

# Analisis Dan Pemodelan Motor Induksi Tiga Fasa Delapan Kutub Dengan Rangkaian Ekuivalen Invers $\Gamma$

Silvia Rafli\*, Amir Hamzah\*\*, Dian Yayan Sukma\*\*

\*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau \*\*Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau  
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau  
E-mail: silvyaal@yahoo.com

## ABSTRACT

*This study aimed to analyze and modelling an induction motor. The motor is used in this study is three phases induction motor eight poles, 500 W, 30 V, 50 Hz and 750 rpm. In this study the equivalent circuit is form into an inverse  $\Gamma$  transformation equations of three phases induction motor. The purpose of this study is to create a model of three phases induction motor eight poles using inverse  $\Gamma$  equivalent circuit, analyzing equations and equivalent circuit models obtained using matlab application, and comparing the results with the results of the actual testing analyst induction motor three phases eight poles.*

*Analysts done on two conditions, no load and load. From direct testing and analysis results were found comparisons percent error of the test results and analysis of induction motor three phases eight poles, there are input voltage when starting is 11%, starting current 23,21%, the influence load to voltage is 2,9%, the effect of load on the starting current 24,3% and during the current reduce is 26%. The percent error is quite high, this is cause errors in measurement parameters.*

**Keyword :** Induction Motor Three Phases, Inverse  $\Gamma$  Equivalent circuit, Parameters

## 1. PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan motor yang paling banyak digunakan dalam berbagai aplikasi mulai dari aplikasi di lingkungan rumah tangga sampai aplikasi di industri-industri besar. Hal ini disebabkan karena motor induksi memiliki berbagai keunggulan dibanding dengan motor listrik yang lain, yaitu diantaranya karena harganya yang relatif murah, konstruksinya yang sederhana dan kuat serta karakteristik kerja yang baik. [1] Karena begitu luasnya penggunaan motor induksi, maka kita memerlukan suatu analisa mengenai karakteristik motor induksi tersebut.

Untuk dapat melihat karakteristik motor induksi ini, dilakukan dengan membuat pemodelan rangkaian. Adapun pemodelan rangkaian yang akan digunakan

dalam pemodelan motor induksi ini adalah pemodelan rangkaian ekuivalen invers  $\Gamma$ . Namun langkah pertama yang dilakukan adalah dengan menurunkan persamaan tegangan dan arus dari motor induksi tiga fasa bentuk yang umum digunakan atau yang disebut dengan bentuk T dengan menggunakan transformasi kerangka referensi sumbu *direct* – *quadrature* serta membuat rangkaian ekuivalennya.

Langkah selanjutnya yaitu melakukan penyederhanaan atau transformasi rangkaian ekuivalen yang diperoleh sebelumnya yaitu bentuk T ke rangkaian ekuivalen bentuk invers  $\Gamma$  untuk memperoleh rangkaian ekuivalen yang lebih akurat dalam penentuan parameter dan analisisnya.

Selanjutnya dalam penelitian ini akan dibahas kinerja motor induksi terhadap pengaruh perubahan tegangan, frekuensi dan beban dengan menggunakan aplikasi Matlab. Adapun motor induksi yang akan diteliti adalah Motor Induksi Tiga Fasa Delapan Kutub Rotor Sangkar.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Motor Induksi Tiga Fasa [2]

Motor Induksi merupakan motor arus bolak-balik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, dimana arus yang mengalir pada kumparan - kumparan di stator yang mempunyai beda fasa  $120^\circ$ , akan menghasilkan medan magnet putar. Medan magnet putar ini akan memotong batang-batang konduktor pada rotor sehingga menginduksi tegangan. Karena kumparan jangkar di rotor merupakan rangkaian tertutup (*closed-loop*), maka pada kumparan tersebut akan mengalir arus rotor yang akan menimbulkan momen pada rotor. Motor induksi disebut juga motor tak serempak, karena adanya perbedaan antara kecepatan putar rotor dan kecepatan putar medan statornya.

### 2.2 Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa [2]

Motor induksi seperti umumnya motor listrik rotasi memiliki stator yang diam dan rotor yang berputar, yang dipisahkan oleh celah udara (*air gap*) sempit diantara keduanya yang lebarnya tergantung pada kapasitas daya motor. Stator motor induksi berupa kerangka berbentuk silinder yang tersusun atas lapisan-lapisan baja tipis, dengan kumparan stator terdistribusi pada alur-alur disekeliling kerangka, dan dicatu tegangan tiga fasa.

### 2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi Tiga Fasa [2]

Stator diberi suplai berupa tegangan tiga fasa. Karena stator merupakan suatu

rangkaian tertutup, tegangan tiga fasa ini akan menghasilkan arus tiga fasa pada stator. Sesuai dengan Hukum Faraday, arus akan menimbulkan medan magnet dengan arah mengikuti aturan tangan kanan. Karena arus yang dihasilkan adalah arus tiga fasa, medan magnet yang dihasilkan akan berputar, atau dikenal dengan medan magnet putar, dengan arah putaran tergantung dari arah arus tiga fasa.

Medan magnet putar ini memiliki besar yang selalu sama dan berputar dengan kecepatan angular sama dengan frekuensi stator. Medan magnet putar ini akan menembus konduktor rotor dan menghasilkan fluks pada rotor yang besarnya sesuai dengan persamaan :

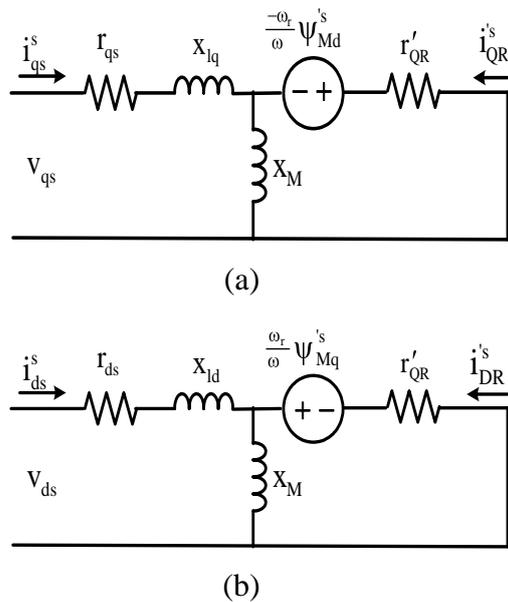
$$\phi = BA \cos\theta \quad (2.1)$$

dengan  $B$  adalah besarnya medan magnet,  $A$  adalah luasan bidang yang ditembus oleh medan magnet, dan  $\theta$  adalah sudut yang dibentuk antara  $B$  dan normal bidang yang ditembus medan magnet. Karena sudut yang dibentuk antara  $B$  dan normal bidang berubah-ubah, maka fluks yang dihasilkan juga berubah-ubah. Perubahan fluks akan menghasilkan tegangan induksi pada rotor sesuai persamaan:

$$E = -N \frac{d\phi}{dt}$$

dengan  $N$  adalah banyaknya lilitan pada rotor dan  $\frac{d\phi}{dt}$  adalah perubahan fluks terhadap waktu yang terjadi. Karena rotor merupakan rangkaian tertutup, arus induksi akan mulai mengalir pada rotor dan menghasilkan medan magnet rotor. Medan magnet putar dan medan magnet rotor akan saling berinteraksi dan menghasilkan medan magnet total atau resultan. Adanya medan magnet resultan, arus rotor, dan panjang rotor akan menghasilkan gaya Lorentz. Gaya ini akan menghasilkan torsi untuk menggerakkan rotor.

## 2.4 Rangkaian Ekuivalen Invers Γ [3]



Gambar 2.1 Rangkaian ekuivalen motor induksi bentuk invers Γ

- Rangkaian ekuivalen menggunakan sumbu d
- Rangkaian ekuivalen menggunakan sumbu q

tegangan pada sumbu q stator:

$$v_{qs}^s = r_{qs} i_{qs}^s + \frac{p}{\omega_b} \left( X_{lq} \dot{i}_{qs}^s + X_M (\dot{i}_{qs}^s + \dot{i}'_{QR}) \right) \quad (2.1)$$

tegangan pada sumbu q rotor:

$$0 = r'_{QR} i'_{QR} + \frac{p}{\omega_b} X_M (\dot{i}_{qs}^s - \dot{i}'_{QR}) - \frac{\omega_r}{\omega_b} X_M (\dot{i}_{ds}^s - \dot{i}'_{DR}) \quad (2.2)$$

tegangan pada sumbu d stator:

$$v_{ds}^s = r_{ds} i_{ds}^s + \frac{p}{\omega_b} \left( X_{ld} \dot{i}_{ds}^s + X_M (\dot{i}_{ds}^s + \dot{i}'_{DR}) \right) \quad (2.3)$$

tegangan pada sumbu d rotor:

$$0 = r'_{DR} i'_{DR} + \frac{p}{\omega_b} X_M (\dot{i}_{ds}^s - \dot{i}'_{DR}) + \frac{\omega_r}{\omega_b} X_M (\dot{i}_{qs}^s - \dot{i}'_{QR}) \quad (2.4)$$

dimana:

$$X_{lq} = X_{ls} - kX'_{lr}$$

$$X_{ld} = X_{ls} - kX'_{lr}$$

$$x_M = \frac{x_m^2}{x'_{rr}}$$

Persamaan (2.2) – (2.4) dapat disederhakan sebagai berikut :

$$v_{qs}^s = r_{qs} i_{qs}^s + \frac{p}{\omega_b} \Psi_{QS} \quad (2.5)$$

$$0 = r'_{QR} i'_{QR} + \frac{p}{\omega_b} \Psi_{Mq} - \frac{\omega_r}{\omega_b} \Psi_{Md}^s \quad (2.6)$$

$$v_{ds}^s = r_{ds} i_{ds}^s + \frac{p}{\omega_b} \Psi_{DS} \quad (2.7)$$

$$0 = r'_{DR} i'_{DR} + \frac{p}{\omega_b} \Psi_{Md} + \frac{\omega_r}{\omega_b} \Psi_{Mq}^s \quad (2.8)$$

Dimana

$$\begin{aligned} \Psi_{QS} &= X_{lq} i_{qs}^s + X_M (\dot{i}_{qs}^s + \dot{i}'_{QR}) \\ \Psi_{DS} &= X_{ld} i_{ds}^s + X_M (\dot{i}_{ds}^s + \dot{i}'_{DR}) \\ \Psi_{Mq} &= X_M (\dot{i}_{qs}^s + \dot{i}'_{QR}) \\ \Psi_{Md} &= X_M (\dot{i}_{ds}^s + \dot{i}'_{DR}) \end{aligned}$$

Persamaan torka

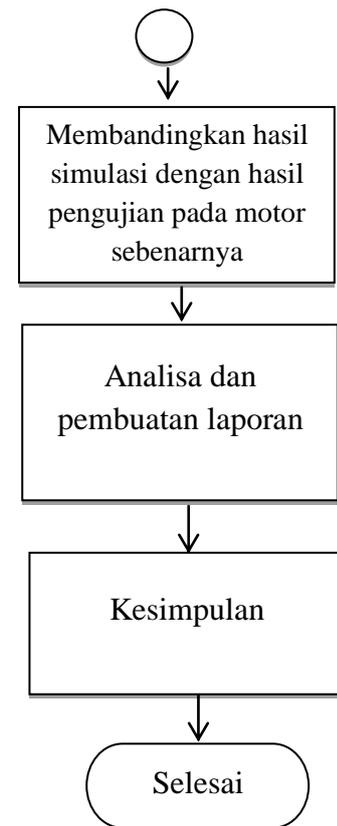
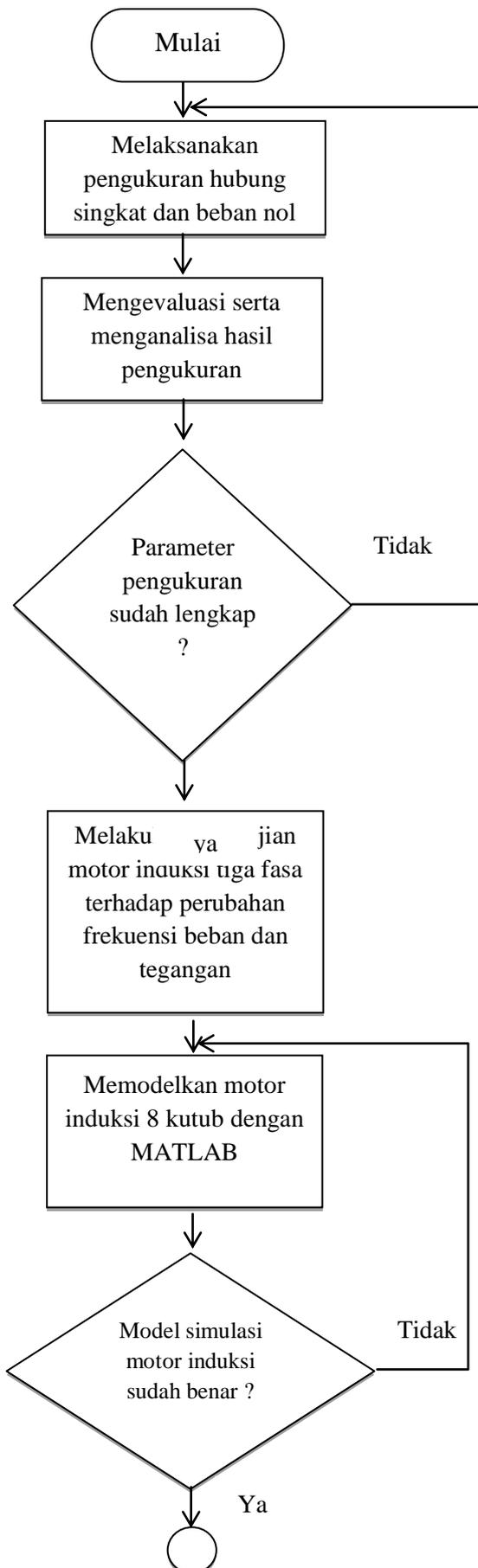
$$T_{em} = \frac{3}{2} \frac{P}{2\omega_b} (\dot{i}'_{ds} i_{qs}^s - \dot{i}'_{qs} i_{ds}^s) \quad (2.9)$$

## 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Konversi Fakultas Teknik. Penelitian di Laboratorium Konversi dimaksudkan untuk melakukan analisis untuk menentukan pengaruh tegangan terhadap torka, tegangan terhadap kecepatan, frekuensi terhadap kecepatan, beban terhadap torka, dan beban terhadap kecepatan motor induksi tiga fasa delapan kutub, adapun waktu pelaksanaan penelitian akan di mulai dari bulan November hingga bulan Desember 2014 dengan rentang waktu pengukuran selama 30 hari.

### 3.2 Flowchart Penelitian



### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Model Motor Induksi Tiga Fasa

Model rangkaian ekuivalen motor induksi memerlukan nilai-nilai parameter dari motor tersebut. Untuk memperoleh model motor yang akurat, yang mana merepresentasikan semua karakteristik dari motor, parameter perlu dihitung dengan teliti. Penentuan parameter yang dibuat pada penulisan ini dilakukan pada kondisi mantap. Analisis detail lanjutan dilakukan untuk menghasilkan data yang dibutuhkan dalam pemodelan. Penggunaan persamaan nonlinear dilakukan dalam perhitungan parameter lanjutan. Resistansi rugi-rugi  $R_{Mq}$  dan  $R_{Md}$  ditambahkan pada rangkaian ekuivalen untuk menghitung rugi-rugi inti. Rugi-rugi inti disebabkan oleh arus rugi-rugi *eddy current* dan *hysteresis*.

#### 3.3.2 Penentuan Parameter Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi Tiga Fasa Bentuk Invers $\Gamma$ [4]

Parameter rangkaian ekuivalen motor induksi tiga fasa dapat diperoleh dengan

melakukan tiga pengujian (pengukuran), yaitu:

1. Pengujian resistansi stator.
2. Pengujian rotor tertahan (*blocked rotor test*).
3. Pengujian tanpa beban (*no-load test*).

### 1 Pengujian resistansi stator

Pengujian ini untuk menentukan nilai resistansi setiap belitan per fasa stator. Jika  $R$  adalah resistansi antara dua terminal motor, maka resistansi per fasa adalah:

- a.  $R_s = 0.5 R$  untuk hubungan Y
- b.  $R_s = 1.5 R$  untuk hubungan  $\Delta$

### 2 Pengujian rotor tertahan (Blocked Rotor Test)

Pengujian rotor tertahan sama dengan pengujian hubung singkat pada transformator. Pada pengujian ini, rotor ditahan diam (tidak berputar) dengan memberikan torka luar pada poros. Belitan stator dihubungkan ke suplai tiga fasa variable. Tegangan dinaikkan dari nol sampai ke tingkat rating arus motor.

Impedansi rotor pada kondisi rotor tertahan adalah relatif kecil ( $s=1$ ), tegangan yang diberikan lebih rendah dari tegangan rating motor. Maka, arus eksitasi sangat kecil dan dapat diabaikan, maka

$$R_{br} = \frac{P_{br}}{I_{br}^2} \quad (3.1)$$

Dimana  $P_{br}$  dan  $I_{br}^2$  adalah daya input dan arus rating. Nilai  $R_s$  telah diketahui dari pengukuran resistansi stator, maka :

$$R_r = R_{br} - R_s \quad (3.2)$$

Selanjutnya

$$Z_{br} = \frac{V_{br}}{I_{br}} \quad (3.3)$$

Dan

$$X_{br} = \sqrt{Z_{br}^2 - R_{br}^2} \quad (3.4)$$

Maka

$$X_{ls} = X_{lr} = 0.5 X_{br}$$

### 3 Pengujian tanpa beban (no-load test)

Pengujian tanpa beban dilakukan pada frekuensi nominal dan tegangan fasa seimbang yang diberikan pada terminal stator secara bertahap. Pada pengujian tanpa beban, slip mendekati nol, impedansi rangkaian rotor hamper tak terhingga.

Resistansi rugi – rugi adalah :

$$R_c = \frac{V_{nl}^2}{P_{nl}} \quad (3.5)$$

Factor daya beban nol adalah :

$$\cos \theta_{nl} = \frac{P_{nl}}{V_{nl} I_{nl}} \quad (3.6)$$

Reaktansi magnetisasi adalah :

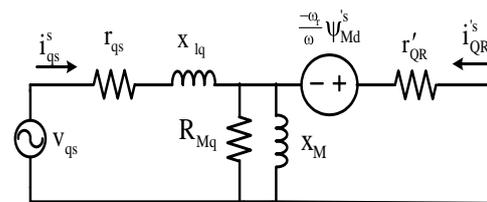
$$X_m = \frac{V_{nl}}{I_{nl} \sin \theta_{nl}} \quad (3.7)$$

## 4. ANALISA DAN HASIL

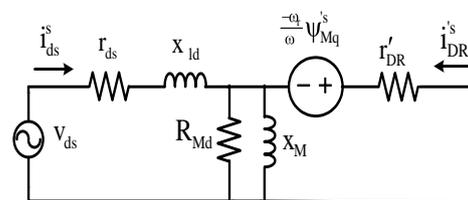
### 4.3 Motor Induksi Tiga Fasa Delapan Kutub Beban Nol

#### 4.3.1 Analisis Rangkaian Ekvivalen Bentuk Invers $\Gamma$ Tanpa Beban

Pada analisis pertama yang dilakukan yaitu dengan menggunakan rangkaian ekvivalen d-q bentuk invers  $\Gamma$  seperti pada gambar 4.1.



(a)



(b)

Gambar 4.1 Rangkaian ekvivalen motor induksi tiga fasa bentuk invers  $\Gamma$ .

(a) sumbu q, (b) sumbu d.

Persamaan tegangan motor pada kondisi beban nol adalah sebagai berikut:

$$v_{qs}^s = r_{qs} i_{qs}^s + \frac{p}{\omega_b} \psi_{QS} \quad (4.1)$$

$$0 = r_{QR}' i_{QR}^s + \frac{p}{\omega_b} \psi_{Mq} - \frac{\omega_r}{\omega_b} x_{Md}^s \quad (4.2)$$

$$v_{ds}^s = r_{ds} i_{ds}^s + \frac{p}{\omega_b} \psi_{DS} \quad (4.3)$$

$$0 = r_{DR}' i_{DR}^s + \frac{p}{\omega_b} x_{Md} + \frac{\omega_r}{\omega_b} x_{Mq}^s \quad (4.4)$$

Persamaan fluksi lingkup dan arus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \psi_{QS} &= X_{lq} i_{qs}^s + X_M i_{qs}^s + i_{QR}^s \\ \psi_{DS} &= X_{ld} i_{ds}^s + X_M i_{ds}^s + i_{DR}^s \\ \psi_{Mq} &= X_M i_{qm}^s + i_{QR}^s \\ \psi_{Md} &= X_M i_{dm}^s + i_{DR}^s \end{aligned} \quad (4.5)$$

Persamaan arus

$$i_{qs} = \frac{\psi_{QS} - \psi_{Mq}}{X_{lq}}$$

$$i_{ds} = \frac{\psi_{DS} - \psi_{Md}}{X_{ld}}$$

$$i_{QR}^s = \frac{\psi_{Mq} - X_M i_{qm}^s}{X_M} \quad (4.6)$$

$$i_{DR}^s = \frac{\psi_{Md} - X_M i_{dm}^s}{X_M}$$

$$i_{qm} = i_{qs} - \frac{\psi_{m q}}{R_{m q}}$$

$$i_{dm} = i_{ds} - \frac{\psi_{m d}}{R_{m d}}$$

Persamaan fluksi lingkup

$$\begin{aligned} \psi_{QS} &= \omega_b \int \left\{ v_{qs}^s - r_{qs} \left( \frac{\psi_{QS} - \psi_{Mq}}{X_{lq}} \right) \right\} \\ \psi_{DS} &= \omega_b \int \left\{ v_{ds}^s - r_{ds} \left( \frac{\psi_{DS} - \psi_{Md}}{X_{ld}} \right) \right\} \\ \psi_{Mq} &= \omega_b \int \left\{ r_{QR}' \left( \frac{\psi_{QS}}{X_{lq}} - \psi_{Mq} \left( \frac{X_{ld} + X_M}{X_M X_{lq}} \right) \right) - \frac{\omega_r}{\omega_b} \psi_{Md} \right\} \\ \psi_{Md} &= \omega_b \int \left\{ r_{DR}' \left( \frac{\psi_{DS}}{X_{ld}} - \psi_{Md} \left( \frac{X_{ld} + X_M}{X_M X_{ld}} \right) \right) - \frac{\omega_r}{\omega_b} \psi_{Mq} \right\} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Dengan menggunakan persamaan (4.1-4.7) ke dalam simulasi Matlab diperoleh grafik tegangan input, arus, torka dan kecepatan dari motor induksi tiga fasa seperti pada gambar 4.2 - 4.5. Adapun analisis yang akan dilakukan yaitu pengaruh tegangan terhadap torka, tegangan terhadap kecepatan, frekuensi terhadap kecepatan, beban terhadap torka, dan beban terhadap kecepatan.

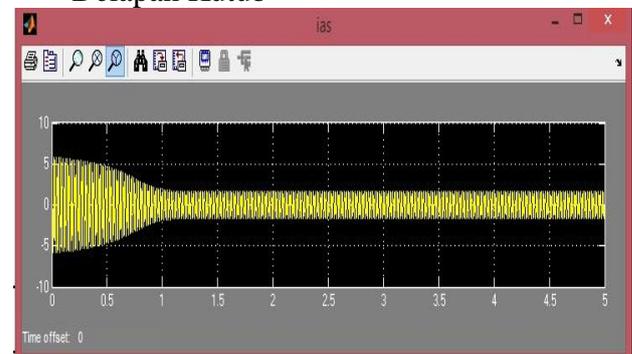
## 1. Tegangan Input Motor Induksi Tiga Fasa Delapan Kutub



Gambar 4.2 Tegangan puncak motor induksi tiga fasa sumbu q dan d

Dari gambar terlihat bahwa nilai tegangan input sumbu q dan d adalah 24,5 V.

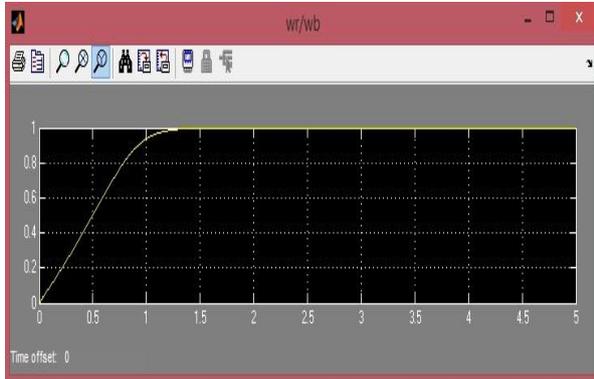
## 2. Arus Starting Motor Induksi Tiga Fasa Delapan Kutub



Gambar 4.3 Arus start motor induksi tiga fasa

Pada gambar 4.3 terjadi kenaikan arus yang melonjak sebesar 5,79 A hingga turun dan konstan menjadi 1,7 A pada saat waktu 1,12 detik.

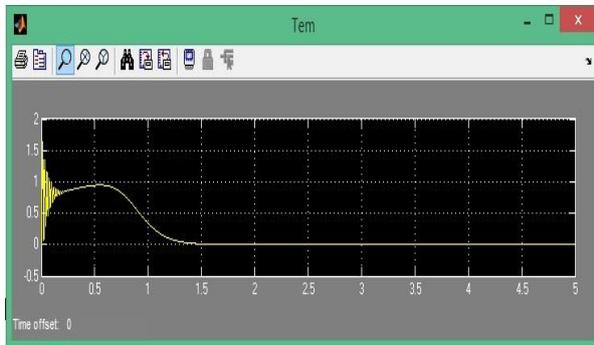
### 3. Kecepatan Motor Induksi Tiga Fasa Beban Nol



Gambar 4.4 Gambar kecepatan motor induksi tiga fasa delapan kutub

Pada gambar 4.4 terjadi kenaikan kecepatan dari nol hingga stabil pada saat 1,5 detik dengan nilai 1 pu.

### 4. Torka Motor Induksi Tiga Fasa Beban Nol



Gambar 4.5 Torka motor induksi tiga fasa delapan kutub

Berdasarkan gambar 4.5 besarnya nilai torka *start* motor induksi tiga fasa delapan kutub adalah 1,64 Nm.

### 5. Analisis Pengaruh Tegangan Terhadap Torka

Jika nilai tegangan diubah menjadi 60 V, maka torka *start* motor induksi tiga fasa delapan kutub adalah 6,5 Nm dan bernilai nol pada saat 0,4 detik seperti gambar 4.6.



Gambar 4.6 Torka motor induksi tiga fasa delapan kutub 60 V

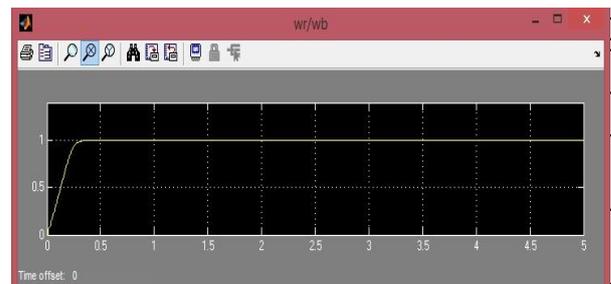
Ketika tegangan diubah kembali menjadi 90 V, hasil grafiknya terlihat pada gambar 4.6. Nilai torka *start* adalah 14,4 Nm dan bernilai nol pada saat 0,16 detik seperti gambar 4.6.



Gambar 4.7 Torka motor induksi tiga fasa delapan kutub 90 V

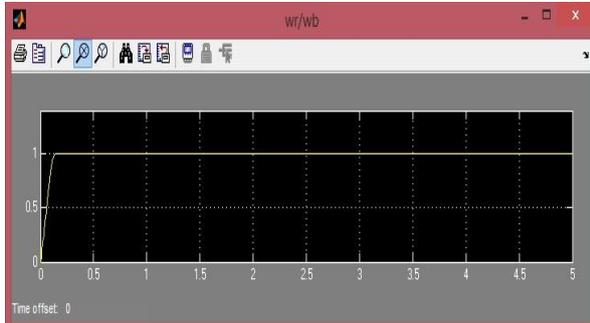
### 6. Analisis Pengaruh Tegangan Terhadap Kecepatan

Apabila tegangan rating diubah menjadi 60 V, maka performa kecepatan motor induksi tiga fasa dapat dilihat seperti pada gambar 4.7. terlihat bahwa kecepatan terus naik hingga stabil pada saat 0,4 detik.



Gambar 4.8 Kecepatan motor induksi tiga fasa delapan kutub 60 V

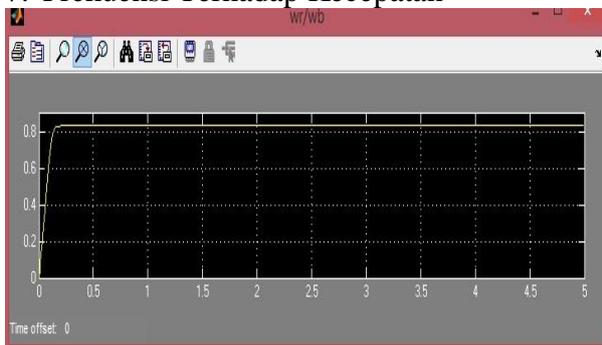
Apabila tegangan rating diubah menjadi 90 V, maka performa kecepatan motor induksi tiga fasa dapat dilihat seperti pada gambar 4.8. Terlihat bahwa kecepatan terus naik hingga stabil pada saat 0,16 detik.



Gambar 4.9 Kecepatan motor induksi tiga fasa delapan kutub 90 V

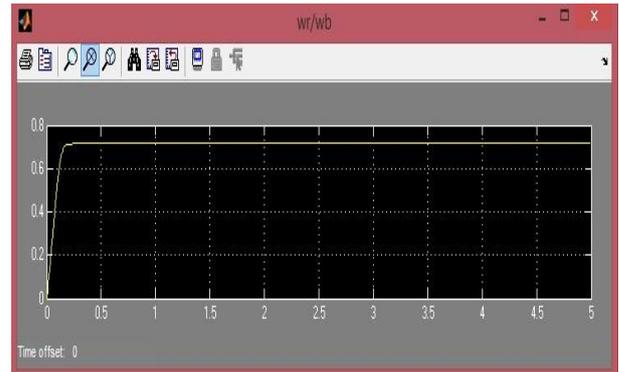
Berdasarkan gambar 4.7 - 4.8, semakin besar nilai tegangan maka semakin cepat kecepatan putar rotor untuk stabil.

## 7. Frekuensi Terhadap Kecepatan



Gambar 4.10 Kecepatan motor induksi tiga fasa delapan kutub 60 Hz

Berdasarkan gambar 4.9, kecepatan motor induksi sebesar 0,83 pu pada saat 0,2 detik. Sedangkan pada saat frekuensi 70 Hz, kecepatan motor induksi sebesar 0,71 pu pada saat 0,24 detik seperti pada gambar 4.10.



Gambar 4.11 Kecepatan motor induksi tiga fasa delapan kutub 70 Hz

Berdasarkan gambar 4.10 - 4.11, nilai frekuensi berbanding terbalik dengan besarnya nilai kecepatan. Semakin besar nilai frekuensi, maka semakin rendah kecepatan yang dihasilkan. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil frekuensi, semakin besar kecepatan putar rotor yang dihasilkan.

## 4.3 Hasil Eksperimen Motor Induksi Tiga Fasa Delapan Kutub

### 4.3.1 Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa Tanpa Beban

#### 4.3.1.1 Tegangan Input Motor Induksi Tiga Fasa Tanpa Beban

Untuk memverifikasi analisis motor induksi tiga fasa berbeban yang telah diperoleh, dilakukan pengujian di laboratorium, dengan tegangan nominalnya yaitu 30 V. Adapun tampilan grafis motor induksi tiga fasa delapan kutub pada saat *starting* dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4.12 Tegangan motor induksi tiga fasa saat *starting*

Terlihat pada gambar bahwa tegangan motor induksi tiga fasa delapan kutub stabil 1 detik setelah di-starting. Adapun nilai tegangan start pada osiloskop adalah:

$$V_{in} = \text{Kotak}_{\text{vertikal}} \times 2 \times \text{Penguat}$$

$$V_{in} = 1,1 \times 2 \times 10$$

$$V_{in} = 22V$$

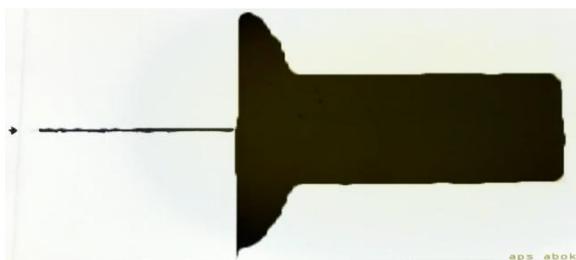
Tegangan pada saat stabil adalah 23,6 V. Terlihat dari gelombang tegangan yang dihasilkan, hasil eksperimen mendekati dengan nilai hasil perhitungan dengan nilai eror:

$$\begin{aligned} e\% &= \frac{\text{nilai}_{\text{simulasi}} - \text{nilai}_{\text{pengujian}}}{\text{nilai}_{\text{pengujian}}} \times 100\% \\ &= \frac{24,5 - 22}{22} \times 100\% \\ &= 11\% \end{aligned}$$

Osiloskop memiliki kesalahan spesifikasi kesalahan alat ukur 3%. [7] Maka harga sebenarnya dari hasil perhitungan adalah  $22V \pm 3\%$

#### 4.3.1.2 Arus Motor Induksi Tiga Fasa Tanpa Beban

Adapun arus start motor induksi tiga fasa dapat kita lihat pada gambar 4.12. Arus start yang tinggi mulai stabil pada saat 1 detik dengan nilai 6 A.



Gambar 4.13 Arus start motor induksi tiga fasa delapan kutub

Terlihat dari gelombang tegangan yang dihasilkan, didapati nilai arus sebesar 6,9 A. Sedangkan nilai arus start awal mencapai 5,8 A pada saat eksperimen, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$I_{\text{start}} = \text{Kotak}_{\text{vertikal}} \times 2$$

$$I_{\text{start}} = 2,8 \times 2$$

$$I_{\text{start}} = 5,6A$$

Maka besarnya error adalah 15 %.

$$e\% = \frac{\text{nilai}_{\text{simulasi}} - \text{nilai}_{\text{pengujian}}}{\text{nilai}_{\text{pengujian}}} \times 100\%$$

$$= \frac{6,9 - 5,6}{5,6} \times 100\%$$

$$= 23,21\%$$

induksi dioperasikan pada tegangan nominalnya yaitu 30 V.



Gambar 4.14 Tegangan motor induksi tiga fasa ketika diberi beban

Ketika nilai variabel  $R_L$  diputar, terjadi sedikit penurunan tegangan dengan nilai 24 V selama 0,25 detik dan kembali stabil menjadi 25,5 V.

$$V_{\text{beban}} = \text{Kotak}_{\text{vertikal}} \times 1 \times \text{Penguat}$$

$$V_{\text{beban}} = 2,6 \times 1 \times 10$$

$$V_{\text{beban}} = 26A$$

Terlihat dari gelombang tegangan yang dihasilkan, hasil eksperimen mendekati dengan nilai hasil perhitungan dengan nilai eror :

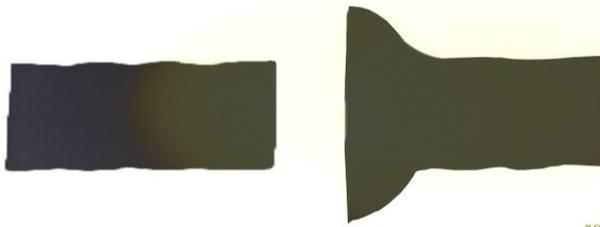
$$e\% = \frac{\text{nilai}_{\text{simulasi}} - \text{nilai}_{\text{pengujian}}}{\text{nilai}_{\text{pengujian}}} \times 100\%$$

$$= \frac{24,7 - 24}{24} \times 100\%$$

$$= 2,9\%$$

Hal ini menunjukkan analisis yang diperoleh cukup valid.

#### 4.3.2.2 Arus Motor Induksi Tiga Fasa Berbeban



Gambar 4.15 Arus ketika diberi beban

Arus tidak bisa langsung ditampilkan pada osiloskop, oleh sebab itu digunakan resistor presisi sebesar  $4,7 \Omega$ . Berdasarkan gambar 4.19 arus start ketika diberi beban bernilai 5,6 A, kemudian turun dengan nilai 1,5 A. Berdasarkan hasil analisis, ketika arus start dibebani bernilai 6,96 A dan terus turun menjadi 1,9 A pada detik ke 0,8.

Maka persentase error *start* arus adalah :

$$e\% = \frac{\text{nilai}_{\text{simulasi}} - \text{nilai}_{\text{pengujian}}}{\text{nilai}_{\text{pengujian}}} \times 100\%$$

$$= \frac{6,96 - 5,6}{5,6} \times 100\%$$

$$= 24,3\%$$

Sedangkan persentasi untuk penurunan nilai arus adalah:

$$e\% = \frac{\text{nilai}_{\text{simulasi}} - \text{nilai}_{\text{pengujian}}}{\text{nilai}_{\text{pengujian}}} \times 100\%$$

$$= \frac{1,9 - 1,5}{1,5} \times 100\%$$

$$= 26,7\%$$

## 5.1 Kesimpulan

1. Model rangkaian ekuivalen bentuk invers  $\Gamma$  memiliki jumlah parameter yang lebih sedikit, sehingga dalam penentuan parameter rangkaian ekuivalennya tidak membutuhkan asumsi reaktansi bocor stator sama dengan reaktansi bocor rotor.
2. Dengan menggunakan manipulasi persamaan yang diperoleh dari rangkaian ekuivalen bentuk invers  $\Gamma$ , dapat menyederhanakan persamaan rangkaian ekuivalen motor induksi tiga fasa.
3. Adapun perbandingan persen eror dari hasil pengujian dan analisis motor

induksi tiga fasa delapan kutub didapatkan:

- a. Tegangan input pada saat *starting* adalah 11%.
  - b. Arus motor induksi saat *starting* adalah 23,21%.
  - c. Pengaruh beban terhadap tegangan adalah 2,9%
  - d. Pengaruh beban terhadap arus pada saat *starting* adalah 24,3%, sedangkan untuk penerunan nilai arus adalah 26%.
4. Penyebab persen eror yang cukup tinggi disebabkan karena Rugi daya motor, faktor alat ukur, faktor benda yang diukur dan kesalahan dalam pembacaan.

## 5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, perlu dilakukan pembahasan lebih lanjut tentang penyebab pasti persen kesalahan antara analisis dan pengujian.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Heru, Isnanto. Analisis Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode Kerangka Referensi. Makalah Seminar Tugas Akhir, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [2] Motor Induksi Tiga Fasa. *repository.usu.ac.id*, diakses pada 1 Juni 2014, Pkl. 13.00 WIB.
- [3] Krause, Paul., Wasynczuk, Oleg., Sudhoff, Scott. (1995). *Analysis of Electric Machinery*. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [4] Guru, Bhag., Hiziroglu, Huseyin. (1988). *Electric Machinery and Transformer*. New York : Oxford University Press.