

## ANALISIS KARAKTERISTIK BEBAN NOL MOTOR INDUKSI ROTOR SANGKAR SAAT PENGASUTAN MENGGUNAKAN TOOLBOX POWER SYSTEM BLOCKSET PROGRAM SIMULASI MATLAB SIMULINK

Tasma Sucita<sup>1</sup> dan Leli Alhapip<sup>2</sup>

**ABSTRAKS** : Motor induksi adalah jenis motor listrik tiga fasa yang banyak digunakan industri untuk menggerakkan mesin-mesin produksi. Salah satu masalah yang sering terjadi dalam menggunakan motor jenis ini adalah tingginya arus start motor, hal ini merupakan masalah yang serius bagi pemakai karena dengan tingginya arus start tersebut akan berpengaruh pada kestabilan tegangan jala-jala dan ketersediaan daya listriknya. Dapat kita bayangkan sebuah industri yang memiliki banyak mesin-mesin produksi akan mengalami masalah dengan tingginya arus start. Berpijak pada masalah tersebut, penulis bermaksud untuk menganalisis karakteristik motor induksi khususnya pada saat starting sebagai pertimbangan untuk membuat sistem kontrol dan sistem proteksinya. Dengan demikian dapat diketahui kondisi dinamisnya ditinjau dari arus stator, kecepatan putaran rotor, torsi elektromagnetik, dan karakteristik torsi versus kecepatan. Metode yang digunakan adalah dengan rangkaian ekuivalen pada **sumbu dq** yang diperoleh dari **teori kerangka acuan** (reference frame theory). Penyelesaiannya menggunakan program simulasi matlab simulink yang didalamnya terdapat toolbox power system blockset. Dengan menggunakan metode ini diperoleh hasil yang menggambarkan karakteristik motor induksi pada saat pengasutan secara grafis, dimana arus start mencapai kira-kira sepuluh kali arus nominalnya.

**Kata Kunci** : *Motor Induksi Rotor Sangkar, Kondisi Dinamik, Toolbox Power System Blockset, Matlab Simulink, Teori Kerangka Acuan.*

### PENDAHULUAN

Perkembangan kebutuhan masyarakat semakin hari semakin pesat. Hal ini membutuhkan berbagai fasilitas yang mampu memberikan kemudahan bagi mereka. Penyediaan fasilitas yang dimaksud merupakan permasalahan yang menuntut adanya kerja keras dari kalangan pengembang teknologi, baik para ilmuwan maupun para pemikir dalam dunia pendidikan.

Salah satu fenomena yang terjadi sekarang ini adalah banyaknya pabrik-pabrik yang berdiri dengan tujuan memberikan pelayanan kepada masyarakat untuk memenuhi kebutuhannya. Untuk melakukan proses produksi biasanya menggunakan mesin-mesin yang disuplai dengan tenaga listrik, sebagai penggeraknya digunakan motor listrik. Motor-motor listrik yang banyak digunakan adalah dari jenis motor induksi tiga fasa. Hal ini karena pengoperasian motor induksi sederhana, serta biaya yang rendah.

Pada waktu-waktu sebelumnya, penggunaan piranti elektronik untuk mengatur kecepatan hanya digunakan pada motor dc. Saat ini dengan adanya inverter yang merupakan piranti elektronik, motor induksi juga dapat diatur kecepatannya. Sehingga penggunaan motor induksi lebih luas.

Pada motor induksi yang berdaya besar, permasalahan pengasutan (starting) merupakan permasalahan serius yang harus diperhatikan. Arus awal yang tinggi dapat mencapai 500 sampai 800 persen arus beban penuh bila mulai dijalankan pada tegangan yang diizinkan. Kondisi ini sering disebut dengan kondisi transien atau peralihan.

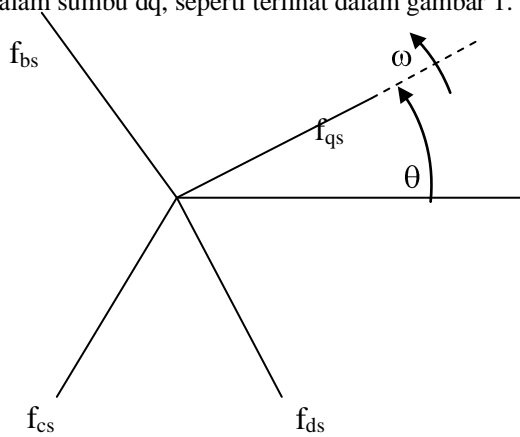
Permasalahan tersebut diatas merupakan hal yang merugikan, karena jika daya yang tersedia tidak mencukupi maka akan sering terjadi pemutusan daya oleh circuit breaker. Oleh karena itu analisis transien motor induksi diperlukan untuk menyelidiki berapa besar dan lama perubahan karakteristik dari motor induksi yang bermanfaat sebagai panduan dalam merencanakan sistem kendali dan proteksi bagi motor induksi. Dalam jurnal ini penulis bermaksud untuk menganalisis sebuah motor induksi tiga fasa pada kondisi transien secara teoritis, serta membuat simulasinya dengan menggunakan program Matlab simulink dan memanfaatkan blok-blok simulasi yang terdapat dalam library *Power System Blockset*. Simulink adalah sebuah program simulasi sistem dinamik yang terdapat dalam Matlab. Sedangkan

1. Drs. Tasma Sucita, ST, MT adalah Dosen di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro.FPTK UPI
2. Leli Alhapip adalah Mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FPTK UPI Angkatan tahun 1998

library power system blockset adalah sekumpulan blok-blok simulasi khusus untuk sistem tenaga listrik yang terdapat dalam toolbox aplikasi simulink. Penulis menggunakan simulasi ini untuk memudahkan pengamatan atau analisis terhadap kondisi transien sebuah motor induksi tiga fasa.

**LANDASAN TEORI**

Untuk melakukan analisis terhadap mesin induksi diperlukan pengetahuan tentang teori kerangka acuan yang dikenalkan oleh R. H. Park sekitar tahun 1920-an, yang merupakan sebuah pendekatan untuk menganalisis mesin-mesin listrik., yang dikenal dengan Transformasi Park. Transformasi Park mengubah variabel-variabel dari sumbu abc ke dalam sumbu langsung dan kuadratur atau yang lebih dikenal dengan sumbu dq. Transformasi ini dapat dilukiskan sebagai hubungan trigonometri antara variabel-variabel dalam sumbu abc dengan variabel dalam sumbu dq, seperti terlihat dalam gambar 1.



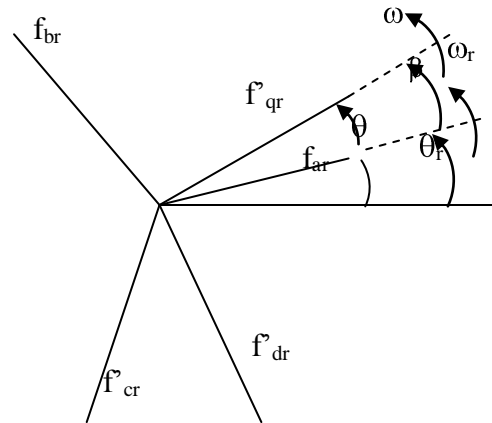
Gambar 1. Transformasi untuk rangkaian stator dalam hubungan trigonometri

Berdasarkan gambar 1., transformasi Park dapat disajikan secara langsung dalam bentuk sudut  $\theta$  antara sumbu kuadratur (sumbu q) dengan sumbu fasa a. Adapun persamaan transformasi untuk rangkaian stator adalah :

$$K_s = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin \theta & \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$K_s^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 1 \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Persamaan transformasi untuk rangkaian rotor dapat dilukiskan dengan gambar 2



Gambar 2. Transformasi untuk rangkaian rotor dalam hubungan trigonometri

Dari gambar di atas akan menghasilkan matrik transformasi berikut ini:

$$K_r = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} \cos \beta & \cos\left(\beta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\beta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin \beta & \sin\left(\beta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\beta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$K_r^{-1} = \begin{bmatrix} \cos \beta & \sin \beta & 1 \\ \cos\left(\beta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\beta - \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \cos\left(\beta + \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\beta + \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

**Transformasi dari Sumbu abc ke dalam Sumbu dq**

Persamaan umum untuk mengubah sumbu abc ke dalam sumbu dq pada rangkaian stator dan rotor adalah:

$$f_{qd0s} = K_s f_{abc} \quad (5)$$

$$f'_{qd0r} = K_r f'_{abcr} \quad (6)$$

Persamaan tegangan dan fluks lingkup motor induksi dalam sumbu abc adalah sebagai berikut:

$$v_{abc} = r_s i_{abc} + \frac{d}{dt} \lambda_{abc} \quad (7)$$

$$v'_{abcr} = r'_r i'_{abcr} + \frac{d}{dt} \lambda'_{abcr} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} \lambda_{abcs} \\ \lambda_{abcr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & L_{sr} \\ L_{sr} & L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{abcs} \\ i_{abcr} \end{bmatrix} \quad (9)$$

dimana:

$$L_s = \begin{bmatrix} L_{ls} + L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} \\ -\frac{1}{2}L_{ms} & L_{ls} + L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} \\ -\frac{1}{2}L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} & L_{ls} + L_{ms} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$L_r = \begin{bmatrix} L_{lr} + L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} \\ -\frac{1}{2}L_{ms} & L_{lr} + L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} \\ -\frac{1}{2}L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} & L_{lr} + L_{ms} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Berdasarkan persamaan (5) dan (6), diperoleh persamaan tegangan dan fluks lingkup dalam sumbu dq sebagai berikut :

$$v_{qd0s} = r_s i_{qd0s} + \omega \lambda_{dqs} + \frac{d}{dt} \lambda_{qd0s} \quad (12)$$

$$v_{qd0r} = r_r i_{qd0r} + (\omega - \omega_r) \lambda_{dqr} + \frac{d}{dt} \lambda_{qd0r} \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} \lambda_{qd0s} \\ \lambda_{qd0r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_s L_s & K_s L_{sr} \\ K_r L_{sr} & K_r L_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qd0s} \\ i_{qd0r} \end{bmatrix} \quad (14)$$

dimana

$$K_s L_s \begin{bmatrix} \leftarrow \\ \leftarrow \\ \leftarrow \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ls} + M & 0 & 0 \\ 0 & L_{ls} + M & 0 \\ 0 & 0 & L_{ls} \end{bmatrix} \quad (15)$$

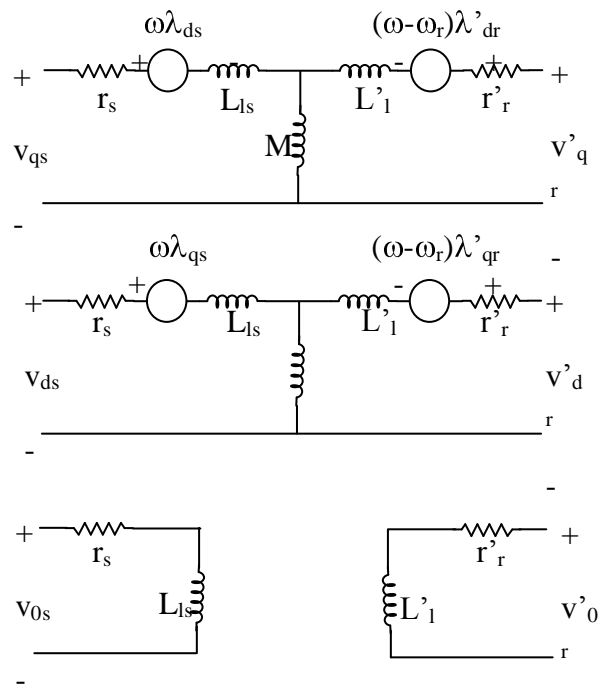
$$K_r L_r \begin{bmatrix} \leftarrow \\ \leftarrow \\ \leftarrow \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{lr} + M & 0 & 0 \\ 0 & L_{lr} + M & 0 \\ 0 & 0 & L_{lr} \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$K_s L_{sr} \begin{bmatrix} \leftarrow \\ \leftarrow \\ \leftarrow \end{bmatrix} = K_r L_{sr} \begin{bmatrix} \leftarrow \\ \leftarrow \\ \leftarrow \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M & 0 & 0 \\ 0 & M & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

dengan  $M = 3/2 L_{ms}$

### Pemodelan Motor Induksi

Analisis dinamik motor induksi biasanya dimodelkan dengan rangkaian ekuivalen dalam kerangka acuan putaran sinkron, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 3.



Gambar 3. Model Motor Induksi

Dari persamaan (12) dan (13), dapat diturunkan persamaan tegangan motor induksi dalam sumbu dq, yaitu sebagai berikut:

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \omega \lambda_{dqs} + \frac{d}{dt} \lambda_{qs} \quad (18)$$

$$v_{ds} = r_s i_{ds} + \omega \lambda_{qs} + \frac{d}{dt} \lambda_{ds} \quad (19)$$

$$v_{0s} = r_s i_{0s} + \frac{d}{dt} \lambda_{0s} \quad (20)$$

$$v'_{qr} = r_r i'_{qr} + (\omega - \omega_r) \lambda'_{dr} + \frac{d}{dt} \lambda'_{qr} \quad (21)$$

$$v'_{dr} = r_r i'_{dr} + (\omega - \omega_r) \lambda'_{qr} + \frac{d}{dt} \lambda'_{dr} \quad (22)$$

$$v'_{0r} = r_r i'_{0r} + \frac{d}{dt} \lambda'_{0r} \quad (23)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (15), (16), dan (17) ke dalam persamaan (14) akan diperoleh persamaan fluks lingkup sebagai berikut:

$$\lambda_{qs} = L_{ls} i_{qs} + M(i_{qs} + i'_{qr}) \quad (24)$$

$$\lambda_{ds} = L_{ls} i_{ds} + M(i_{ds} + i'_{dr}) \quad (25)$$

$$\lambda_{0s} = L_{ls} i_{0s} \quad (26)$$

$$\lambda'_{qr} = L_{lr} i'_{qr} + M(i_{qs} + i'_{qr}) \quad (27)$$

$$\lambda'_{dr} = L_{lr} i'_{dr} + M(i_{ds} + i'_{dr}) \quad (28)$$

$$\lambda'_{0r} = L_{lr} i'_{0r} \quad (29)$$

Untuk motor induksi rotor sangkar, tegangan rotornya sama dengan nol karena ujung-ujung batang konduktor

pada rotornya dihubungkan, seperti terlihat dalam gambar 4. Sehingga persamaan tegangannya adalah sebagai berikut:

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \omega \lambda_{ds} + \frac{d}{dt} \lambda_{qs} \quad (30)$$

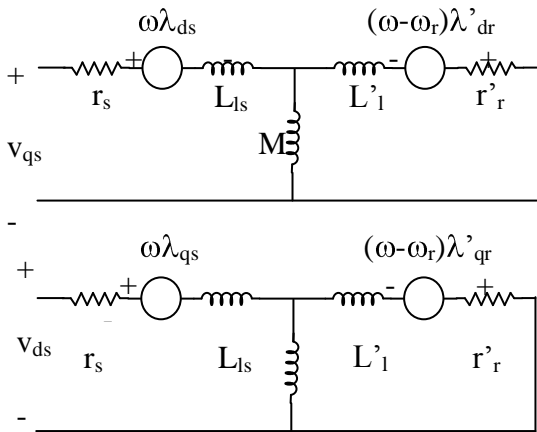
$$v_{ds} = r_s i_{ds} + \omega \lambda_{qs} + \frac{d}{dt} \lambda_{ds} \quad (31)$$

$$v_{0s} = r_s i_{0s} + \frac{d}{dt} \lambda_{0s} \quad (32)$$

$$0 = r_r i'_{qr} + (\omega - \omega_r) \lambda'_{dr} + \frac{d}{dt} \lambda'_{qr} \quad (33)$$

$$0 = r_r i'_{dr} + (\omega - \omega_r) \lambda'_{qr} + \frac{d}{dt} \lambda'_{dr} \quad (34)$$

$$v'_{0r} = r_r i'_{0r} + \frac{d}{dt} \lambda'_{0r} \quad (35)$$



Gambar 4. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi

Persamaan torsi elektromagnetik motor induksi dalam sumbu dq adalah sebagai berikut:

$$T_e = \left( \frac{p}{2} \right) \left[ \mathbf{K}_s \mathbf{i}_{qd0s} \right]^T \frac{\partial}{\partial \theta_r} \left[ \mathbf{K}_r \mathbf{i}'_{qd0r} \right] \quad (36)$$

Persamaan di atas dapat dibuat dalam variabel arus sebagai berikut:

$$T_e = \left( \frac{3}{2} \right) \left( \frac{p}{2} \right) M \left( i'_{qs} i'_{dr} - i_{ds} i'_{qr} \right) \quad (37)$$

Persamaan ekuivalen untuk torsi elektromagnetik dapat pula dinyatakan sebagai berikut:

$$T_e = \left( \frac{3}{2} \right) \left( \frac{p}{2} \right) M \left( i'_{qr} i'_{dr} - \lambda_{dr} i'_{qr} \right) \quad (38)$$

$$T_e = \left( \frac{3}{2} \right) \left( \frac{p}{2} \right) M \left( i_{ds} i_{qs} - \lambda_{qs} i_{ds} \right) \quad (39)$$

dimana p = Jumlah kutub

**METODE ANALISIS**

Dalam melakukan analisis, penulis menggunakan program simulasi matlab simulink.

Langkah-langkah yang ditempuh adalah meliputi beberapa tahap antara lain:

1. Menyusun persamaan-persamaan dalam sumbu dq untuk diselesaikan dengan program.
2. Mencari data-data motor yang diperlukan.
3. Membuat program simulasi dengan blok simulink yang berasal dari toolbox power system blockset.
4. Hasil dan pembahasan.

**Menyusun Persamaan-persamaan dalam Sumbu dq**

Dalam tahap ini, penulis melakukan penyusunan persamaan-persamaan motor induksi dalam kerangka acuan seperti yang telah dituliskan pada bagian landasan teori.

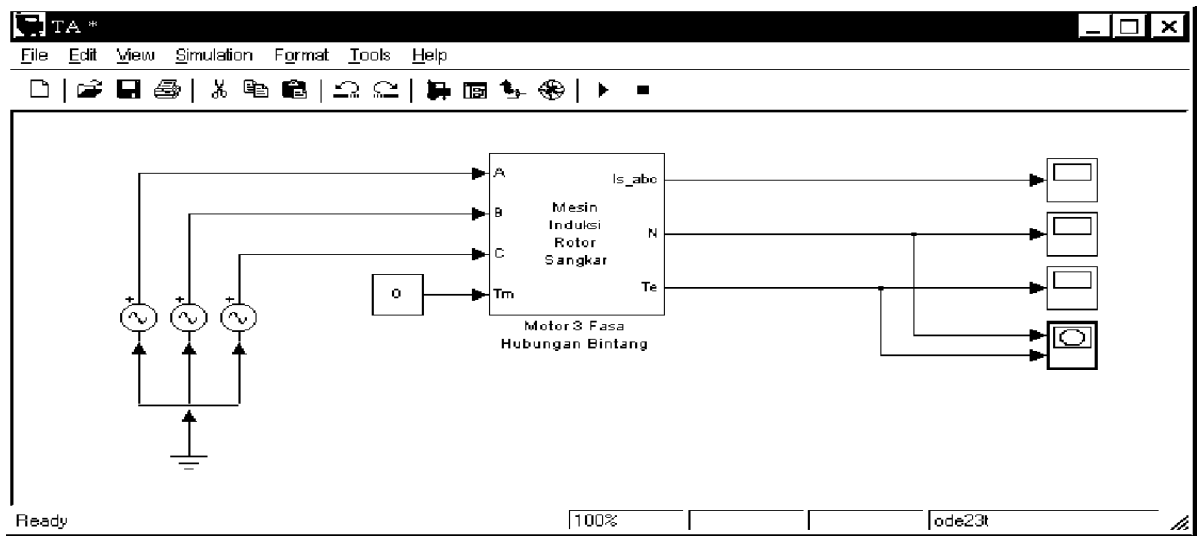
**Mencari data-data motor yang diperlukan**

Pada bagian ini, penulis melakukan pengujian-pengujian pada sebuah motor induksi. Antara lain pengujian beban nol, pengujian dengan tegangan dc, dan pengujian dengan rotor tertahan. Ketiga pengujian ini bermaksud untuk mencari data motor yaitu: resistansi stator, resistansi rotor, reaktansi bocor stator, reaktansi bocor rotor, momen inersia, dan reaktansi magnetisasi. Dari pengujian tersebut diperoleh data-data motor sebagai berikut:

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| a. Model                                      | : C 90 L-4                 |
| b. Daya (P)                                   | : 2 hp                     |
| c. Jumlah kutub (p)                           | : 4 kutub                  |
| d. Tegangan saluran (V <sub>L-L</sub> )       | : 220 / 380V               |
| e. Arus saluran (I <sub>L</sub> )             | : 6,47/3,8 A               |
| f. Kecepatan putaran (n)                      | : 1450 rpm                 |
| g. Frekuensi (f)                              | : 50 Hertz                 |
| h. Resistansi stator (r <sub>s</sub> )        | : 2,34 Ω                   |
| i. Resistansi rotor (r' <sub>r</sub> )        | : 0,85 Ω                   |
| j. Induktansi bocor stator (L <sub>ls</sub> ) | : 0,0265 Henry             |
| k. Induktansi bocor rotor (L' <sub>lr</sub> ) | : 0,0265 Henry             |
| l. Induktansi magnetisasi (M)                 | : 0,8689 Henry             |
| m. Inersia (J)                                | : 0,0112 kg.m <sup>2</sup> |

**Membuat Program Simulasi dengan Blok Simulink dari Toolbox Power System Blockset**

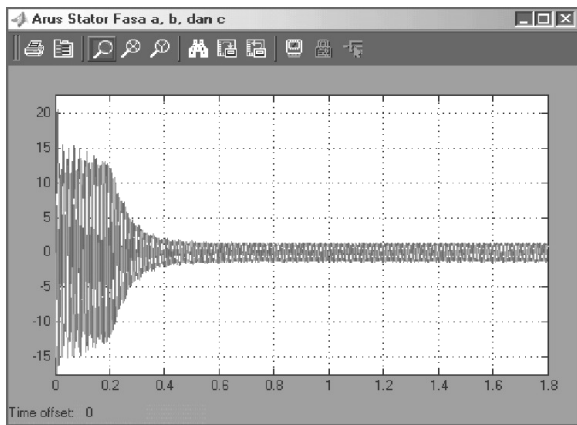
Secara singkat program yang telah dibuat berupa model simulasi seperti terlihat dalam gambar 5



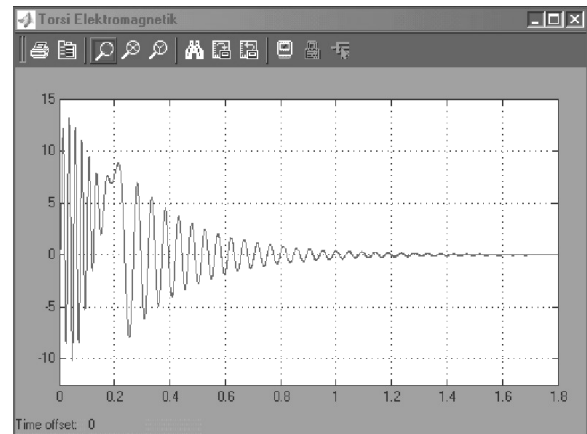
Gambar 5. Model Simulasi

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

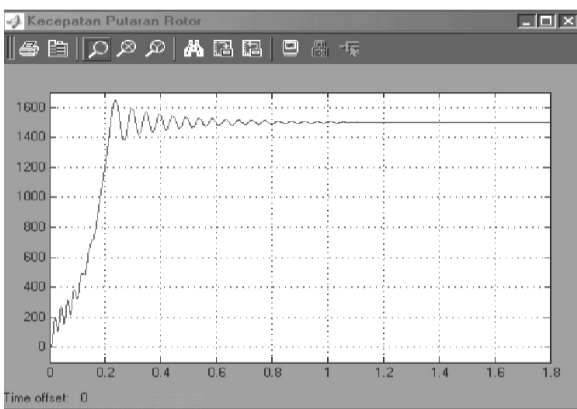
Hasil dari program dilukiskan dalam gambar berikut ini:



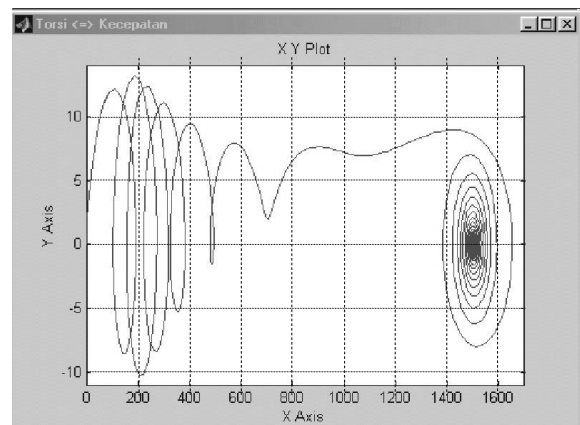
Gambar 6. Karakteristik Arus Stator



Gambar 8. Karakteristik Torsi Elektromagnetik



Gambar 7. Karakteristik Putaran Rotor



Gambar 9. Karakteristik Torsi-Kecepatan

## PEMBAHASAN

### Karakteristik arus stator

Berdasarkan tampilan arus stator hasil simulasi pada gambar 6. dapat dilihat bahwa pada saat transien, arus stator mencapai sekitar 20 A pada saat pengasutan berlangsung antara 0 sampai 0.01 detik, dan sekitar 14 A pada saat pengasutan berlangsung antara 0,01 sampai 0,2 detik. Kemudian berangsur turun menuju keadaan mantap yaitu pada waktu pengasutan berlangsung selama 0,65 detik dengan besar arus sekitar 1,35 A yaitu arus tanpa beban. Keadaan seperti ini terjadi karena pada saat starting impedansi input mesin induksi terdiri atas resistansi stator dan reaktansi bocor stator yang berhubungan seri dengan resistansi rotor dan reaktansi bocor rotor.

Jika dibandingkan dengan teori, hasil simulasi di atas dapat membuktikan kebenaran teori tentang karakteristik arus stator motor induksi pada saat pengasutan yaitu jika tegangan kerja motor induksi disuplai pada motor tersebut akan mengakibatkan arus start yang tinggi, arus start ini dapat mencapai 10 kali dari arus nominalnya [2].

### Karakteristik Putaran Rotor

Percobaan ini mengabaikan gaya gesek yang terjadi pada poros motor, oleh karena itu berdasarkan gambar 7. kecepatan putaran rotor meningkat menuju kecepatan sinkron. Karakteristik kecepatan putaran rotor menunjukkan bahwa pada saat transien putaran rotor mengalami osilasi selama 1 detik, sampai akhirnya menuju pada kecepatan sinkron.

Berdasarkan teori tentang putaran rotor motor induksi, terjadinya osilasi pada putaran rotor khususnya terjadi pada motor berdaya besar dimana hal ini terjadi karena perbandingan antara reaktansi bocor rotor dengan resistansi rotor cukup besar atau reaktansi bocor rotornya lebih besar dibandingkan dengan resistansi rotornya [2]. Untuk motor induksi yang dianalisis dalam penelitian ini perbandingan antara reaktansi bocor rotor dengan resistansi rotornya adalah sebesar  $\frac{2,65}{0,85} = 3,12$ . Dengan

demikian percobaan ini dapat membuktikan kebenaran teori tentang karakteristik putaran rotor motor induksi.

### Karakteristik Torsi Elektromagnetik

Gambar 8. memperlihatkan karakteristik torsi elektromagnetik motor induksi mulai saat pengasutan sampai pada kondisi stabil (steady state). Pada rentang waktu 0 sampai 0,2 detik, torsi elektromagnetik masih cukup tinggi, hal ini seiring dengan naiknya kecepatan putaran rotor. Terjadinya osilasi pada kecepatan rotor, berpengaruh pada torsi elektromagnetik sehingga torsi elektromagnetik pun mengalami osilasi. Karena besarnya torsi elektromagnetik tergantung pada ggl induksi rotor yang dipengaruhi oleh gerakan relatif rotor terhadap medan stator [4], maka pada keadaan awal (start), dimana

slip sama dengan satu yang menyebabkan ggl induksi rotor besar, menghasilkan tingginya nilai torsi start dibandingkan dengan torsi normalnya.

Hasil percobaan ini dapat membuktikan teori tentang karakteristik torsi elektromagnetik pada saat pengasutan yang mengatakan bahwa nilai torsi start keadaannya selalu lebih besar daripada nilai torsi pada keadaan putaran normalnya [5].

### Karakteristik Torsi-Kecepatan

Karakteristik torsi-kecepatan merupakan pengaruh perubahan kecepatan rotor terhadap torsi elektromagnetik. Dari hasil simulasi pada gambar 9. terlihat bahwa naiknya kecepatan yang beresilasi dari 0 sampai 400 rpm menyebabkan torsi elektromagnetik beresilasi juga, dan mempunyai amplitudo yang besar, karena slip masih cukup tinggi. Pada rentang kecepatan 400 sampai 1400 rpm, perubahan kecepatan tidak menimbulkan perubahan yang besar pada torsi elektromagnetik. Sedangkan pada saat putaran beresilasi antara 1400 sampai 1600 rpm yang terjadi pada rentang waktu 0,24 sampai 1,4 detik, menyebabkan torsi elektromagnetik beresilasi antara -8 sampai 9 N.m. Setelah motor berada pada kondisi stabil, dengan kecepatan mendekati kecepatan sinkron yaitu 1500 rpm, maka torsi elektromagnetik mendekati nol. Hasil simulasi di atas sesuai dengan teori tentang karakteristik torsi-kecepatan motor induksi yang mengatakan bahwa karakteristik torsi-kecepatan saat pengasutan berbeda dengan karakteristik torsi-kecepatan pada kondisi stabil, dimana perbedaan ini dipengaruhi oleh kondisi putaran rotor dan tegangan suplai stator.

Dari hasil simulasi ini tampak bahwa lamanya kondisi transien adalah pada rentang waktu 0 sampai 0,4 detik. Singkatnya waktu transien ini sangat sulit dideteksi dengan alat ukur. Sehingga dengan simulasi ini dapat dianalisis berbagai karakteristik motor induksi pada saat pengasutan (transien), Sedangkan lamanya waktu transien dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain dipengaruhi oleh besarnya induktansi motor, momen inersia, gaya gesek pada poros motor, dan kondisi beban motor.

## KESIMPULAN

1. Arus stator motor induksi akan mengalami peningkatan yang sangat besar pada saat pengasutan yaitu saat sebelum motor berada dalam keadaan stabil.
2. Penyebab meningkatnya arus stator pada saat starting adalah impedansi input motor induksi yang hanya terdiri atas induktansi bocor stator, resistansi stator, yang berhubungan seri dengan induktansi rotor dan resistansi rotor.
3. Putaran motor induksi akan mengalami peningkatan menuju kecepatan sinkron pada saat

motor tersebut tidak dibebani dan gaya gesek diabaikan.

4. Karakteristik putaran motor induksi dipengaruhi oleh besarnya reaktansi rotor dan resistansi rotor. Dimana, kecepatan rotor akan mengalami guncangan atau berisitasi sebelum mencapai kecepatan sinkronnya jika reaktansi bocor rotornya lebih besar daripada resistansi rotornya.
5. Perubahan karakteristik putaran akan mempengaruhi karakteristik torsi elektromagnetik. Hal ini disebabkan adanya pengaruh putaran terhadap gerakan relatif rotor pada medan stator, yang menyebabkan besar kecilnya tegangan induksi pada rotor. Dimana tegangan induksi tersebut akan berpengaruh pada besarnya torsi elektromagnetik.
6. Pada saat pengasutan, torsi elektromagnetik lebih besar daripada kondisi normalnya.
7. Torsi elektromagnetik akan mendekati nol jika kecepatan putaran rotor mendekati kecepatan putaran sinkron.
8. Lamanya waktu transien dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain dipengaruhi oleh besarnya induktansi motor, momen inersia, gaya gesek pada poros motor, dan kondisi beban motor.
9. Penggunaan program simulasi Matlab simulink dapat membuktikan teori dan mempermudah kita dalam menganalisis karakteristik motor induksi.
10. Program simulink memberikan suatu alternatif bagi dunia pendidikan untuk mempelajari dan menganalisis motor-motor induksi secara matematis.

#### SARAN

1. Untuk mempermudah dalam mempelajari analisis mesin-mesin listrik, sebaiknya digunakan software yang dapat menyajikan simulasi dinamik.
2. Dalam perkuliahan mesin listrik di Jurusan Pendidikan Teknik Elektro UPI diharapkan adanya materi tentang teori kerangka acuan yang sangat berguna untuk menganalisis mesin-mesin listrik.
3. Untuk memudahkan pencarian data, sebaiknya langsung dari data book mesin listrik yang berasal dari pabrik supaya lebih akurat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Fitzgerald, A.E., Kingsley, C.Jr., dan Umans, D., S., 1983, *Mesin-Mesin Listrik*, edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
- K.rause, P.C., 1987, *Analysis Of Electric Machinery*, Mc Graw Hill.
- Seok, J., Moon-III, S., dan Sul, S., 1997, *Induction Machine Parameter Identification Using PWM Inverter at Stand Still*, IEEE Transaction on Power Electronics.

Stephen J. C., 1991, *Electric Machinery Fundamentals*, Second Edition, Mc Graw Hill.

Yon Rijono, 1997, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Andi, Yogyakarta.

---