

Volume 2, Nomor 3, Agustus 2012

ISSN. 2089-2942

JURNAL TEKNIK ELEKTRO

Analisis Mencari Nilai Eigen Dengan Kasus
Motor Induksi Dengan Beban Pompa
(Ali Kasim)

Hemat Pemakaian Energi Listrik Dengan
Memasang Inverter Motor Listrik
(Choirul Rizal)

Evaluasi Ketersediaan Daya Pada
Jaringan Distribusi Primer 20 KV
(Daeny Septi Yansuri)

Sistem Kendali Monitoring Sensor Suhu Ruangan
Dengan Mikrokontroler Atmega 8535
(Ibnu Ziad)

Kemampuan Circuit Breaker Dalam Mengatasi Gangguan
Pada Jaringan Primer Di Gardu Induk Bukit Asam
(Subianto)

Rancangan Bangunan Pengaman Instalasi Listrik Satu Fasa
Menggunakan MCB Semi Otomatis Pada Saat Beban Lebih
(Surya Darma)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PALEMBANG**

J.Tek. Ele.	Vol. 2	No. 3	Hlm. 129-189	Palembang, Agustus 2012	ISSN 2089-2942
-------------	--------	-------	-----------------	----------------------------	-------------------

JURNAL TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PALEMBANG

Jurnal Teknik Elektro adalah wadah informasi bidang Teknik Elektro berupa hasil penelitian, Studi kepustakaan maupun tulisan ilmiah.

- Pelindung : Rektor Universitas Palembang
- Penanggung jawab : Dekan Fakultas Teknik Univ. Palembang
- Pimpinan Umum : Ir. Choirul Rizal, MT
- Wakil Pimpinan Umum : Ir. Ali Kasim, M.Sc
- Pimpinan Redaksi : Ir. Subianto, MT
- Sekretaris Redaksi : R. Ahmad Yani, ST
- Dewan Redaksi : 1. Surya Darma, ST., MT
2. Marliyus Sunarhati, ST., MT
3. Ir. Antonius Hamdadi, M.Sc
4. Ir. Wibowo Pratikno, M.Sc
- Redaksi Pelaksana/Editing : 1. Daeny Septi Yansuri, ST., MT
2. Yosi Apriani, ST
3. RM. Edy Suherman, ST
- Bagian TU dan Sirkulasi : 1. Hj. Zubaidah, SE
2. Deta Riani, SH
3. Nora Finalia, A.Md

Alamat Redaksi :

Fakultas Teknik Universitas Palembang Jalan Darmapala No. I A Bukit Besar Palembang
30139 ☎ (0711) 442670 Fax. (0711) 442670 E-mail: jurnal_teunpal@yahoo.co.id

Jurnal Teknik Elektro diterbitkan oleh Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Palembang. **Dekan** : Ir. SS Purwanto, MT. – **Ketua Program Studi Teknik Elektro** Daeny Septi Yansuri, ST., MT

JURNAL TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PALEMBANG

DAFTAR ISI :

- Analisis Mencari Nilai Eigen Dengan Kasus Motor Induksi Dengan Beban Pompa
(Ali Kasim) 129-138
- Hemat Pemakaian Energi Listrik Dengan Memasang Inverter Motor Listrik
(Choirul Rizal) 139-145
- Evaluasi Ketersediaan Daya Pada Jaringan Distribusi Primer 20 KV
(Daeny Septi Yansuri) 146-153
- Sistem Kendali Monitoring Sensor Suhu Ruangan Dengan Mikrokontroler Atmega 8535
(Ibnu Ziad) 154-163
- Kemampuan Circuit Breaker Dalam Mengatasi Gangguan Pada Jaringan Primer Di Gardu Induk Bukit Asam
(Subianto) 164-173
- Rancang Bangun Pengaman Instalasi Listrik Satu Phasa Menggunakan MCB Semi Otomatis Pada Saat Beban Lebih
(Sura Darma) 174-189

ANALISIS MENCARI NILAI EIGEN DENGAN KASUS MOTOR INDUKSI DENGAN BEBAN POMPA

ALI KASIM

Dosen Tetap Yayasan Perguruan Tinggi Palembang
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Palembang

ABSTRAK

Kestabilan motor induksi rotor sangkar beban pompa dengan gangguan kecil dapat dianalisis dari persamaan nonlinier kerangka acuan yang dilinierisasikan dengan menggunakan pergeseran kecil disekitar titik operasi keadaan mantap. Linierisasi yang dikembangkan dengan penggunaan deret Taylor disekitar titik operasi. Hasil linierisasi dari persamaan diferensial ini menggambarkan perilaku dinamis sistem dari pergeseran kecil pada sekitar titik operasi. Stabilitas motor induksi rotor sangkar beban pompa dapat dianggap sebagai sistem linier berkenaan dengan gangguan kecil, kemudian dari teori ini dapat digunakan untuk menghitung nilai-nilai eigen. Nilai-nilai ini menggambarkan karakteristik sistem pada kondisi operasi seimbang. Bagian nyata (real) negatif nilai eigen menyatakan sistem stabil asimtotis.

Kata Kunci: Motor induksi, rotor sangkar, nilai eigen, stabilitas.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Motor listrik merupakan suatu penggerak yang efisien dibandingkan dengan penggerak lain, selain dengan sifatnya yang ramah lingkungan juga pemakaiannya multiguna dalam kegiatan sehari-hari untuk memudahkan suatu pekerjaan. Untuk kegunaan tersebut motor listrik didalam dunia listrik disebut motor induksi yang terdiri dari dua jenis yaitu motor induksi rotor belitan dan motor induksi rotor sangkar.

Adapun kelebihan pada motor induksi rotor sangkar yaitu strukturnya yang sederhana, konstruksinya yang kuat, mudah dioperasikan atau dijalankan, perawatannya mudah, harganya relatif rendah, dan motor induksi rotor sangkar mempunyai standar karakteristik putaran konstan.

Kestabilan merupakan langkah penting dalam menentukan suatu perilaku sistem pada motor induksi rotor sangkar, terutama sistem yang dioperasikan terus menerus, yang tentunya pemakaiannya diharapkan dalam batas-batas yang diijinkan. Motor induksi rotor sangkar beban pompa dengan gangguan kecil operasi sistemnya dipengaruhi oleh kondisi perubahan beban pada setiap langkah operasinya perlu diperhatikan karena perubahan kerja sistemnya akan mempengaruhi kondisi sistem tersebut untuk mencapai kestabilan.

1.2. Tujuan Penelitian

1. Motor induksi menggunakan mesin pompa menggunakan analisis metoda transformasi kerangka acuan.
2. Membentuk persamaan ruang keadaan.
3. Mencari nilai Eigen merupakan perilaku sistem
4. Mencari nilai kestabilan dilakukan dari mulai hingga operasi.

1.3. Manfaat Penelitian

1. Memberikan gambaran perilaku motor listrik penggerak pompa dalam Kegiatan sehari-hari yang mengalami pergeseran nilai kekuatannya yang sehingga nilai operasionalnya kian lama kian berkurang.
2. Dapat digunakan semua jenis motor listrik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Linierisasi Motor Induksi Rotor Sangkar

Model peralihan Motor Induksi Rotor Sangkar Beban Pompa

Pemodelan suatu sistem dalam kondisi peralihan merupakan langkah pertama untuk menyelidiki kesetabilan. Untuk pemodelan kondisi peralihan ini digunakan persamaan sehingga ditulis kembali sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} V_{qs}^{\theta} \\ V_{ds}^{\theta} \\ V_{qr}^{\theta'} \\ V_{dr}^{\theta'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_e + \frac{x_{ss}}{\omega_b} & x_{ss} & \frac{x_M}{\omega_b} p & x_M \\ x_{ss} & r_s + \frac{x_{ss}}{\omega_b} p & 0 & \frac{x_M}{\omega_b} p \\ \frac{x_M}{\omega_b} p & s x_M & r_r' + \frac{x_{rr}'}{\omega_b} p & s x_{rr}' \\ -s x_M & \frac{x_M}{\omega_b} p & -s x_{rr}' & r_r' + \frac{x_{rr}'}{\omega_b} p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs}^{\theta} \\ i_{ds}^{\theta} \\ i_{qr}^{\theta'} \\ i_{dr}^{\theta'} \end{bmatrix}$$

Persamaan torka dalam pemodelan ini dari persamaan untuk $i_{dr}^{\theta} = 0$ ditulis kembali:

$$T_e = x_M (i_{qs}^{\theta} i_{dr}^{\theta'} - i_{ds}^{\theta} i_{qr}^{\theta'})$$

Persamaan keseimbangan torka dari persamaan ditulis kembali:

$$T_e = T_L + 2HP \frac{\omega_r}{\omega_b}$$

2.2. Linierisasi Dari Persamaan Keadaan

Ada 2 prosedur yang dapat diikuti untuk memperoleh bentuk persamaan ruang keadaan sistem. Langkah awal yaitu memakai ekspansi Taylor tentang penetapan nilai. Dalam hal ini, beberapa variabel f_i dapat ditulis dengan istilah ekspansi Taylor tentang penetapan nilainya, f_{i0} sebagai berikut:

$$g(f_i) = g(f_{i0}) + g'(f_{i0}) \Delta f_i + \frac{g''(f_{i0})}{2!} \Delta f_i^2 + \dots$$

Dimana: $f_i = f_{i0} + \Delta f_i$

Jika hanya ada sedikit penyimpangan dari nilai yang ditentukan dialami dalam istilah lebih tinggi dari ketentuan awal bisa diabaikan dan $g(f_i)$ dapat diperkirakan dengan:

$$g(f_i) \approx g(f_{i0}) + g'(f_{i0}) \Delta f_i$$

Karena itu, penggantian karakter kecil dari sistem diberikan dengan peraturan awal dari seri-seri Taylor, yaitu:

$$\Delta g(f_i) \approx g'(f_{i0}) \Delta f_i$$

Dengan fungsi-fungsi dari 2 variabel memakai uraian yang sama, sebagai berikut:

$$g(f_1, f_2) \approx g(f_{10}, f_{20}) + \frac{\partial}{\partial f_1} g(f_{10}, f_{20}) \Delta f_1 + \frac{\partial}{\partial f_2} g(f_{10}, f_{20}) \Delta f_2$$

Dimana $\Delta g(f_1, f_2)$ adalah 2 istilah terakhir dari persamaan

Jika sebagai contoh kita memakai metode ini untuk melambangkan mesin induksi tenaga putaran, maka:

$$T_e(i_{qs}^e, i_{ds}^e, i_{qr}^e, i_{dr}^e) \approx T_e(i_{s0}^e, i_{dso}^e, i_{qro}^e, i_{dro}^e) + \frac{\partial T_e(i_{s0}^e, i_{dso}^e, i_{qro}^e, i_{dro}^e)}{\partial i_{qs}^e} \Delta i_{qs}^e$$

Dimana sedikit pergantian tanda untuk tenaga putaran menjadi:

$$\Delta T_e = X_M (i_{qso}^e \Delta i_{dr}^e + i_{dro}^e \Delta i_{qs}^e - i_{dso}^e \Delta i_{qro}^e \Delta i_{ds}^e)$$

Sebagaimana dijelaskan bahwa o menunjukkan ketetapan jumlah sebuah metode yang ekuivalen dari pengukur persamaan non linier. Untuk menulis semua variabel-variabel pada persamaan. Jika semua perkalian diberlakukan dan ketetapan dihapuskan dari kedua sisi persamaan, pada saat (missal, $\Delta f_1 \Delta f_2$) diabaikan. Di dapat perubahan persamaan dengan menggunakan metode ini:

2.3. Motor Induksi

Dari persamaan di atas diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} \Delta v_{qs}^e \\ \Delta v_{ds}^e \\ \Delta v_{qr}^e \\ \Delta v_{dr}^e \\ \Delta T_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s + \frac{p}{\omega_b} X_{ss} & \frac{\omega_e}{\omega_b} X_{ss} & \frac{p}{\omega_b} X_M & \frac{\omega_e}{\omega_b} X_M & 0 \\ -\frac{\omega_e}{\omega_b} X_{ss} & r_s + \frac{p}{\omega_b} X_{ss} & -\frac{\omega_e}{\omega_b} X_M & \frac{p}{\omega_b} X_M & 0 \\ \frac{p}{\omega_b} X_M & s_0 \frac{\omega_e}{\omega_b} X_M & r_r' + \frac{p}{\omega_b} X_{rr}' & s_0 \frac{\omega_e}{\omega_b} X_{rr}' & -X_M i_{d30}^e - X_{rr}' i_{dro}^e \\ -s_0 \frac{\omega_e}{\omega_b} X_M & \frac{p}{\omega_b} X_M & -s_0 \frac{\omega_e}{\omega_b} X_{rr}' & r_r' + \frac{p}{\omega_b} X_{rr}' & X_M i_{q30}^e + X_{rr}' i_{qro}^e \\ X_M i_{dro}^e & -X_M i_{qro}^e & -X_M i_{dso}^e & X_M i_{q30}^e & -2Hp \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta i_{qs}^e \\ \Delta i_{ds}^e \\ \Delta i_{qr}^e \\ \Delta i_{dr}^e \\ \frac{\Delta \omega_r}{\omega_b} \end{bmatrix}$$

$$S_0 = \frac{\omega_e - \omega_{ro}}{\omega_e}$$

Sangat jelas bahwa dengan menerapkan voltase dari tingkat frekuensi rasio w_e ke w_b adalah kesatuan, dengan w_e mencakup penjelasan untuk menerapkan votase dari frekuensi konstan yang lainnya dari perbandingan yang terjadi dalam percepatan variabel. Pengoperasian frekuensi variabel dapat diketahui dalam bentuk acuan perputaran yang sinkron oleh perubahan kecepatan sederhana dari susunan acuan penyesuaian menjadi perubahan dalam frekuensi. Oleh karena itu, jika frekuensi adalah variabel sistem input kemudian sedikit pemindahan di frekuensi dapat dihitung dengan membiarkan kecepatan susunan referensi untuk berubah dengan menggantikan w_e dengan $w_{e0} + \Delta w_e$.

Sehingga di dapat dari persamaan dalam bentuk:

$$E_{px} = Fx + u$$

$$(X)^r = \begin{bmatrix} \Delta i_{qs}^e & \Delta i_{ds}^e & \Delta i_{qr}^e & \Delta i_{dr}^e & \frac{\Delta \omega_r}{\omega_b} \end{bmatrix}$$

$$(u)^r = \begin{bmatrix} \Delta v_{qs}^e & \Delta v_{ds}^e & \Delta v_{qr}^e & \Delta v_{dr}^e & \Delta T_L \end{bmatrix}$$

$$E = \frac{1}{\omega_b} \begin{bmatrix} X_{ss} & 0 & X_M & 0 & 0 \\ 0 & X_{ss} & 0 & X_M & 0 \\ X_M & 0 & X'_{rr} & 0 & 0 \\ 0 & X_M & 0 & X'_{rr} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2H\omega_b \end{bmatrix}$$

$$F = - \begin{bmatrix} r_s & \frac{\omega_e}{\omega_b} X_{ss} & 0 & \frac{\omega_e}{\omega_b} X_M & 0 \\ -\frac{\omega_e}{\omega_b} & r_s & -\frac{\omega_e}{\omega_b} X_M & 0 & 0 \\ 0 & s_0 \frac{\omega_e}{\omega_b} X_M & r'_r & s_0 \frac{\omega_e}{\omega_b} X'_{rr} & -X_M i_{ds0}^e - X'_{rr} i_{dr0}^e \\ -s_0 \frac{\omega_e}{\omega_b} X_M & 0 & -s_0 \frac{\omega_e}{\omega_b} X'_{rr} & r'_r & X_M i_{qs0}^e + X'_{rr} i_{qr0}^e \\ X_M & -X_M i_{qro}^e & -X_M i_{dso}^e & X_M i_{qso}^e & 0 \end{bmatrix}$$

Dalam analisa sistem linier di dapat persamaan dalam bentuk:

$$px = Ax + Bu$$

Persamaan diatas adalah bentuk dasar dari persamaan perbedaan linier. Hal ini umumnya mengarah pada persamaan dapat ditulis sebagai berikut:

$$px = (E)^{-1}Fx + (E)^{-1}u$$

yang mana menjadi persamaan dengan:

$$A = (E)^{-1} F$$

$$B = (E)^{-1} u$$

2.4. Stabilitas Motor Induksi Rotor Sangkar Beban Pompa

Dari persamaan hubungan masukan dan keluaran persamaan keadaan yang dilinearisasi.

Matriks Jacobian dari turunan parsial yang dievaluasi disekitar operasi titik operasi mantap stabilitas motor induksi sebagai berikut:

$$M = \begin{bmatrix} \frac{\partial f1}{\partial i_{qs}^\theta} & \frac{\partial f1}{\partial i_{ds}^\theta} & \frac{\partial f1}{\partial i_{qr}^\theta} & \frac{\partial f1}{\partial s} \\ \frac{\partial f1}{\partial i_{qs}^\theta} & \frac{\partial f1}{\partial i_{ds}^\theta} & \frac{\partial f1}{\partial i_{qr}^\theta} & \frac{\partial f1}{\partial s} \\ \frac{\partial f1}{\partial i_{qs}^\theta} & \frac{\partial f1}{\partial i_{ds}^\theta} & \frac{\partial f1}{\partial i_{qr}^\theta} & \frac{\partial f1}{\partial s} \\ \frac{\partial f1}{\partial i_{qs}^\theta} & \frac{\partial f1}{\partial i_{ds}^\theta} & \frac{\partial f1}{\partial i_{qr}^\theta} & \frac{\partial f1}{\partial s} \end{bmatrix}$$

Vektor ruang keadaan dari gangguan arus dan slip adalah:

$$\delta x = [\delta i_{qs}^\theta \quad \delta i_{ds}^\theta \quad \delta i_{qr}^\theta \quad \delta s]^T$$

Persamaan pergeseran kecil hasil linierisasi dalam bentuk ruang keadaan diperoleh dengan menganggap terjadi pergeseran kecil disekitar titik operasi keadaan mantap dalam arus, kecepatan rotor (slip), torka beban.

Matriks transisi terbentuk suatu matriks eksponensial dengan elemen-elemen terbentuk secara eksponensial. Stabilitas pergeseran kecil diperoleh jika seluruh elemen matriks transisi mendekati nol secara asimtotis apabila waktu membesar. Jika matriks M dibuat terbentuk diagonal, maka matriks transisi akan berbentuk diagonal:

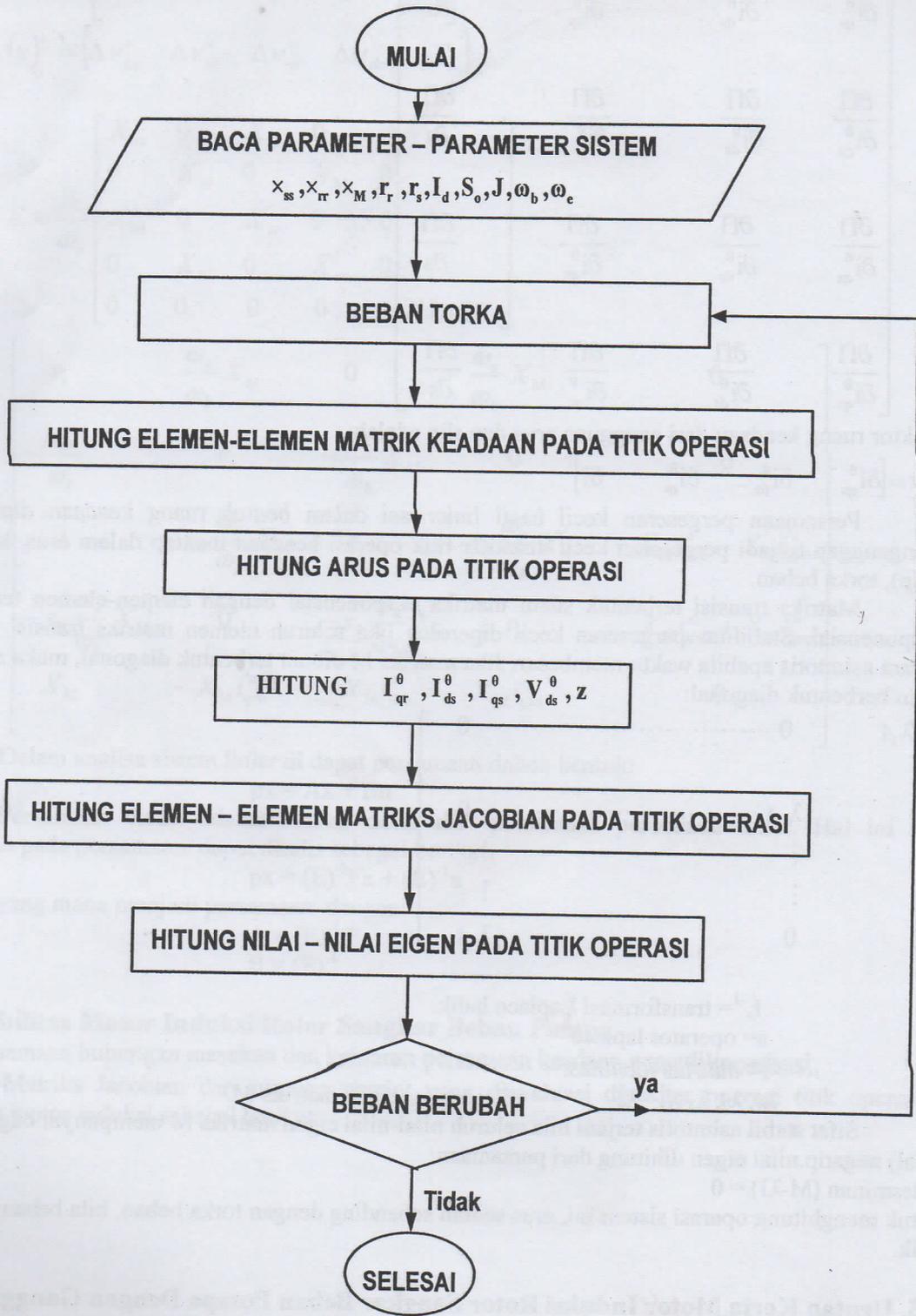
$$\begin{bmatrix} e^{\lambda_1 t} & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & e^{\lambda_2 t} & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \dots & e^{\lambda_n t} \end{bmatrix}$$

- L^{-1} = transformasi Laplace balik.
- s = operator laplace
- I = matriks identitas.
- $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ = nilai - nilai eigen matriks M.

Sifat stabil asimtotis terjadi bila seluruh nilai-nilai eigen matriks M mempunyai bagian nyata (real) negatif. nilai eigen dihitung dari persamaan:
determinan $(M - \lambda I) = 0$
untuk menghitung operasi sistem ini, arus searah sebanding dengan torka beban, bila beban naik, arus juga naik.

3.5. Urutan Kerja Motor Induksi Rotor Sangkar Beban Pompa Dengan Gangguan Kecil
Menghitung stabilitas motor induksi rotor sangkar beban pompa dengan gangguan kecil dilaksanakan dengan bantuan program komputer MATLAB.

Urutan kerja motor induksi rotor sangkar beban pompa dengan gangguan kecil, digambarkan pada diagram alir gambar 3..1.



Gambar 2.1. diagram alir menghitung stabilitas motor induksi rotor sangkar beban pompa dengan gangguan kecil.

3. PERHITUNGAN DAN ANALISIS

3.1 Data Motor Induksi Rotor Sangkar

Motor induksi dengan gangguan kecil, dengan data berikut:

Tabel 3.1 Data Motor Induksi Rotor Sangkar
DATA MOTOR INDUKSI ROTOR SANGKAR

hp	T_B N-m	Id Amp	r_s ohm	X_{ss} ohm	X_{rr} ohm	X_M ohm	r_r Ohm	J Kg-m ²
3	11,9	5,8	0,435	0,754	0,754	26,13	0,816	0,089
50	198	46,8	0,087	0,302	0,302	13,08	0,228	1,622
500	$1,98 \times 10^3$	93,6	0,262	1,206	1,206	54,02	0,187	11,06
2250	$8,9 \times 10^3$	42,1	0,029	0,226	0,226	13,04	0,022	63,87

Adapun karakteristik torka-kecepatan adalah sebagai berikut:

kecepatan (rpm)	1710	1705	1773	1786
Torka (N-m)	11.9	198	1.98×10^3	8.9×10^3

3.2. Hasil Perhitungan

Dengan menggunakan program MATLAB diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:

Beban $T_B = 11.9$ N-m $s_0 = 0.02$
diperoleh:

Matrik Keadaan :

$$\begin{bmatrix} -0.4350 & -0.7540 & 0.0000 & -26.1300 & 0.0000 \\ 0.7540 & 0.4350 & 26.1300 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & -0.5230 & -0.8160 & -0.0150 & 155.9270 \\ 0.5230 & 0.0000 & 0.0150 & -0.8160 & -155.9270 \\ -151.5540 & 151.5540 & 151.5540 & -151.5540 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

Nilai eigen

2.1703
-2.1785
-0.0013 + 0.0673i
-0.0013 - 0.0673i
-0.0057

Beban $T_B = 11.9$ N-m $s_0 = 1$
diperoleh:

Matrik Keadaan :

$$\begin{bmatrix} -0.4350 & -0.7540 & 0.0000 & -26.1300 & 0.0000 \\ 0.7540 & 0.4350 & 26.1300 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & -26.1300 & -0.8160 & -0.7540 & 151.9270 \\ 26.1300 & 0.0000 & 0.7540 & -0.8160 & -151.9270 \\ -151.5540 & 151.5540 & 151.5540 & -151.5540 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

Nilai eigen

2.1553
-2.1635
-0.0039 + 0.2709i
-0.0039 - 0.2709i
-0.0004

Beban $T_B = 198 \text{ N-m}$ $s_0 = 0.02$
diperoleh:

Matrik Keadaan :

-0.0870	-0.3020	0.0000	-13.0800	0.0000
0.3020	0.0870	13.0800	0.0000	0.0000
0.0000	-0.2620	-0.2280	-0.0060	626.2780
0.2620	0.0000	0.0060	-0.2280	-626.2780
-612.1440	612.1440	612.1440	-612.1440	0.0000

Nilai eigen

8.7553
-8.7575
-0.0005 + 0.0294i
-0.0005 - 0.0294i
-0.0014

Beban $T_B = 198 \text{ N-m}$ $s_0 = 1$
diperoleh:

Matrik Keadaan :

-0.0870	-0.3020	0.0000	-13.0800	0.0000
0.3020	0.0870	13.0800	0.0000	0.0000
0.0000	-13.0800	-0.2280	-0.3020	626.2780
13.0800	0.0000	0.3020	-0.2280	-626.2780
-612.1440	612.1440	612.1440	-612.1440	0.0000

Nilai eigen

8.7543
-8.7566
-0.0011 + 0.1342i
-0.0011 - 0.1342i
-0.0001

Beban $T_B = 1.98 \times 10^3$ N-m $s_o = 0.02$
diperoleh:

Matrik keadaan:

$$\begin{bmatrix} -0.0003 & -0.0012 & 0.0000 & -0.0540 & 0.0000 \\ 0.0012 & 0.0003 & 0.0540 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & -0.0011 & -0.0002 & -0.0000 & 5.1692 \\ 0.0011 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0002 & -5.1692 \\ -5.0563 & 5.0563 & 5.0563 & -5.0563 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

Nilai eigen

-7.2301
7.2299
-0.0000 + 0.0118i
-0.0000 - 0.0118i
-0.0001

Beban $T_B = 1.98 \times 10^3$ N-m $s_o = 1$
diperoleh:

Matrik keadaan:

$$\begin{bmatrix} -0.2620 & -1.2060 & 0.0000 & -0.0540 & 0.0000 \\ 1.2060 & 0.2620 & 0.0540 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & -54.0200 & -0.0002 & -0.0000 & 5.1692 \\ 54.0200 & 0.0000 & 0.0000 & -0.0002 & -5.1692 \\ -5056.272 & 5056.272 & 5056.272 & -5056.2720 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

Nilai eigen

7.2297
-7.2299
-0.0001 + 0.0554i
-0.0001 - 0.0554i
-0.0000

Beban $T_B = 8.9 \times 10^3$ N-m $s_o = 0.02$
diperoleh:

Matrik keadaan:

$$\begin{bmatrix} -0.0290 & -0.2260 & 0.0000 & -13.0400 & 0.0000 \\ 0.2260 & 0.0290 & 13.0400 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & -0.2610 & -0.0020 & -0.0050 & 558.4990 \\ 0.2610 & 0.0000 & 0.0050 & -0.0220 & -558.4990 \\ -548.9840 & 548.9840 & 548.9840 & -548.9840 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

Nilai eigen

7.8307
-7.8309
-0.0001 + 0.0262i
-0.0001 - 0.0262i
-0.0001

Beban $T_B = 8.9 \times 10^3$ N-m $s_o = 1$
diperoleh:

Matrik keadaan:

-0.0290	-0.2260	0.0000	-13.0400	0.0000
0.2260	0.0290	13.0400	0.0000	0.0000
0.0000	-13.0400	-0.0020	-0.2260	558.4990
13.0400	0.0000	0.2260	-0.0220	-558.4990
-548.9840	548.9840	548.9840	-548.9840	0.0000

Nilai eigen

7.8296
-7.8299
-0.0001 + 0.1328i
-0.0001 - 0.1328i
-0.0000

4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan hasil perhitungan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada beban $T_B = 11.9$ N-m, nilai eigen yang diperoleh terdapat satu nilai yang positif. Hal ini menunjukkan bahwa operasi pada saat dimulai belum stabil tetapi setelah terjadinya operasi menunjukkan kestabilan. Berarti menunjukkan perilaku sistem pada titik operasi ini sudah mencapai stabil.
2. Pada beban $T_B = 198$ N-m, nilai eigen yang diperoleh juga terdapat satu nilai yang positif. Kondisi ini sama dengan $T_B = 11.9$ N-m, akan tetapi nilai realnya makin menunjukkan kestabilan.
3. Pada beban $T_B = 1.98 \times 10^3$ N-m, nilai eigen yang diperoleh terdapat satu nilai positif. Pada kondisi ini nilai realnya telah menunjukkan kestabilan pada saat operasi.
4. Pada $T_B = 8.9 \times 10^3$ N-m, hasil pada nilai eigen yang diperoleh terdapat satu nilai positif. Namun pada kondisi ini operasi sistem jauh lebih baik dari sebelumnya. Karena nilai realnya menunjukkan pada kondisi ini sudah stabil

DAFTAR PUSTAKA

1. Krause, Paul. C, "Analysis Of Electric Machinery", McGraw-Hill series in electrical engineering, Singapore, 1987
2. Kurniawan, Teguh, "Komputasi Proses Teknik Kimia Menggunakan Matlab", Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, 2006
3. Mansuri, Arif. C, "Lengkung Momen-Putaran Motor Induksi Rotor Belitan Pada Pengendali Kecepatan Dengan Metoda Slip Energy Recovery Menggunakan Konverter", Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro ITB, Bandung, 1993
4. Pujiriyanto, Andry, "Cepat Mahir Matlab", 2004
5. Syamsuddin, Eniman Y, "Diktat Kuliah Sistem Kendali", Jurusan Teknik Elektro ITB, Bandung.