

SIMULASI MOTOR INDUKSI TIGA FASA SELAMA PEMBEBANAN MENDADAK DENGAN MENGGUNAKAN SIMULINK MATLAB

Imelda Ashar

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Bung Hatta
Kampus III Jl. Gajah Mada Gn. Pangilun Padang
Email : mel_ashar@yahoo.com

Abstract

Induction motor have many applications in industrial application. Changed during operation of induction motor will be happen at source, and load, consequence, motor will be operated in transient mode. In this paper will be offered simulation of three phase induction motor during suddenly changed load with simulink Matlab. First, model of three phase induction motor will be transformation to orthogonal coordinate with park d-q transformation. The result of that transformation are differensial equations in state functions form. Output of two different capacity of three phase motor induction simulation during suddenly changed load are, the bigger capacity induction motor had longer transient mode than the lower capacity induction motor.

Kata kunci : motor induksi tiga fasa, park d-q, simulink matlab

I. PENDAHULUAN

Motor induksi juga dikenal sebagai motor asinkron dan merupakan motor arus bolak-balik yang paling lazim digunakan, karena kesederhanaannya, konstruksinya yang kuat, karakteristik kerjanya yang baik dan biaya pembuatannya yang rendah. Karakteristik-karakteristik ini pada motor induksi merupakan akibat dari kenyataan bahwa rotornya berupa satu kesatuan utuh yang berdiri sendiri dan tidak dihubungkan ke suatu sumber tegangan diluarnya. Motor induksi mendapatkan namanya dari kenyataan bahwa dalam rangkaian rotornya diinduksikan arus bolak-balik oleh medan magnet berputar dalam statornya. Nama motor asinkron diambil dari kenyataan bahwa rotornya berputar tidak seiring dengan medan putarnya.

Motor induksi terdiri dari dua bagian yaitu stator dan rotor. Stator dihubungkan ke sumber tegangan bolak-balik, sedangkan rotor tidak dihubungkan secara listrik ke sumber tegangan tetapi mempunyai arus yang diinduksikan kedalamnya. Motor induksi tiga fasa mempunyai dua tipe yaitu motor sangkar tupai (squirrel-cage motor) dan motor rotor lilitan (wound-rotor motor). Kedua motor tersebut bekerja pada prinsip dasar yang sama dan mempunyai konstruksi stator yang sama tetapi berbeda dalam konstruksi rotor.

Motor induksi tiga fasa selama beroperasi tidak akan terlepas dari masalah-masalah dinamik yang nantinya akan mengganggu kinerja dari motor tersebut. Salah satu masalah dinamik motor induksi yang menarik untuk diperhatikan adalah jika pada motor induksi tiga fasa yang sebelumnya berjalan dalam keadaan tanpa beban diberikan beban konstan secara mendadak. Hal ini menyebabkan perilaku dan unjuk kerja dari motor akan mengalami perubahan. Perubahan ini mencakup perubahan unjuk kerja dari motor saat peralihan dari saat motor tanpa beban, kemudian berbeban, dan kemudian bebannya dihilangkan lagi. Perubahan-perubahan ini tentu saja menyebabkan perubahan pada variabel-variabel pada motor yang nantinya akan mempengaruhi harga slip, faktor daya, efisiensi, kecepatan rotor, arus stator, arus rotor dan torka elektromagnetik . Untuk itu disini akan diperhatikan perubahan perilaku motor induksi yang diwakili dengan perubahan-perubahan variabel-variabelnya pada saat peralihan selama diberikan beban konstan secara mendadak.

Unjuk kerja dari motor induksi tiga fasa saat pembebanan mendadak dapat lebih mudah untuk dianalisa jika dilakukan pemodelan. Pemodelan ini berupa model

matematis yang multivariabel dan tidak linier serta juga merupakan fungsi dari waktu, yang apabila dihitung secara manual akan diperlukan banyak pendekatan dan pengabaian serta membutuhkan waktu yang lama. Dengan mentransformasikan model matematis tersebut ke dalam suatu kerangka acuan d-q dan diselesaikan secara numerik dengan metode persamaan keadaan dan akhirnya dengan bantuan simulasi komputer dengan Simulink Matlab maka perhitungan untuk keperluan analisa ini akan lebih mudah.

II. PEMODELAN MOTOR INDUKSI

2.1. Umum

Istilah model telah sejak lama digunakan di berbagai bidang ilmu, baik ilmu sosial, ekonomi, sains, maupun rekayasa (engineering). Dalam perjalanannya pemodelan ini telah tumbuh menjadi suatu bagian yang sangat membantu dalam perkembangan ilmu-ilmu yang bersangkutan. Model merupakan suatu alat bantu untuk mempelajari suatu sistem sehingga sistem tersebut mudah untuk dianalisis.

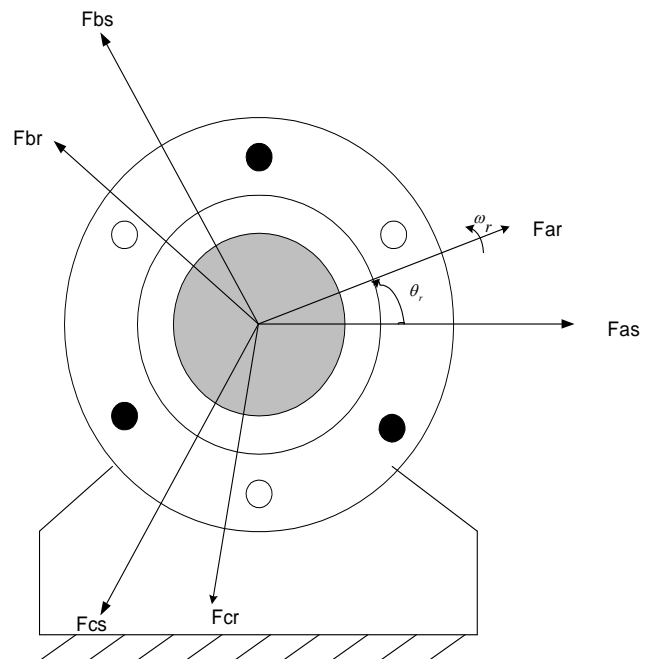
Model matematika untuk analisis motor induksi terdiri dari persamaan-persamaan elektromagnetik dan elektromekanik yang menggambarkan perilaku motor induksi tersebut. Persamaan-persamaan pemodelan motor induksi ini multivariabel dan tidak linier serta juga merupakan fungsi dari kecepatan rotor dan waktu, yang tentunya tidak mudah untuk dianalisis. Untuk itu diperlukan transformasi umum yang mengeliminir induktansi yang berubah terhadap waktu dengan menyatakan variabel-variabel stator dan rotor pada suatu kerangka acuan (reference frame) yang mungkin berputar pada suatu kecepatan sudut tertentu atau dalam keadaan diam. (Untuk memudahkan analisis dalam tugas akhir ini kerangka acuan tersebut diam). Metoda ini dikenal dengan "Metoda Transformasi Sistem Koordinat".

Pada bab ini akan diuraikan persamaan-persamaan pemodelan motor induksi dalam sumbu mesin, dan selanjutnya ditransformasikan ke sumbu d-q. Sebelum persamaan-persamaan tersebut ditransformasikan, ditentukan dahulu matrik transformasi yang akan digunakan dalam transformasi.

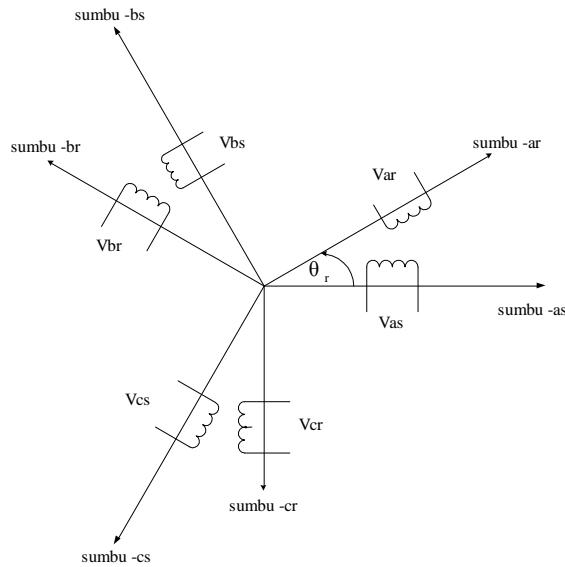
2.2. Pemodelan Motor Induksi Dalam Sistem Variabel Mesin

Tujuan pemodelan motor induksi adalah untuk menyederhanakan bentuk konstruksi motor induksi ke dalam bentuk yang mudah dipahami untuk keperluan analisis. Tahap awal pemodelan motor induksi adalah mengekspresikan bentuk konstruksi mesin ke dalam rangkaian ekuivalen dan koordinat sumbu magnetiknya. Kemudian dilakukan perumusan terhadap sistem rangkaian ekuivalen dan sumbu koordinat tersebut dalam persamaan matematis.

Berikut ini suatu motor induksi tiga fasa yang simetri, dengan rangkaian rotor yang berputar. Rangkaian stator digambarkan sepanjang sumbu-sumbu as, bs dan cs. Dan rangkaian rotor digambarkan sepanjang sumbu ar, br dan cr, seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Penampang melintang motor induksi tiga fasa



Gambar 2. Kumpanan stator dan rotor dalam sumbu mesin

Dari gambar 1. dan 2 dapat dilihat bahwa besar θ_r tergantung kepada kecepatan sudut rotor, dan dapat ditulis secara matematis menurut persamaan berikut :

$$\theta_r = \int_0^t \omega_r(t) dt + \theta_{r0} \quad (1)$$

dimana : $\omega_r = 2\pi f_r$ (2)

θ_r = sudut rotor

2.2.1. Persamaan Tegangan Motor Induksi Dalam Variabel Mesin

Dari rangkaian ekuivalen pada gambar 2. dapat dinyatakan tegangan pada kumpanan stator sebagai berikut :

$$v_{as} = r_s \cdot i_{as} + \frac{d \lambda_{as}}{dt} \quad (3)$$

$$v_{bs} = r_s \cdot i_{bs} + \frac{d \lambda_{bs}}{dt} \quad (4)$$

$$v_{cs} = r_s \cdot i_{cs} + \frac{d \lambda_{cs}}{dt} \quad (5)$$

Persamaan (3) sampai persamaan (5) diatas dapat juga dinyatakan dalam bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} v_{abc s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{abc s} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \cdot \begin{bmatrix} \lambda_{abc s} \end{bmatrix} \quad (6)$$

dimana :

$$\begin{bmatrix} v_{abc s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{as} \\ v_{bs} \\ v_{cs} \end{bmatrix} = \text{matrik tegangan}$$

kumpanan stator dalam sumbu a-b-c

$$\begin{bmatrix} R_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 \\ 0 & r_s & 0 \\ 0 & 0 & r_s \end{bmatrix} = \text{matrik resistansi kumpanan stator}$$

$$\begin{bmatrix} i_{abc s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{as} \\ i_{bs} \\ i_{cs} \end{bmatrix} = \text{matrik arus kumpanan stator dalam sumbu a - b - c}$$

$$\begin{bmatrix} \lambda_{abc s} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_{as} \\ \lambda_{bs} \\ \lambda_{cs} \end{bmatrix} = \text{matrik fluks kumpanan}$$

stator dalam sumbu a-b-c

Demikian juga tegangan kumpanan rotor dapat dinyatakan dengan pernyataan seperti diatas.

2.2.2. Persamaan Fluks Terlingkup Motor Induksi Dalam Variabel Mesin

Dari rangkaian ekuivalen pada Gambar 3.2. juga dapat diturunkan persamaan fluks terlingkup pada masing-masing kumpanan stator dan rotor sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \lambda_{abc r} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ss} & \vdots & L_{sr} \\ \dots & \dots & \dots \\ L_{rs} & \vdots & L_{rr} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{abc s} \\ i_{abc r} \end{bmatrix} \quad (7)$$

2.2.3. Persamaan Torka Elektromagnetik

Persamaan torka elektromagnetik didefinisikan sebagai berikut [3]:

$$T_e = \left(\frac{P}{2} \right) \left(i_{abc s} \right)^T \frac{d}{d\theta} \begin{bmatrix} L'_{sr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i'_{abc r} \end{bmatrix} \quad (8)$$

dimana :

P = jumlah kutub motor induksi

T_e = torka elektromagnetik (N.m)

Dan persamaan gerak mekanis motor induksi dinyatakan dengan persamaan berikut [3] :

$$T_e - T_l = J \left(\frac{2}{P} \right) \frac{d\omega_r}{dt} \quad (9)$$

dimana : T_l = Torka beban (N.m)
 J = inersia rotor (kg.m²)

2.3. Persamaan Transformasi

Dari pemodelan motor induksi dapat diperlihatkan bahwa persamaan differensial dari motor induksi amat sulit diselesaikan karena akan melibatkan jumlah persamaan differensial yang banyak serta akan melibatkan sistem persamaan diffrensial yang tergantung pada sudut rotor (θ). Oleh karena itu perlu adanya suatu metoda yang dapat menyederhanakan proses penyelesaian dari persamaan motor induksi tersebut. Metode ini dikenal dengan metode transformasi koordinat.

Cara penyelesaian dengan metoda transformasi koordinat yaitu dengan mentransformasikan persamaan motor induksi dalam sumbu a-b-c ke sumbu d-q.

Secara Umum persamaan transformasi yaitu :

$$\begin{bmatrix} X_{abc} \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} X_{dqo} \end{bmatrix} \quad (10)$$

dimana :

$\begin{bmatrix} X_{abc} \end{bmatrix}$ = vektor dari variabel motor (arus, tegangan, fluks, muatan) dalam sumbu a-b-c

$\begin{bmatrix} X_{dqo} \end{bmatrix}$ = vektor dari variabel muatan dalam sumbu dq

$[A]$ = matrik transformasi

$$[A] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (11)$$

dan

$$[A]^{-1} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \sin \theta & \sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \quad (12)$$

2.3.1. Persamaan Transformasi Motor Induksi

Setelah penentuan matrik transformasi baik untuk kumparan stator maupun untuk kumparan rotor, selanjutnya akan dicari persamaan transformasi motor induksi yang terdiri dari persamaan tegangan, arus, fluks, dan torka elektromagnetik.

1. Persamaan Tegangan Stator

Persamaan tegangan stator jika dinyatakan dalam sumbu d-q dengan memsubstitusikan persamaan (11) ke persamaan (6) maka akan diperoleh :

$$[A] \begin{bmatrix} v_{qd} \end{bmatrix} = [R_s] [A] \begin{bmatrix} i_{qd} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \{ [A] \begin{bmatrix} \lambda_{qd} \end{bmatrix} \} \quad (13)$$

atau

$$[A] \begin{bmatrix} v_{qd} \end{bmatrix} = [R_s] [A] \begin{bmatrix} i_{qd} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} [A] \begin{bmatrix} \lambda_{qd} \end{bmatrix} + [A] \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \lambda_{qd} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Dengan mengalikan kedua ruas persamaan

(14) dengan $[A]^{-1}$, maka

$$\begin{bmatrix} v_{qd} \end{bmatrix} = [A]^{-1} [R_s] [A] \begin{bmatrix} i_{qd} \end{bmatrix} + [A]^{-1} \frac{d[A]}{dt} \begin{bmatrix} \lambda_{qd} \end{bmatrix} + [A]^{-1} [A] \frac{d \begin{bmatrix} \lambda_{qd} \end{bmatrix}}{dt} \quad (15)$$

$$\text{Dengan: } [A]^{-1} \cdot \frac{d[A]}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & +\omega & 0 \\ -\omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

(16)

Maka persamaan (15) dengan mudah akan menjadi :

$$\begin{bmatrix} v_{qd} \end{bmatrix} = [R_s] \begin{bmatrix} i_{qd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \omega & 0 \\ -\omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_{qd} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \lambda_{qd} \end{bmatrix} \quad (17)$$

2. Persamaan Tegangan Pada Rotor

Persamaan tegangan pada rotor dalam sumbu q-d seperti berikut :

$$[B][v'_{qd}] = [R'_r][B][i'_{qd}] + \frac{d}{dt} \{ [B][\lambda'_{qd}] \} \quad (18)$$

Persamaan (18) dikalikan kedua

ruasnya dengan $[B]^{-1}$ maka

$$[v'_{qd}] = [B]^{-1} [R'_r][B][i'_{qd}] + [B]^{-1} \cdot \frac{d}{dt} \{ [B][\lambda'_{qd}] \} \quad (19)$$

atau

$$[v'_{qd}] = [R'_r][i'_{qd}] + [B]^{-1} \cdot \frac{d[B]}{dt} [\lambda'_{qd}] + \underbrace{[B]^{-1} [B]}_{[I]} \frac{d[\lambda'_{qd}]}{dt} \quad (20)$$

dengan

$$[B]^{-1} \cdot \frac{d[B]}{dt} = \begin{bmatrix} 0 & (\omega - \omega_r) & 0 \\ -(\omega - \omega_r) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

maka

$$[v'_{qd}] = [R'_r][i'_{qd}] + \begin{bmatrix} 0 & (\omega - \omega_r) & 0 \\ -(\omega - \omega_r) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} [\lambda'_{qd}] + \frac{d[\lambda'_{qd}]}{dt} \quad (22)$$

3. Persamaan Fluks Terlingkup

Mendapatkan persamaan fluks terlingkup dalam sumbu q-d seperti berikut ini :

$$\begin{bmatrix} A \lambda_{qds} \\ B \lambda'_{qdr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{ss} & L_{sr} \\ L^T_{sr} & L_{rr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A i_{qds} \\ B i'_{qdr} \end{bmatrix} \quad (23)$$

atau dapat juga dinyatakan dengan

$$\begin{bmatrix} \lambda_{qds} \\ \lambda'_{qdr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^{-1} \cdot L_{ss} \cdot A & A^{-1} \cdot L_{sr} \cdot B \\ B^{-1} \cdot L^T_{sr} \cdot A & B^{-1} \cdot L_{rr} \cdot B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qds} \\ i'_{qdr} \end{bmatrix} \quad (24)$$

dengan :

$$[L_{ss}] = \begin{bmatrix} L_{ls} + L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} \\ -\frac{1}{2}L_{ms} & L_{ls} + L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} \\ -\frac{1}{2}L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} & L_{ls} + L_{ms} \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$[L'_{rr}] = \begin{bmatrix} L'_{lr} + L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} \\ -\frac{1}{2}L_{ms} & L'_{lr} + L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} \\ -\frac{1}{2}L_{ms} & -\frac{1}{2}L_{ms} & L'_{lr} + L_{ms} \end{bmatrix} \quad (26)$$

4. Persamaan Torca Elektromagnetik

Persamaan Te adalah :

$$T_e = \frac{P}{2} \cdot \frac{3}{2} \left(L_{ms} \cdot i'_{dr} \cdot i_{qs} - L_{ms} \cdot i'_{qr} \cdot i_{ds} \right) \quad (27)$$

2.4. Persamaan Motor Induksi Setelah Transformasi

Persamaan motor induksi secara lengkapnya setelah dilaksanakan transformasi seperti pada bagian diatas adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} v_{qs} \\ v_{ds} \\ v'_{qr} \\ v'_{dr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & r_s & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r'_r & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r'_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i'_{qr} \\ i'_{dr} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & \omega & 0 & 0 \\ -\omega & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & (\omega - \omega_r) \\ 0 & 0 & -(\omega - \omega_r) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_{qs} \\ \lambda_{ds} \\ \lambda'_{qr} \\ \lambda'_{dr} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \lambda_{qs} \\ \lambda_{ds} \\ \lambda'_{qr} \\ \lambda'_{dr} \end{bmatrix} \quad (28)$$

dan persamaan fluks setelah

ditransformasikan dinyatakan sebagai :

$$\begin{bmatrix} \lambda_{qs} \\ \lambda_{ds} \\ \lambda'_{qr} \\ \lambda'_{dr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ 0 & M & L'_r & 0 \\ M & 0 & 0 & L'_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i'_{qr} \\ i'_{dr} \end{bmatrix} \quad (29)$$

dimana :

$$L_s = L_{ls} + M \quad (30)$$

$$L'_r = L'_{lr} + M \quad (31)$$

$$L'_{lr} = \left[\frac{N_s}{N_r} \right]^2 \cdot L_{lr} \quad (32)$$

$$M = \frac{3}{2} L_{ms} \quad (33)$$

III. Metodologi

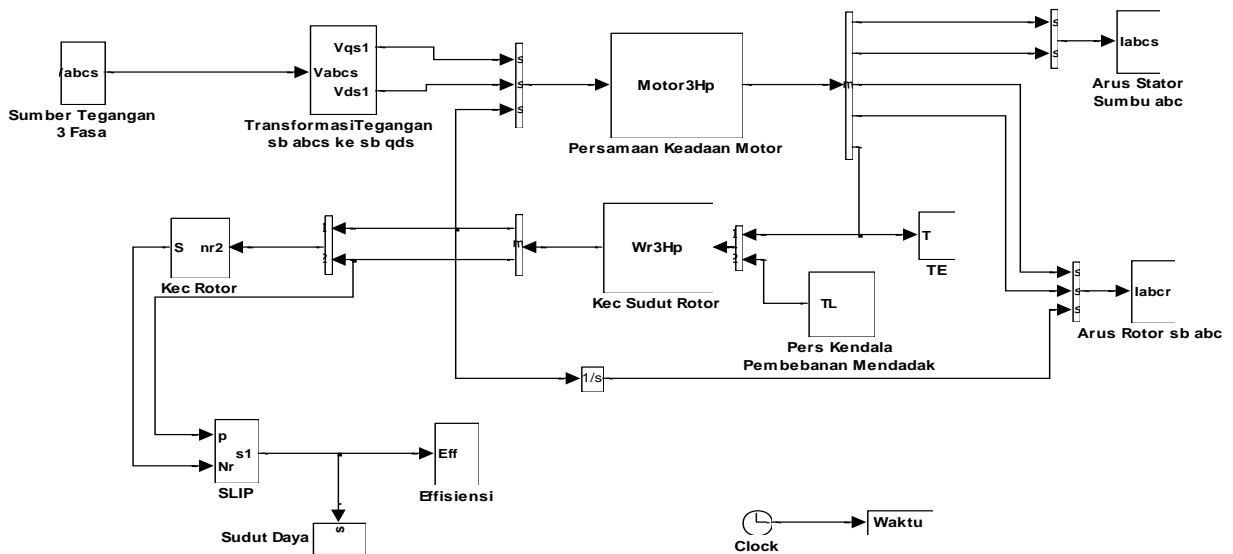
Langkah-langkah untuk mencapai tujuan yaitu

1. Pemodelan motor induksi tiga fasa.
2. Transformasi model matematis ke sumbu d-q.
3. Menyatakan persamaan transformasi ke dalam bentuk persamaan keaan.
4. Analisis numerik dengan metode Runge-Kutt
5. Simulasi dengan simulink Matlab.
6. Transformasi balik ke sumbu mesin.

Tabel 1. Data motor induksi tiga fasa

No	Parameter	Satuan	Motor A	Motor B
1.	Daya	hp	3	50
2.	Frekuensi	Hz	60	60
3.	P	Kutub	4	4
4.	Tegangan l-l	V	220	460
5.	Kecepatan rotor	rpm	1710	1705
6.	Rs	ohm	0.435	0.087
7.	R'r	Ohm	0.816	0.228
8.	Xls	Ohm	0.754	0.302
9.	Xlr	Ohm	0.754	0.302
10.	Xm	Ohm	26.13	13.08
11.	J	Kg.m2	0.089	1.662
12.	Tl	Nm	11.9	198

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 3. Simulasi motor induksi tiga fasa dengan simulink Matlab

V. KESIMPULAN

Dari pemodelan, simulasi dan hasil perbandingan simulasi antara dua motor induksi tiga fasa yang mempunyai kapasitas yang berbeda ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Model dari motor induksi yang dihasilkan sangat luwes, karena sistem koordinat dari sistem dapat diset diam, berputar dengan kecepatan sinkron atau pada kecepatan yang sama dengan kecepatan rotor. Karena itu pemodelan ini dapat dipakai untuk

persoalan steady state maupun untuk persoalan transient.

2. Dengan metoda transformasi d-q dan analisis persamaan differensial dengan metoda persamaan keadaan dapat memudahkan dalam analisis transien motor induksi tiga fasa saat pembebanan mendadak.
3. Dari simulasi dapat dilihat segala perubahan perilaku motor induksi tiga fasa selama pembebanan mendadak.
4. Perbandingan simulasi antara dua jenis motor induksi tiga fasa yang
5. mempunyai kapasitas berbeda dapat disimpulkan bahwa motor dengan kapasitas yang lebih besar akan mengalami masa peralihan yang lebih lama dibandingkan dengan motor yang mempunyai kapasitas yang lebih kecil selama pembebanan mendadak. Nilai dari tiap variabel yang dilihat perubahannya ini tergantung kepada besar beban konstan yang diberikan.

Daftar Pustaka

1. Chapman, Stephen J, "Electric Machinery Fundamentals", Mc. Graw Hill; New York; 1991
2. Fitzgerald, A.E, "Mesin-mesin Listrik", Erlangga, Jakarta 1992.
3. Krause, P.C, "Analysis of Electric Machinery", Mc. Graw Hill, New York 1986.
4. Hanselman, D, "The Student Edition of Matlab ver 4", The Math Works Inc and Prentice Hall, New Jersey 1991.
5. Haroen, Yanuarsyah, "Analisa Transien pada Mesin-Mesin Listrik", Teknik Elektro ITB, Bandung, 1995.

Lampiran lihat file tekno 2k mel2 halaman terakhir