

Pengasutan Konvensional Motor Induksi Tiga Fasa Rotor Sangkar Tupai

Yusnan Badruzzaman

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Semarang

E-mail : yusnan.badruzzaman@gmail.com

Abstrak

Penggunaan motor induksi tiga fasa untuk aplikasi di mesin-mesin industri telah banyak digunakan pada dunia industri karena mempunyai konstruksi yang sederhana sehingga mudah dalam perawatannya. Kelemahan utama motor induksi tiga fasa adalah arus starting yang cukup tinggi dan torsi awal yang rendah. Untuk mengatasinya kita perlu memilih metode pengasutan yang tepat yang mampu menurunkan arus starting dan menaikkan torsi awal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik sistem pengasutan konvensional yang terdiri dari sistem direct online, bintang segitiga, tahanan primer dan pengasutan dengan transformator. Metode pengasutan konvensional merupakan metode pengasutan yang paling sering dipakai di dunia industri karena konstruksinya sederhana, handal dan ekonomis. Metode pengasutan konvensional dilakukan dengan mengatur dua buah variabel utama yaitu tegangan dan arus.

Kata kunci : Pengasutan konvensional, motor induksi tiga fasa

Abstract

The use of three-phase induction motors for applications in industrial machinery has been widely used in industry because of its simple construction, so easy in maintenance. The main drawback is the three-phase induction motor starting current is sufficiently high and low starting torque. To solve this problem, we need to choose the right method of starting motor that can reduce the starting current and starting torque increase. This study aims to determine the characteristics of conventional Starting induction motor system consisting of direct online system, the star delta, primary custody and the Starting of the transformer. Starting of the conventional method is a method of Starting of the most commonly used in industry because of its construction is simple, reliable and economical. Starting of the conventional method performed by adjusting the two main variables, the voltage and current.

Keywords: Conventional starting, three phase induction motors

I. PENDAHULUAN

Penggunaan motor induksi tiga fasa untuk aplikasi di mesin-mesin industri telah banyak digunakan pada dunia Industri. Motor induksi tiga fasa Mempunyai konstruksi yang sederhana sehingga mudah dalam perawatannya, bahkan bisa dikatakan tanpa perlu perawatan yang khusus.

Untuk dapat menjalankan motor induksi diperlukan suatu sistem pengasutan diantaranya adalah metode konvensional dan metode otomatis.

Untuk dapat memilih metode pengasutan yang tepat, diperlukan suatu penelitian yang dapat memberikan gambaran yang jelas tentang karakteristik masing-masing sistem pengasutan konvensional tersebut.

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Motor Induksi Tiga Fasa

Secara umum motor induksi dibagi menjadi dua buah yaitu motor induksi satu fasa dan motor induksi tiga fasa. Secara prinsip cara kerja kedua motor ini adalah sama yaitu karena adanya induksi yaitu adanya medan putar pada belitan utama (stator) yang memotong batang-batang rotor sehingga akan timbul induksi pada rotor.

Bagian utama dari motor induksi adalah :

1. Bagian yang diam (stator)
2. Bagian yang bergerak (rotor)
3. Celah udara

Prinsip kerja motor induksi tiga fasa adalah sebagai berikut.

1. Apabila sumber tegangan 3 fasa dipasang pada kumparan stator, timbullah kecepatan medan putar (N_s), $N_s = \frac{120f}{P}$. (1)
2. Perputaran medan putar pada stator tersebut akan memotong batang-batang konduktor pada bagian rotor.
3. Akibatnya, pada bagian rotor akan timbul tegangan induksi (ggl) sebesar : $E_{2s} = 4,44 f_2 N_2$ (untuk satu fasa), dimana E_{2s} adalah tegangan induksi saat rotor berputar.
4. Karena pada rotor timbul tegangan induksi, dan rotor merupakan rangkaian yang tertutup, sehingga pada rotor akan timbul arus (I).
5. Adanya arus (I) didalam medan magnet, akan menimbulkan gaya (F) pada rotor.
6. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya (F) pada rotor cukup besar untuk memikul kopel beban, maka rotor akan berputar searah dengan medan putar stator.
7. Agar tegangan terinduksi diperlukan adanya perbedaan antara kecepatan medan putar stator (n_s) dengan kecepatan berputar rotor (n_r).

8. Perbedaan kecepatan antara n_r dan n_s disebut slip (S) dinyatakan dengan :

$$S = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (2)$$

9. Apabila $n_r = n_s$ tegangan tidak terinduksi dan arus tidak mengalir pada kumparan jangkar rotor, dengan demikian tidak dihasilkan kopel. Kopel motor akan ditimbulkan apabila n_r lebih kecil dari n_s .

Berubah-ubahnya kecepatan motor induksi (n_r) mengakibatkan berubahnya harga slip dari 100% pada saat start sampai 0% pada saat diam ($n_r = n_s$)

Hubungan frekuensi dengan slip dapat dilihat seperti pada persamaan (1).

Pada rotor berlaku hubungan :

$$f_2 = \frac{p(n_s - n_r)}{120}$$

Dimana f_2 = frekuensi arus rotor

$$f_2 = \frac{pn_s}{120} \times \frac{n_s - n_r}{n_s}$$

Karena $S = \frac{n_s - n_r}{n_s}$ dan $f_1 = \frac{pn_s}{120}$

Maka $f_2 = f_1 \times n_s$

Pada saat start $S = 100\%$ dan $f_2 = f_1$

2.2 Sistem Pengasutan

Masalah-masalah yang sering muncul pada sistem pengasutan secara umum adalah arus awal yang terlalu besar dan momen awal yang sering terlalu kecil. Untuk kebanyakan motor arus awal adalah empat sampai tujuh kali besarnya arus nominal^[1]. Untuk motor-motor yang besar hal ini tidak dapat diijinkan karena akan mengganggu jaringan, lagipula hal ini akan merusak motor itu sendiri. Selain itu konsumsi daya listrik juga akan sangat tinggi dikarenakan arus start yang terlalu besar tadi.

Rumus arus awal adalah :

$$(I_2)_{s=1} = \frac{E_{20}}{\sqrt{R_2^2 + X_2^2}} \quad (3)$$

Dengan memperhatikan persamaan (3) dapat disimpulkan bahwa salah satu cara untuk menurunkan arus awal adalah dengan menurunkan E_{20} , hal ini dapat dilakukan dengan menurunkan tegangan apit. Dan cara yang kedua adalah dengan memperbesar nilai tahanan R_2 , hal ini dapat dilakukan pada jenis rotor belitan dengan menambahkan tahanan luar melalui cincin gesernya.

2.2.1 Pengasutan DOL (direct on line)

Jenis ini adalah jenis pengasutan yang umum dipakai terutama untuk daya motor dibawah 5 KW. Ada beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pengasutan secara langsung (DOL) ini antara lain :

1. Arus meningkat 5 s/d 7 kali arus beban penuh^[1].
2. Torsi hanya 1,5 s/d 2,5 kali torsi beban penuh.
3. Terjadi drop tegangan pada saat start awal
4. Untuk daya motor yang besar tidak disarankan untuk menggunakan pengasutan jenis ini.

Keterangan : $I_s = 5 \text{ s/d } 7 \text{ kali } I_n$.

$$Pr = 2\pi Ns. \tau = k. \tau$$

Dimana Pr adalah Daya input rotor.

Dan rugi-rugi tembaga (P_{cu}) = 3 x Protor

Jadi $3I_2^2 R_2 = s.k\tau$ dimana $I_2 = I_1$

$$\tau = \frac{I^2}{S} \quad (4)$$

Jika I_f = Arus nominal beban penuh

S_f = Slip beban penuh

$$\text{Maka } \tau_f = \frac{k.I.f^2}{s_f} \quad (5)$$

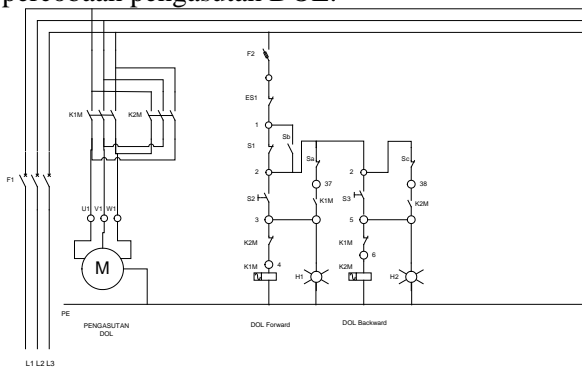
$$\frac{\tau_{start}}{\tau_f} = \left[\frac{I_{st}}{I_f} \right]^2 sf \tag{6}$$

Ketika pengasutan DOL maka arus starting adalah mirip arus hubung singkat (I_{hs})

$$\frac{\tau_{start}}{\tau_f} = \left[\frac{I_{hs}}{I_f} \right]^2 sf = a^2 sf$$

dimana $a = \frac{I_{hs}}{I_f}$

Gambar 1 memperlihatkan rangkaian percobaan pengasutan DOL.



Gambar 1 Rangkaian daya dan rangkaian kontrol pengasutan DOL

2.2.2. Pengasutan Bintang Segitiga

Cara yang sering digunakan untuk menurunkan tegangan apit adalah dengan menggunakan saklar bintang segitiga. Hubungan bintang digunakan untuk menurunkan tegangan yang masuk ke kumparan stator, sedangkan pada saat motor berjalan normal, kumparan stator dihubungkan delta. Metode ini cocok digunakan untuk motor-motor diatas 5,5 KW sampai 15 KW.

Pada saat hubungan Bintang tegangan line ke netral dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$V_{ln} = \frac{V_f}{\sqrt{3}} \tag{7}$$

$$I_{ln} = I_f = \frac{V_f}{\sqrt{3} \cdot Z} \tag{8}$$

Sedangkan pada hubungan segitiga tegangan line ke netral dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$I_{ln} = \frac{V}{Z} \tag{9}$$

$$I_{ln} = \frac{V_f}{\sqrt{3}}$$

Formulasi hubungan torsi starting dan torsi beban penuh

$$I_{st} \text{ perphase} = 1/\sqrt{3} I_{hs} \text{ per phase}$$

I_{hs} adalah arus saat hubungan segitiga dengan starting DOL

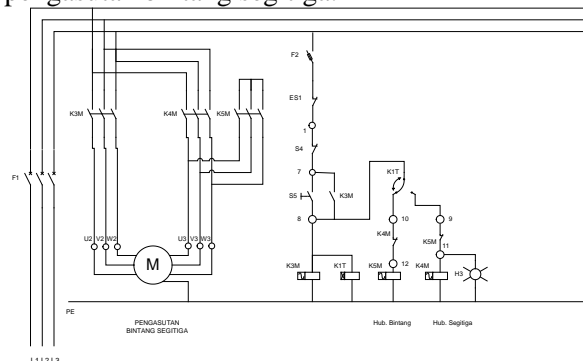
$$\tau_{st} \approx I_{st}^2 (s=1) \tag{10}$$

$$\tau_f \approx \frac{I_f^2}{s_f} \tag{11}$$

$$\frac{\tau_{start}}{\tau_f} = \left[\frac{I_{st}}{I_f} \right]^2 s_f = \left[\frac{I_{hs}}{\sqrt{3} I_f} \right]^2 s_f = \frac{1}{3} \left[\frac{I_{hs}}{I_f} \right]^2 s_f$$

I_{hs} dan I_{st} adalah arus perphase

Gambar 2 adalah rangkaian percobaan pengasutan bintang segitiga.



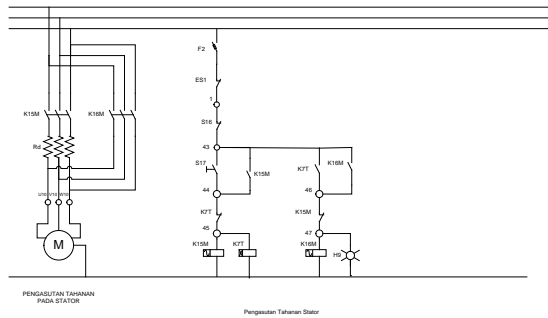
Gambar 2 Rangkaian daya dan rangkaian kontrol pengasutan bintang segitiga

2.2.3. Pengasutan dengan Tahanan Primer

Di sini tegangan yang diturunkan diperoleh dengan menggunakan tahanan yang dihubungkan seri dengan setiap belitan stator selama periode start. Penurunan tegangan dalam tahanan dapat dilakukan secara bertahap sesuai dengan kebutuhan. Semakin banyak tingkatannya semakin halus pula percepatan yang dihasilkan sehingga gangguan tegangan pada saluran lebih kecil.

Setelah periode start dengan tahanan selesai maka motor akan dihubungsingkatkan sehingga motor akan bekerja dengan tegangan penuh. Perpindahan ini dilakukan dengan kontrol otomatis dengan menggunakan timer. Keuntungan dari pengasutan ini adalah panas yang ditimbulkan relatif sedikit yaitu 5%-10% dari panas yang akan timbul.

Gambar 3 memperlihatkan rangkaian percobaan pengasutan dengan tahanan primer.



Gambar 3 Rangkaian daya dan rangkaian kontrol pengasutan dengan tahanan primer

2.2.4. Pengasutan dengan transformator

Pengasutan dengan transformator ini dapat dilakukan dengan beberapa tingkatan, semakin banyak tingkatan yang digunakan maka akan semakin baik pula perubahan arus start yang terjadi sehingga kenaikan arus start dapat diminimalkan. Keuntungan yang dapat kita rasakan dengan penggunaan tingkatan yang lebih banyak adalah akan mengurangi kerugian-kerugian panas yang timbul jika kita bandingkan dengan menggunakan suatu hambatan R. Namun kekurangan yang utama adalah transformator tegangan mempunyai harga yang lebih tinggi daripada sebuah hambatan.

Tujuan dari pengasutan ini adalah untuk mengurangi tegangan awal yang diinduksikan pada stator sehingga rangkaian ini biasa dikenal dengan nama pemampas awal kerja atau starting compensator. Rangkaian ini dapat dioperasikan secara manual ataupun otomatis dengan menggunakan rele yang dapat memberikan tegangan penuh setelah motor menjadi cepat. Pada saat pengasutan tegangan terminal dari motor dikurangi 50% sampai 80% dari tegangan penuh trafo, hal ini dimaksudkan untuk membuat arus asut kecil. Setelah percepatan transformator tegangan diputuskan.

Jika transformator bertapping dengan ratio transformasi k maka :

$$\text{Tegangan fasa} = \frac{kV}{\sqrt{3}}$$

$$\text{Sehingga } I_2 = \frac{kV}{\sqrt{3}Z} = k \frac{V}{\sqrt{3}Z}$$

$$I_2 = k \cdot I_{hs}$$

$$I_2 = k \cdot s \cdot I_f \tag{12}$$

Arus dari satu daya $I_1 = k \cdot I_2$

$$I_1 = k^2 \cdot s \cdot I_f = k^2 I_{hs} \tag{13}$$

$$\tau_2 \approx k^2 \left[\frac{V}{\sqrt{3}} \right]^2 \text{ dimana } \tau_1 \approx \left[\frac{V}{\sqrt{3}} \right]^2$$

$$\text{maka } \tau_2 = k^2 \tau_1 \tag{14}$$

τ_1 = Torsi saat DOL

τ_2 = Torsi transformator

Hubungan torsi starting dan torsi beban penuh

$$\tau_s = k^2 I_{hs} \text{ saat tegangan } kV/\sqrt{3};$$

$$I_{st} = k \cdot I_{hs}$$

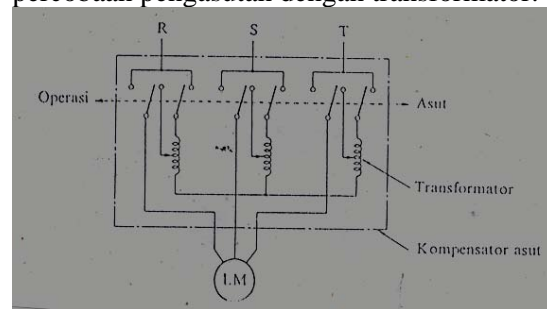
Karena $\tau_{st} \sim I_{st}^2$ untuk slip = 1

Maka

$$\frac{\tau_{st}}{\tau_f} = \left[\frac{I_{st}}{I_f} \right]^2 s_f$$

$$\frac{\tau_{st}}{\tau_f} = k^2 \left[\frac{I_{st}}{I_f} \right]^2 s_f \tag{15}$$

Gambar 4 memperlihatkan rangkaian percobaan pengasutan dengan transformator.



Gambar 4 Rangkaian daya dan rangkaian kontrol pengasutan dengan transformator

III. PEMBAHASAN

Data motor yang digunakan :

P = 745 W

Type = Rotor sangkar

F = 50 Hertz

Nr = 1415

Y/Δ = 380/220 V

Cos θ = 0.5

Pole = 4 kutup

3.1. Pengasutan Direct On Line

Dari hasil percobaan gambar rangkaian 3 yang dilakukan pada rangkaian DOL Forward didapatkan data sebagai berikut :

TABEL 1
DATA PERCOBAAN RANGKAIAN 2.1 DOL

	V _{L-L} (Volt)	I _s (A)	I _r (A)	N _r (rpm)
Maju	371	1.65	1.46	1498
	200	1.55	0.51	1490
Mundur	371	1.60	1.40	1499
	200	1.55	0.48	1495

Dari data juga dapat terlihat bahwa arus start nilainya lebih tinggi jika dibandingkan dengan arus pada saat running. Pada pengasutan DOL terjadi kenaikan arus start kurang lebih 6-7 kali arus nominal.

TABEL 2
DATA PERHITUNGAN RANGKAIAN DOL

V _{L-L} (V)	I _n (A)	I _s (forward) (A)	I _s (backward) (A)
380	2,26	15,96	15,96

Pada hasil perhitungan arus nominalnya adalah 2.26A. Arus ini adalah arus pada saat motor bekerja pada kondisi terbebani. Sedangkan data yang terukur adalah kondisi dimana motor dalam keadaan tanpa beban atau dapat dikatakan motor beban nol. Nilai arus beban nol adalah 1,46 A pada tegangan 371 V. Pada kondisi ini arus awal yang dapat terukur oleh alat ukur adalah 1,65 A.

Jika dibandingkan antara arus awal yang seharusnya adalah 6-7 kali arus nominal, dapat dijelaskan di sini bahwa arus awal ini sangat dipengaruhi oleh beban yang dipikul oleh motor induksi itu sendiri. Semakin besar beban yang dipikul maka akan semakin tinggi pula arus awalnya.

3.2. Pengasutan Bintang Segitiga

Data yang didapatkan adalah sebagai berikut :

TABEL 3
DATA PERCOBAAN RANGKAIAN 2 PENGASUTAN BINTANG SEGITIGA

V _{L-L} (V)	I _s (A)	I _(Y) (A)	I _(Δ) (A)	N _r (rpm)
200	1,4	0,48	1,12	1500
147	1,5	0,33	0,60	1500

TABEL 4
DATA PERHITUNGAN RANGKAIAN BINTANG SEGITIGA

V _{L-L} (V)	I _n (A)	I (Y) (A)	I (Δ) (A)
380	2,26	3,926	2.26

Dari name plate motor yang digunakan dalam percobaan pengasutan bintang segitiga didapatkan bahwa pada hubungan bintang tegangan maksimal yang diijinkan adalah 380 V dan pada hubungan delta tegangan maksimal yang diijinkan adalah 220 V. Sehingga dari data diatas maka tegangan yang dikenakan pada motor pada saat start awal maksimal adalah 220 V sehingga pada saat hubungan delta tegangan yang diberikan ke motor tidak melebihi tegangan yang diijinkan. Jika motor diberikan tegangan melebihi kemampuannya hal ini dapat menyebabkan usia pemakaian motor menjadi lebih muda dan lilitan motor akan cepat rusak karena dilalui tegangan melebihi kapasitasnya.

Dari data percobaan pada tabel 3, didapatkan bahwa saat motor terhubung bintang arus yang terukur adalah 0.48 A. Setelah motor terhubung delta arus ini meningkat menjadi 1,12 A (untuk tegangan masukan 200V). Sesuai dengan tujuan semula bahwa pengasutan bintang segitiga ini bertujuan untuk menurunkan arus start yang cukup tinggi. Secara teori arus pada hubungan bintang selalu lebih rendah jika dibandingkan dengan arus pada hubungan delta. Ini dapat dilihat pada tabel 4, ternyata hasil percobaan yang dilakukan menunjukkan nilai yang sama yaitu arus pada hubungan bintang lebih tinggi jika dibandingkan dengan arus pada hubungan delta.

Jika kita bandingkan nilai pada tabel 3 dan 4 dapat kita lihat bahwa pada perhitungan arus pada hubungan bintang adalah 3,926 A dan arus pada hubungan delta adalah 2,26 A (Untuk tegangan masukan 380V). Sedangkan disini tegangan masukan yang digunakan adalah 200V. Maka dapat dihitung kembali arusnya sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3}VICos\theta$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}VCos\theta}$$

$$I_n = \frac{746}{\sqrt{3} \cdot 200 \cdot 0,5} = 4,3A$$

Hubungan Bintang (start) :

Dimana I_{l-1} = I_{l-n}

$$V_{L-N} = \frac{200}{\sqrt{3}} = 115,5V$$

$$I_s = \frac{746}{\sqrt{3} \cdot 115,5 \cdot 0,5} = 7,45A$$

Hubungan Delta :
Dimana $V_{ln} = V_{ll}$

$$I_s = \frac{746}{\sqrt{3} \cdot 200 \cdot 0,5} = 4,3A$$

Dari perhitungan di atas dapat dilihat bahwa arus pada hubungan bintang adalah 7,45 A dan pada hubungan delta adalah 4,3 A. Sebagai informasi dapat dijelaskan bahwa sama seperti pada hubungan DOL, pengasutan ini dilakukan tanpa menggunakan beban (beban nol) sehingga arus yang terukur cenderung lebih rendah dengan arus yang telah diperhitungkan pada nilai nominalnya.

Sedangkan kecepatan putaran rotor cenderung sama dengan tegangan masukan yang berbeda. Hal ini disebabkan karena nilai slip yang sama dan nilai frekuensi jala-jala yang relatif stabil.

3.3. Pengasutan Tahanan Primer

Data yang didapatkan adalah sebagai berikut :

TABEL 5
DATA PERCOBAAN RANGKAIAN 3 PENGASUTAN TAHANAN PRIMER

	V_{L-L} (V)	I_{Rd} (A)	I_r (A)	I_s (A)	N_{rd} (rpm)	N_r (rpm)
3Ω	371	1,41	1,44	1,7		
	200	0,50	0,51	1,5		
6Ω	369	1,35	1,41	1,6	1490	1497
	200	0,49	0,51	1,5	1500	1500

Dari data tabel 5 dapat dilihat bahwa pada tahapan yang pertama dimana tegangan jala-jala dilewatkan melalui tahanan 6Ω diperoleh arus sebesar 1,35A. Dan pada saat motor dikenai tegangan penuh 369 V arus yang terukur adalah 1,41A. Pada saat tegangan dilewatkan tahanan sebesar 6Ω ternyata arus turun sekitar 0,06A. Sesuai dengan hukum Ohm bahwa arus berbanding terbalik dengan tahanan, semakin besar tahanan maka arusnya akan semakin kecil.

Sedangkan arus nominal motor dapat dihitung sebagai berikut :

$$P = \sqrt{3}VICos\theta$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}VCos\theta}$$

$$I_n = \frac{746}{\sqrt{3} \cdot 369 \cdot 0,5} = 2,33A$$

Sedangkan untuk kecepatan putaran rotor, tahanan primer tidak mempengaruhi kecepatan putaran rotor, karena tujuan utama tahanan primer adalah untuk mengurangi arus start pada motor. Tetapi kecepatan putaran rotor dapat dipengaruhi oleh nilai tahanan pada rotor. Hal ini dapat dilihat pada percobaan rangkaian pengasutan tahanan mula.

3.4. Pengasutan Dengan Transformator

Data yang didapatkan adalah sebagai berikut :

TABEL 6
DATA PERCOBAAN RANGKAIAN TRANSFORMATOR SATU LANGKAH

V_{L-L} (V)	I_s (A)	$I_{(1)}$ (A)	I_r (A)	N_r (rpm)
376	1,5	0,55	1,48	1496
204	1,61	0,28	0,51	1495

Percobaan rangkaian 3.4 ini dilakukan dengan menggunakan tiga buah transformator satu fasa dengan tegangan masukan 380V dan tegangan keluaran 220V.

Dari data percobaan didapatkan data bahwa arus pada saat langkah pertama adalah 0,55A, setelah beberapa detik tegangan yang diberikan pada belitan stator sesuai sama dengan tegangan sumber yaitu 376V. Arus yang terukur pada saat tegangan ini adalah 1,48 A. Terjadi kenaikan arus dari 0,55A menjadi 1,48A.

Dari data transformator yang digunakan dapat dihitung ratio dari transformator step down ini yaitu sesuai dengan persamaan 47 bahwa :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = a \quad (12)$$

$$a = \frac{380}{220} = 1,727$$

Sehingga jika tegangan masukan adalah 376 Volt, maka tegangan keluaran adalah

$$E_2 = \frac{E_1}{a} = \frac{376}{1,727} = 217,7V$$

Maka Arus motor dapat dihitung sesuai dengan persamaan :

$$P = \sqrt{3}VICos\theta$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}VCos\theta}$$

$$I_n = \frac{746}{\sqrt{3} \cdot 217,7 \cdot 0,5} = 3,95A$$

Sedangkan pada saat running arusnya adalah :

$$P = \sqrt{3}VICos\theta$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}VCos\theta}$$

$$I_n = \frac{746}{\sqrt{3} \cdot 376 \cdot 0,5} = 2,29A$$

Disini terbukti bahwa dengan menggunakan transformator penurun tegangan satu langkah diperoleh penurunan nilai arus pada belitan stator yaitu 0,93A. Untuk mendapatkan pengasutan yang lebih halus lagi, dapat digunakan tahapan yang lebih dari satu langkah sehingga akan didapatkan arus starting awal yang cukup halus. Karena pengasutan ini dilakukan tanpa menggunakan beban (beban nol) sehingga arus yang terukur cenderung lebih rendah dengan arus yang telah diperhitungkan pada nilai nominalnya.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian dan pengujian pengasutan konvensional motor induksi tiga fasa yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pengasutan direct on line memberikan nilai arus asut yang paling tinggi.
2. Pengasutan bintang segitiga dan pengasutan dengan transformator satu langkah mampu mengurangi arus pengasutan dengan mereduksi tegangan masukan pada lilitan stator.
3. Pengasutan dengan tahanan primer dapat digunakan untuk motor dengan daya rendah dan beban-beban yang ringan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Kadir, Prof. Ir., *Mesin Tak Serempak*, PT Djabatan, Jakarta, 1981.
- [2] A.E. Fitzgerald. Charles Kingsley Jr. Stephen D. Umans, *Mesin-mesin Listrik*, Erlangga, 1992.
- [3] Eugene C. Lister. *Mesin dan Rangkaian Listrik*, Erlangga, 1993.
- [4] Muhaimin, *Instalasi Listrik I*, Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik, Bandung, 1995.
- [5] M. Chilikin, *Electric Drive*, MIR Publisher, Moscow, 1970.
- [6] M.V. Deshpande, *Electric Motors: Applications and Control*.
- [7] Theraja. BL. *Electrical Tecnology*, India.
- [8] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*, ITB Bandung, 1977.