

ANALISA PENGARUH SATU FASA STATOR TERBUKA TERHADAP TORSI DAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASA

(Aplikasi pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-USU)

Fauzi, A. Rachman Hasibuan

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: f4u21te06@gmail.com

Abstrak

Pada motor induksi tiga fasa terkadang karena pengaruh kurang perawatan atau keadaan mesin yang sudah tua dapat menyebabkan salah satu fasa statornya menjadi rusak dan tidak berfungsi, atau tegangan sumber dari panel hilang satu fasanya. Hal ini memberikan pengaruh terhadap torsi dan putaran motor tersebut. Tulisan ini menganalisa pengaruh satu fasa stator terbuka terhadap torsi dan kecepatan motor induksi tiga fasa. Dari hasil percobaan yang dilakukan, diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa dengan keadaan satu fasa stator terbuka motor induksi mengalami penurunan kinerja, ditandai dengan meningkatnya nilai torsi dan menurunnya kecepatan motor induksi. Hasil yang diperoleh berupa torsi motor induksi, yaitu untuk beban tertinggi dalam percobaan diperoleh nilai torsi sebesar 0,25 N.m untuk keadaan normal dan 0,29 N.m untuk keadaan satu fasa stator terbuka. Nilai kecepatan yang diperoleh adalah 1400 Rpm untuk keadaan normal dan 1350 Rpm untuk keadaan satu fasa stator terbuka.

Kata Kunci: Stator Terbuka, Torsi, Kecepatan

1. Pendahuluan

Motor induksi tiga fasa merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan pada perindustrian, motor inilah yang akan digunakan untuk memutar beban yang ada diperindustrian. Motor induksi tiga fasa keluarannya adalah berupa torsi untuk menggerakkan beban. Jika torsi beban yang dipikul motor induksi tiga fasa lebih besar, maka motor induksi tiga fasa tidak akan berputar. Jika torsi beban yang dipikul motor induksi tiga fasa terlalu kecil, maka ini dianggap suatu hal yang berlebihan. Karena sesuatu hal misalnya karena kurangnya perawatan dan usia mesin yang sudah tua, akan dapat menyebabkan salah satu fasa stator akan rusak atau tidak berfungsi, atau tegangan sumber dari panel hilang satu fasanya. Hal ini tentunya akan memberikan pengaruh terhadap kemampuan mesin untuk dapat bekerja optimal. Oleh karena itu perlu dianalisa pengaruh satu fasa stator terbuka terhadap torsi dan kecepatan motor induksi tiga fasa.

2. Motor induksi Tiga Fasa

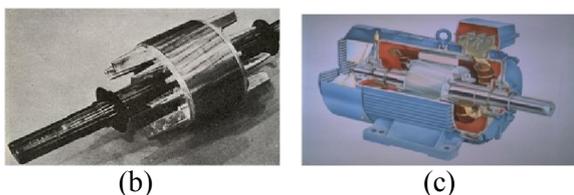
Motor induksi adalah motor ac yang paling banyak dipergunakan, karena konstruksinya yang kuat dan karakteristik kerjanya yang baik. Penamaannya berasal dari kenyataan bahwa arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan arus stator [1].

Secara umum motor induksi terdiri dari rotor dan stator. Rotor merupakan bagian yang bergerak, sedangkan stator bagian yang diam. Diantara stator dengan rotor ada celah udara yang jaraknya sangat kecil.

Konstruksi motor induksi dapat diperlihatkan pada Gambar 1.



(a)



Gambar 1. Konstruksi Motor Induksi (a) Stator, (b) Rotor, (c) Motor Induksi

Ada dua jenis motor induksi tiga fasa berdasarkan rotornya yaitu:

1. Motor induksi tiga fasa sangkar tupai (*squirrel-cage motor*)
2. Motor induksi tiga fasa rotor belitan (*wound-rotor motor*)

Secara umum prinsip kerja motor induksi dapat dijabarkan dalam langkah – langkah berikut [1], [2]:

1. Pada keadaan beban nol Ketiga fasa stator yang dihubungkan dengan sumber tiga fasa yang seimbang menghasilkan arus pada tiap belitan fasa.
2. Arus pada tiap fasa menghasilkan fluksi bolak-balik yang berubah-ubah.
3. Amplitudo fluksi yang dihasilkan berubah secara sinusoidal dan arahnya tegak lurus terhadap belitan fasa.
4. Akibat fluksi yang berputar timbul ggl pada stator motor yang besarnya adalah

$$e_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \text{ atau } E_1 = 4,44 f N_1 \Phi \quad (1)$$

5. Penjumlahan ketiga fluksi bolak-balik tersebut disebut medan putar yang berputar dengan kecepatan sinkron n_s , besarnya nilai n_s ditentukan oleh jumlah kutub p dan frekuensi stator f yang dirumuskan dengan

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \text{ (rpm)} \quad (2)$$

6. Fluksi yang berputar tersebut akan memotong batang konduktor pada rotor. Akibatnya pada kumparan rotor timbul tegangan induksi (ggl) sebesar E_2 yang besarnya

$$E_2 = 4,44 f N_2 \Phi_m \text{ (Volt)} \quad (3)$$

dimana:

E_2 = Tegangan induksi pada rotor saat rotor dalam keadaan diam (Volt)

N_2 = Jumlah lilitan kumparan rotor

Φ_m = Fluksi maksimum(Wb)

7. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup, maka ggl tersebut akan menghasilkan arus I_2

8. Adanya arus I_2 di dalam medan magnet akan menimbulkan gaya F pada rotor
9. Bila kopel mula yang dihasilkan oleh gaya F cukup besar untuk memikul kopel beban, rotor akan berputar searah medan putar stator
10. Perputaran rotor akan semakin meningkat hingga mendekati kecepatan sinkron. Perbedaan kecepatan medan stator (n_s) dan kecepatan rotor (n_r) disebut slip (s) dan dinyatakan dengan

$$s = \frac{n_s - n_r}{n_s} \times 100\% \quad (4)$$

11. Pada saat rotor dalam keadaan berputar, besarnya tegangan yang terinduksi pada kumparan rotor akan bervariasi tergantung besarnya slip. Tegangan induksi ini dinyatakan dengan E_{2s} yang besarnya

$$E_{2s} = 4,44 s f N_2 \Phi_m \text{ (Volt)} \quad (5)$$

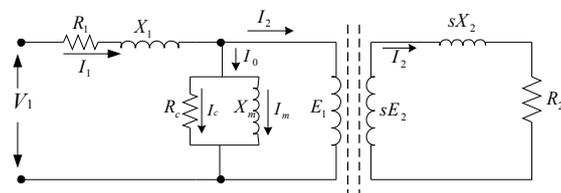
dimana:

E_{2s} = tegangan induksi pada rotor dalam keadaan berputar (Volt)

$f_2 = s f =$ frekuensi rotor (frekuensi tegangan induksi pada rotor dalam keadaan berputar)

12. Bila $n_s = n_r$, tegangan tidak akan terinduksi dan arus tidak akan mengalir pada kumparan rotor, karenanya tidak dihasilkan kopel. Kopel ditimbulkan jika $n_r < n_s$

Untuk mempermudah analisis motor induksi, digunakan metode rangkaian ekivalen per – fasa. Motor induksi dapat dianggap sebagai transformator dengan rangkaian sekunder berputar [1].



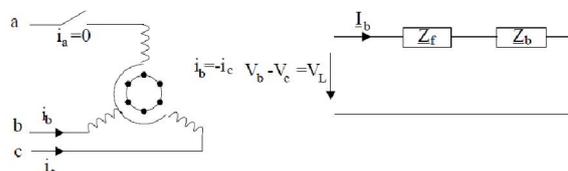
Gambar 2. Rangkaian ekivalen motor induksi tiga fasa[3]

3. Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Keadaan Satu Fasa Stator Terbuka

Bila pada stator motor induksi di supply tegangan tiga fasa, dimana satu fasanya terbuka maka akan mengakibatkan ketidakseimbangan

seri (gangguan seri). Gangguan seri ini dapat dievaluasi dengan menggunakan komponen simetris [5].

Motor induksi tiga fasa dengan keadaan satu fasa stator terbuka dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Satu Fasa Stator Terbuka Pada Motor Induksi Tiga Fasa [4]

Dari Gambar 3 didapat persamaan sebagai berikut:

$$I_{af} = \frac{1}{3}(I_a + aI_b + a^2I_c)$$

$$I_{af} = \frac{1}{3}(0 + aI_b - a^2I_b) \tag{6}$$

$$I_{af} = \frac{a - a^2}{3} I_b = \frac{jI_b}{\sqrt{3}}$$

$$I_{ab} = \frac{1}{3}(I_a + a^2I_b + aI_c)$$

$$I_{ab} = \frac{1}{3}(0 + a^2I_b - aI_b) \tag{7}$$

$$I_{ab} = -\frac{a - a^2}{3} I_b = -I_{af}$$

Dimana:

I_{af} = Arus input keadaan forward / urutan positif (Amper)

I_{ab} = Arus input keadaan backward / urutan negatif (Amper)

Dari Gambar 1 di atas maka di peroleh persamaan:

$$I_b = \frac{V_L}{Z_f + Z_b} \tag{8}$$

Dimana:

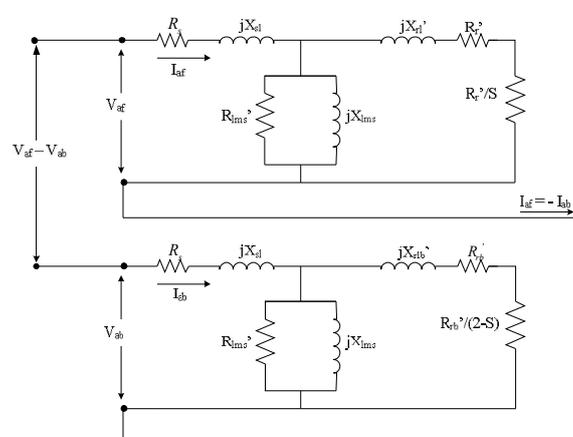
V_L = Tegangan diterminal motor induksi (Volt) ; V_L = V_b - V_c

I_b = Arus fasa motor induksi (Amper)

adapun slip pada keadaan *backward* adalah

$$S_b = \frac{-N_s - N_r}{-N_s} = 2 - S \tag{10}$$

Rangkaian ekivalen motor induksi tiga fasa pada keadaan satu fasa stator terbuka dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian Ekivalen Motor Induksi Tiga Fasa Pada Keadaan Satu Fasa Stator Terbuka [5]

Berdasarkan Gambar 4 diperoleh:

$$V_L = V_b - V_c$$

$$= (a^2V_{af} + aV_{ab} + V_{a0}) - (aV_{af} + a^2V_{ab} + V_{a0})$$

$$= -j\sqrt{3}(V_{af} - V_{ab}) \tag{11}$$

Dari Gambar 4 kita dapat menemukan besarnya Z_f (Impedansi urutan positif) dan Z_b (Impedansi urutan negatif).

$$Z_f = R_s + jX_{sl} + \frac{\left(\frac{R_r}{s} + jX_{rl}\right) \times (R_{lms} + jX_{lms})}{\left(\frac{R_r}{s} + R_{lms}\right) + j(X_{rl} + X_{lms})} \Omega \tag{12}$$

$$Z_b = R_s + jX_{sl} + \frac{\left(\frac{R_{rb}}{2-s} + jX_{rlb}\right) \times (R_{lbms} + jX_{lms})}{\left(\frac{R_{rb}}{2-s} + R_{lms}\right) + j(X_{rlb} + X_{lbms})} \Omega \tag{13}$$

Dimana:

Z_f : Impedansi keadaan *forward* (Ω)

Z_b : Impedansi keadaan *backward* (Ω)

R_r : Resistansi rotor (Ω)

X_{rl} : Reaktansi rotor (Ω)

R_{lms} : Tahanan celah udara (Ω)

X_{lms} : Reaktansi magnetik celah udara (Ω)

R_s : Resistansi stator (Ω)

- X_{s1} : Reaktansi stator (Ω)
- R_{rb} : Resistansi rotor keadaan *backward* (Ω)
- X_{rb} : Reaktansi stator keadaan *backward* (Ω)

Persamaan awal dari torsi adalah:

$$T_e = \frac{P_g}{\omega_s} \tag{14}$$

dimana $\omega_s = 2\pi n_s$, $n_s = \frac{120f}{p}$

$\omega_s = 2\pi \frac{120f}{p}$, dimana p adalah jumlah kutub, bila diganti menjadi P_1 adalah jumlah pasang kutub. Maka persamaan menjadi:

$$\omega_s = 2\pi \frac{f}{P_1} = \frac{\omega_1}{P_1} \tag{15}$$

Maka persamaan torsi akan menjadi:

$$T_e = \frac{P_1 P_g}{\omega_1} \tag{16}$$

dimana:

$$P_g = 3I_2^2 \frac{R_2}{s} \tag{17}$$

maka persamaan torsi menjadi:

$$T_e = \frac{P_1 3I_2^2 \frac{R_2}{s}}{\omega_1} \tag{18}$$

Dimana:

I_2 : Arus pada rotor (Ampere)

Dalam keadaan mesin induksi beroperasi dengan satu fasa stator terbuka, maka akan muncul komponen simetris didalamnya. Untuk bagian rotor, arus pada bagian rotor (I_2) akan terdapat dua unsur arus didalamnya yaitu I_{rf} dan I_{rb} .

Dimana:

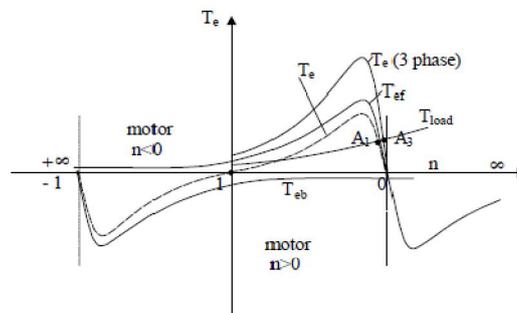
- I_{rf} : Arus rotor keadaan *forward* (A)
- I_{rb} : Arus rotor keadaan *backward* (A)

Sehingga torsi adalah

$$T_e = \frac{3R_r(I_{rf})^2 P_1}{S \omega_1} + \frac{3R_r(I_{rb})^2 P_1}{(2-S)(-\omega_1)} \text{ Nm} \tag{20}$$

Pada keadaan slip satu ($S=1$), maka $Z_f = Z_b$ yang mengakibatkan $I_{rf} = I_{rb}$, konsekuensinya adalah dalam keadaan motor induksi dengan keadaan satu fasa stator terbuka tidak akan beroperasi pada keadaan start, dikarenakan dua komponen torsi yaitu komponen torsi *forward* dan *backward* saling meniadakan satu sama lain yang ditunjukkan oleh Persamaan (20) [5].

Dari Persamaan (20), maka diperoleh kurva T_e vs n pada saat satu fasa stator terbuka pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva T_e vs n Ketika Satu Fasa Stator Terbuka[5]

4. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara Pada tanggal 26 Desember 2012 pukul 14.00 s.d 18.00 WIB.

Sebelum melakukan percobaan pada motor induksi tiga fasa dengan satu fasa stator terbuka, dibutuhkan beberapa parameter dari motor induksi yang akan digunakan. Parameter – parameter tersebut dapat di hitung dari data percobaan tahanan DC, percobaan rotor tertahan dan percobaan beban nol.

Pada percobaan motor induksi tiga fasa dengan satu fasa stator terbuka, percobaan dilakukan dalam keadaan motor berbeban. Maka dilakukan pengujian berbeban motor induksi tiga fasa dalam keadaan normal dan saat satu fasa stator terbuka

Berdasarkan tujuan dari penelitian ini maka dilakukan langkah - langkah sebagai berikut :

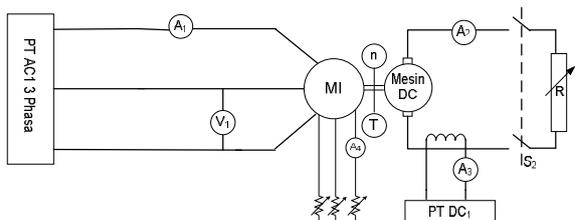
- a. Pengumpulan data yaitu dengan metode dokumentasi dan observasi.
- b. Mempersiapkan alat dan bahan untuk penelitian.

- c. Mengkondisikan objek penelitian ini dengan memastikan bahwa motor induksi tiga fasa dapat beroperasi dengan baik.
- d. Mengkondisikan alat ukur agar memiliki validitas yang baik yang harus disetting dengan benar.
- e. Tahap pengambilan data yang meliputi arus, putaran dan tegangan. Tahap analisis data dengan menggunakan analisis matematis untuk memecahkan masalah dan memperoleh kesimpulan dalam penelitian. Analisis ini adalah mengadakan perhitungan-perhitungan berdasarkan persamaan yang berlaku pada motor induksi tiga fasa ketika satu fasa stator terbuka.

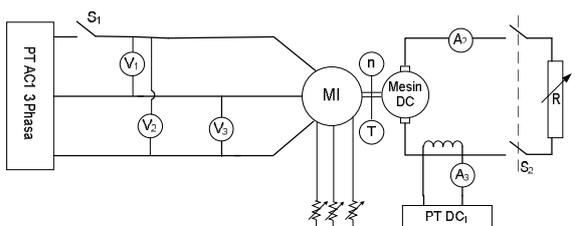
Motor yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa tipe rotor belitan dengan spesifikasi sebagai berikut:

- AEG Type C AM 112MU 4RI
- Δ/Y 220/380 V 10,7 / 6,2 A
- 2,2 Kw, $\cos\phi$ 0,67
- 1410 rpm, 50 Hz
- Isolasi B

Adapun rangkaian percobaan berbeban motor induksi tiga fasa dalam keadaan normal dan rangkaian percobaan berbeban motor induksi tiga fasa dengan satu fasa stator terbuka dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Rangkaian percobaan berbeban motor induksi tiga fasa dalam keadaan normal.



Gambar 7. Rangkaian percobaan berbeban motor induksi tiga fasa dengan satu fasa stator terbuka

5. Percobaan dan Hasil Percobaan

Percobaan yang dilakukan adalah percobaan pada motor induksi tiga fasa dalam keadaan berbeban, yaitu percobaan berbeban motor induksi tiga fasa dalam keadaan normal dan percobaan berbeban motor induksi tiga fasa dengan satu fasa stator terbuka.

Dari percobaan berbeban motor induksi tiga fasa dalam keadaan normal diperoleh data hasil percobaan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel Hasil Pengujian Motor Induksi Tiga Fasa Dalam Keadaan Normal

R (Ω)	I_2 (Amper)	Slip	n (rpm)
160	0,6	0,066	1400
100	0,7	0,08	1380
60	0,85	0,1	1350

Dari percobaan berbeban motor induksi tiga fasa dengan satu fasa stator terbuka diperoleh data hasil percobaan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Pengujian Motor Induksi Dengan Satu Fasa Stator Terbuka

R (Ω)	V_a (V)	V_b (V)	V_c (V)	Slip	n (rpm)
160	-	200	148	0,1	1350
100	-	200	144	0,1066	1340
60	-	200	140	0,133	1300

Dari data hasil pengujian berbeban motor induksi tiga fasa dalam keadaan normal dan pengujian berbeban motor induksi tiga fasa dengan satu fasa terbuka diperoleh hasil analisa pengaruh satu fasa stator terbuka terhadap torsi dan kecepatan pada motor induksi tiga fasa seperti pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Tabel Hasil Analisa Data Torsi Motor Induksi Dengan Keadaan Normal dan Satu fasa Stator Terbuka

Beban Generator DC (Ω)	Torsi (N.m)	
	Normal	Satu Fasa Stator Terbuka
160	0,25	0,29
100	0,28	0,357
60	0,33	0,4

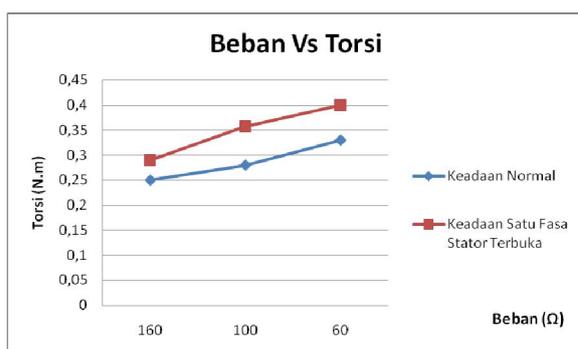
Keterangan: Beban generator DC mengecil berarti Beban motor naik

Tabel 4. Tabel Hasil Data Kecepatan Motor Induksi Dengan Keadaan Normal dan Satu fasa Stator Terbuka

Beban Generator DC (Ω)	Kecepatan (Rpm)	
	Normal	Satu Fasa Stator Terbuka
160	1400	1350
100	1380	1340
60	1350	1300

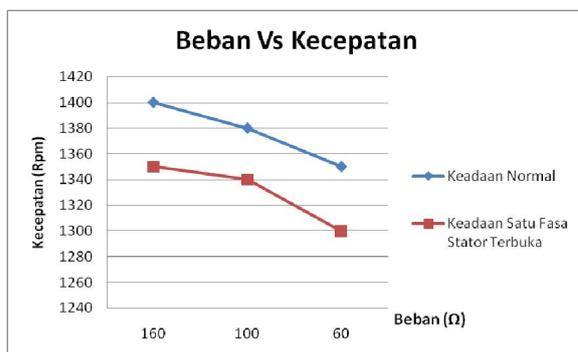
Keterangan: Beban generator DC mengecil berarti Beban motor naik

Dari Tabel 3 diperoleh kurva beban vs torsi seperti pada Gambar 8



Gambar 8. Kurva Beban vs Torsi

Dari Tabel 4 diperoleh kurva beban vs kecepatan seperti pada Gambar 9



Gambar 9. Kurva Beban vs Kecepatan

Kesimpulan

1. Stator terbuka menghasilkan torsi yang lebih besar, hal ini disebabkan karena dengan beroperasi dalam keadaan satu fasa stator terbuka, motor induksi menimbulkan arus pada bagian rotor yang lebih besar sehingga motor bekerja lebih berat dari pada keadaan normal, arus I_{rf} (komponen *forward*) semakin tinggi dan I_{rb} (komponen *backward*)

semakin menurun sehingga penjumlahannya menyebabkan torsi yang semakin besar.

2. Dari hasil analisa data diperoleh dengan beroperasi dalam keadaan satu fasa stator terbuka dengan beban yang sama dalam keadaan normal kecepatan motor induksi lebih rendah dari pada keadaan normal, hal ini disebabkan torsi yang dihasilkan Dari hasil analisa data percobaan dapat di ketahuai bahwa semakin dengan memikul beban yang sama besar maka torsi pada motor induksi yang beroperasi dalam keadaan satu fasa oleh motor induksi dengan satu fasa stator terbuka lebih besar dari pada keadaan normal yang menyebabkan mesin berputar lebih rendah seolah – olah motor induksi memikul beban yang lebih berat.
3. Dari percobaan perbandingan keadaan normal dan satu fasa stator terbuka terhadap torsi dan kecepatan motor induksi, terlihat bahwa motor induksi mengalami penurunan kemampuan dalam memikul beban dari segi torsi dan kecepatan yang dihasilkan.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih kepada Ir. A. Rachman Hasibuan, MT, Ir. Riswan Dinzi, MT, Ir. Masykur Sj, dan Ir. Surya Tarmizi Kasim, M, Si yang sudah membantu dalam menyelesaikan tulisan ini, serta teman-teman yang sudah memberikan dukungan selama pembuatan tulisan ini.

Referensi

- [1]. Zuhail, "Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya", Edisi ke-5, Penerbit Gramedia, Jakarta, 1995.
- [2]. Wijaya, Mochtar, "Dasar-Dasar Mesin Listrik", Penerbit Djembatan, Jakarta, 2001.
- [3]. Fitzgerald, A.E., Kingsley, C.Jr., Umans, S.D., "Electric Machinery", Sixth Edition, Mc Graw Hill, Singapore, 2003.
- [4]. Boldea, I., and Nasar, S.A., "Induction Machines Handbook", CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, 2002.
- [5]. Anderson, Paul M., "Analysis of Faulted Power Systems", IEEE Press Power Systems Engineering Series, 1995.