induktor	Data pendukung induktor				Hasil perhitungan					
	d (mm)	p (cm)	d solenoid (m)	l solenoid (m)	μ (H/m)	Φ (m)	N (lilit)	A solenoid d (m ²)	L (H)	B (T)
A	1,5	100	0,032	0,13	$9,42 \cdot 10^{-5}$	0,1	10	0,00080	$5,796 \cdot 10^{-5}$	$15.700 \cdot 10^{-7}$
B	1	120	0,032	0,14	$9,42 \cdot 10^{-5}$	0,1	12	0,00080	$7,75 \cdot 10^{-5}$	$8949 \cdot 10^{-7}$
C	1,5	150	0,032	0,15	$9,42 \cdot 10^{-5}$	0,1	15	0,00080	$11,30 \cdot 10^{-5}$	$20606,3 \cdot 10^{-7}$
D	1	150	0,032	0,15	$9,42 \cdot 10^{-5}$	0,1	15	0,00080	$11,30 \cdot 10^{-5}$	$11186,3 \cdot 10^{-7}$
E	1,5	120	0,032	0,14	$9,42 \cdot 10^{-5}$	0,1	12	0,00080	$7,75 \cdot 10^{-5}$	$16485 \cdot 10^{-7}$
F	1	100	0,032	0,13	$9,42 \cdot 10^{-5}$	0,1	10	0,00080	$5,796 \cdot 10^{-5}$	$7457,5 \cdot 10^{-7}$

2. Panjang kawat

Panjang kawat induktor ditentukan dengan kombinasi jumlah lilitan berarti dipengaruhi panjang kawat yang bervariasi sebagai variabel bebas, maka dipilih panjang kawat 100 cm, 120 cm dan 150 cm karena menurut perhitungan kemampuan arus induktor dengan 5 macam variasi beban yang ideal induktor D dengan

panjang 150 cm diameter 1 mm dan induktor E panjang kawat 120 cm diameter 1,5 mm, sedang yang kurang mampu induktor A panjang 100 cm diameter 1,5 mm, maka dibuat panjang kawat dengan variasi 100 cm, 120 cm dan 150 cm.

3. Jumlah belitan kawat (N) dan diameter selenoida

Hal yang perlu diperhatikan untuk membuat suatu induktor adalah dengan menentukan diameter lilitan dan jumlah lilitan (N) sehingga baru bisa ditentukan panjang lilitan dengan tujuan untuk menentukan suatu harga induktansi, dapat dilihat pada gambar 3.5 dan resistansi yang akan berpengaruh pada medan magnet sehingga akan membedakan hasil starting pada tiap variasi induktor yang berbeda, hasilnya pada tabel 3.3.

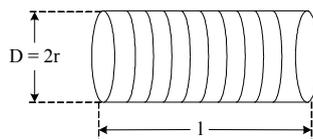
Tabel 3.3 Spesifikasi variasi induktor hasil pengukuran

NO	Kode Induktor	Diameter kawat	Panjang kawat	Diameter Induktor	Panjang Induktor	R	N	Induktansi
1	A	1,5 mm	100 cm	3,2 cm	13 cm	1 Ω	10 lilit	0,03 mH
2	B	1 mm	120 cm	3,2 cm	14 cm	2 Ω	12 lilit	0,04 mH
3	C	1,5 mm	150 cm	3,2 cm	15 cm	1,2 Ω	15 lilit	0,05 mH
4	D	1 mm	150 cm	3,2 cm	15 cm	2,4 Ω	15 lilit	0,05 mH
5	E	1,5 mm	120 cm	3,2 cm	14 cm	1,2 Ω	12 lilit	0,03 mH
6	F	1 mm	100 cm	3,2 cm	13 cm	2,5 Ω	10 lilit	0,04 mH

3.2.3 Membuat selenoida

Dalam pembuatan selenoida hal yang perlu diperhatikan adalah panjang kawat, penampang dan mal sebagai pencetak selenoida,

digunakan pipa paralon pada ukuran 1 inchi = 24,5 mm akan tetapi pada saat selenoid dilepas dari pipa paralon maka ukuran selenoid tidak sama lagi dengan ukuran paralon sehingga ukurannya menjadi 3,2 cm yang ditunjukkan seperti gambar 3.8 dibawah ini :



Gambar 3.8 Fisik induktor yang direncanakan

3.2.4 Merakit induktor

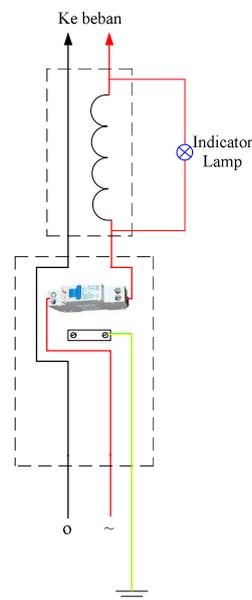
Dalam merakit induktor menggunakan langkah-langkah seperti pada gambar 3.9 diagram alir di bawah ini :



Gambar 3.9 Diagram alir merakit induktor

1. Pemasangan Induktor pada tempatnya

Setelah dilakukan serangkaian penyetelan pada induktor maka induktor siap dipasang pada ujung terminal input dan output pada fasanya, Sedangkan tambahkan kabel sambungan pada Line / saluran pada terminal satunya lagi. Rapikan dan siap dilakukan pengecekan kembali. Sistem pengawatannya seperti pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Pengawatan pemasangan induktor

2. Pemasangan lampu indikator (*Indicator Lamp*)

Pasanglah lampu indikator pada inductor Nikelinnya pada saluran fasanya tambahkan resistor yang disertai dengan lampu Led. Kencangkan kembali tiap ujung input dan output terminalnya.

3. Pengadukan bahan

Karena sifat nikelin itu panas, maka harus diredam dengan semen putih dan sebagai catalis semen putih ditambah air kemudian diaduk. Adonan jangan terlalu padat karena sulit untuk penempatannya pada sela-sela induktor.

4. Penuangan bahan penyekat induktor

Tuangkan bahan semen putih pada casing inductor dengan pelan-pelan pada sela gulungan induktor, tujuannya agar setiap gulungan nikelin tidak saling bersentuhan. Jangan terlalu menekan pada saat proses penuangan adonan semen karena menyebabkan gulungan turun dan menyentuh casing induktor. Usahakan adonan jatuh secara alami dan sedikit proses perapian biarkan jatuh sesuai dengan keadaan saat dituang.

5. Pengeringan

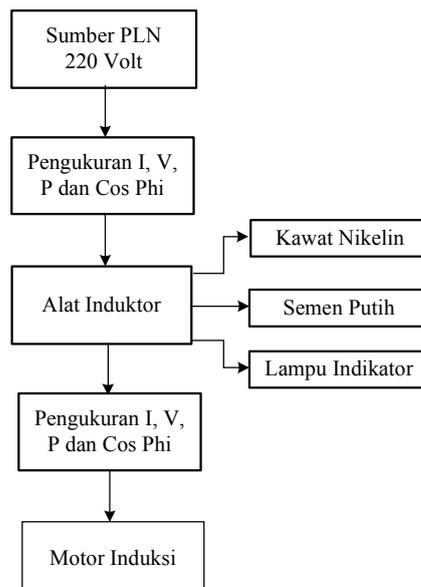
Pengeringan \pm 5 hari, biarkan di tempat teduh, kering secara alami dengan terkena udara ruang. Selanjutnya dilakukan pembersihan.

6. Pembersihan

Pembersihan bahan penyekat induktor dilakukan guna mengurangi tumpahan pada waktu proses penuangan bahan penyekat induktor yang keluar cetakan atau tempat induktor, sehingga dapat dihasilkan bentuk induktor yang maksimal. Selanjutnya dilakukan proses pengecatan dan percobaan.

3.3. Percobaan induktor

Kegiatan dalam mencoba induktor diperlukan alat ukur dan motor induksi rotor sangkar, langkah-langkah percobaan seperti pada blok diagram gambar 3.11.



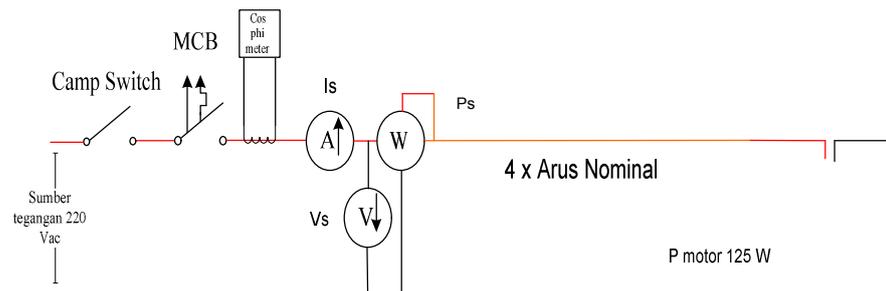
Gambar 3.11 Blok diagram percobaan induktor

Pelaksanaan percobaan induktor dilakukan sesuai blok diagram gambar 3.11 untuk mengetahui proses starting pada motor induksi dengan tujuan motor tidak sampai gagal start sehingga dilakukan serangkaian proses percobaan dengan variasi induktor yang berbeda dan bahan yang digunakan adalah: kawat nikelin, semen putih serta lampu Led sebagai *indicator Lamp*. Selanjutnya dilakukan pengukuran arus, tegangan daya dan cos phi yang diletakkan sebelum dan sesudah induktor serta dilakukan analisa pengukuran. Alat induktor dipasang diantara sumber PLN dengan motor listrik seperti pada gambar 3.11 diatas dan pelaksanaan percobaan ada beberapa tahap sebagai berikut :

a. Percobaan menggunakan dua macam rangkaian

1. Percobaan starting motor yang dicatu secara langsung dengan sumber tegangan (*Direct On Line*)

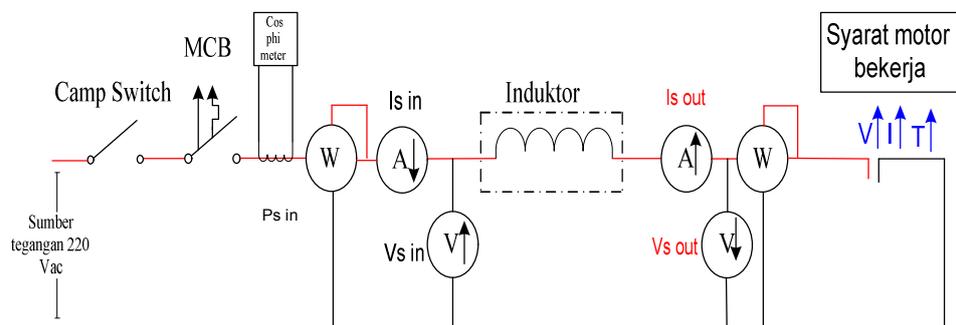
Rangkaian percobaan yang dicatu langsung dengan tegangan dapat dilihat seperti pada gambar 3.12 berikut ini :



Gambar 3.12 *Single line* percobaan pada motor rotor sangkar (*Asyncrounous*) secara DOL

2. Percobaan menggunakan 6 induktor yang berbeda ukuran kawat dan jumlah belitannya.

Rangkaian percobaan masing-masing induktor dapat dilihat seperti pada gambar 3.13 berikut ini :



Gambar 3.13 *Single line* percobaan induktor pada motor rotor sangkar (*Asyncrounous*)

Keterangan gambar percobaan 3.12 dan 3.13 adalah sebagai berikut :

1. Camp Switch untuk pengaktifan rangkaian percobaan.
 2. MCB untuk pengaman rangkaian percobaan.
 3. Voltmeter input untuk mengukur tegangan start
 4. Amperemeter input untuk mengukur arus start
 5. Cos phi meter input untuk mengukur faktor daya start
 6. Watt meter input untuk mengukur daya start
 7. Induktor untuk alat bantu starting motor
 8. Amperemeter output untuk mengukur arus output
 9. Voltmeter output untuk mengukur tegangan output
 10. Watt meter output untuk mengukur daya output
 11. Motor rotor sangkar sebagai beban
3. Langkah percobaan

Pelaksanaan percobaan induktor dilakukan dengan persiapan dilanjutkan pemasangan adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan bahan sebagai kelengkapan instalasi seperti kabel NYM 2 x 1,5 mm², klem, isolasi, skrup.
2. Menyiapkan perkakas untuk pekerjaan merangkai seperti obeng, tang potong, tang kombinasi.
3. Menyiapkan gawai uji seperti tang ampere, tespen dan AVOMeter, Wattmeter, Cos phi meter, ampere meter dan volt meter.
4. Menyiapkan induktor yang akan dicoba selanjutnya dipasang dan dirangkai dengan motor seperti pada gambar percobaan 3.13 dan

percobaan tanpa menggunakan induktor secara DOL pada gambar 3.12.

4. Analisa percobaan

Hasil percobaan yang akan diamati mengukur besarnya arus, tegangan, daya dan cos phi tanpa menggunakan induktor dan percobaan menggunakan induktor adalah :

1. Percobaan arus start, tegangan start, daya start dan cos phi start pada 5 macam beban motor rotor sangkar tanpa menggunakan 6 macam induktor, dalam setting waktu masing-masing 60 menit.
2. Percobaan arus start, tegangan start, daya start dan cos phi start pada 5 macam beban motor rotor sangkar dengan menggunakan 6 macam induktor yang bervariasi panjang kawat, diameter kawat, diameter selenoida dan jumlah lilitan, dalam setting waktu masing-masing 60 menit.
3. Percobaan arus nominal, tegangan nominal daya dan cos phi nominal pada 5 macam beban motor rotor sangkar dengan menggunakan 6 macam induktor yang bervariasi panjang kawat, diameter kawat, diameter selenoida dan jumlah lilitan, dalam setting waktu masing-masing 60 menit.
4. Percobaan arus start, tegangan start, daya start dan cos phi start pada 5 macam beban motor rotor sangkar tanpa menggunakan 6 macam induktor yang bervariasi panjang kawat, diameter kawat, diameter

solenoida dan jumlah lilitan, dalam setting waktu masing-masing 60 menit.

5. Percobaan arus nominal, tegangan nominal daya dan $\cos \phi$ nominal pada 5 macam beban motor rotor sangkar tanpa menggunakan 6 macam induktor yang bervariasi panjang kawat, diameter kawat, diameter solenoida dan jumlah lilitan, dalam setting waktu masing-masing 60 menit.