

# ANALISIS PERBAIKAN FAKTOR DAYA BEBAN RESISTIF, INDUKTIF, KAPASITIF GENERATOR SINKRON 3 FASA MENGGUNAKAN METODE POTTIER

**Fahdi Ruamta Sebayang, 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: [deckdie@gmail.com](mailto:deckdie@gmail.com)

## ABSTRAK

Generator sinkron merupakan mesin listrik yang merubah energi mekanis berupa putaran menjadi energi listrik bolak balik (AC), Energi mekanis diberikan oleh penggerak mulanya. Sedangkan energi listrik bolak balik (AC) akan dihasilkan pada rangkaian jangkarnya. Dengan ditemukannya Generator Sinkron, telah memberikan hubungan yang penting dalam usaha pemanfaatan energi yang terkandung dalam batu bara, gas, minyak, air uranium kedalam bentuk yang bermanfaat yaitu listrik dalam rumah tangga dan industri. Dalam kondisi berbeban generator sinkron akan bervariasi tergantung pada faktor daya beban. Pada makalah ini penulis membahas analisis perbaikan faktor daya beban resistif, induktif, dan kapasitif generator sinkron 3 fasa menggunakan metode potier. Pada perbaikan faktor daya dengan  $\cos \theta = 0,7$  dan  $0,8$  didapat voltage regulation nya sebesar 43,9% dan 29,6%. Sedangkan pada metode potier di dapat pada beban resistif: 13,8%, induktif : 25,38%, dan kapasitif: 0%.

**Kata kunci:** generator sinkron, penentuan tegangan terminal

## 1. Pendahuluan

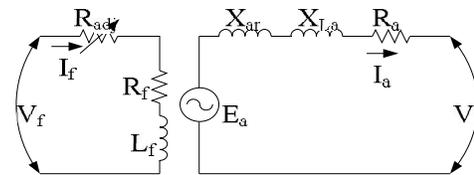
Generator Sinkron merupakan mesin listrik yang mengubah energi mekanis berupa putaran menjadi energi listrik. Energi mekanis diberikan oleh penggerak mulanya, sedangkan energi listrik akan dihasilkan pada rangkaian jangkarnya. Dengan ditemukannya Generator Sinkron atau Alternator, telah memberikan hubungan yang penting dalam usaha pemanfaatan energi yang terkandung pada batu bara, air, minyak, gas uranium ke dalam bentuk yang bermanfaat dan mudah digunakan yaitu listrik dalam rumah tangga dan industri. Beban yang dipikul alternator dapat bersifat resistif, induktif, dan kapasitif, yang ketiga beban tersebut memiliki faktor daya yang berbeda.

Untuk itu perlu dilakukan pengujian baik berupa analisa perbandingan untuk ketiga beban tersebut terhadap regulasi tegangan dari sebuah generator dengan menggunakan beberapa metode yang digunakan untuk menghitung regulasi tegangan pada generator sinkron. Tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis perbaikan faktor daya beban dan pengaruh pembebanan resistif,

kapasitif, dan induktif terhadap regulasi tegangan generator sinkron tiga fasa.[1]

## 2. Metode Potier ( Zero Power Factor ).

Metode ini berdasarkan pada pemisahan kerugian akibat reaktansi bocor  $X_l$  dan pengaruh reaksijangkar  $X_a$ . dapat dilihat pada Gambar (1)



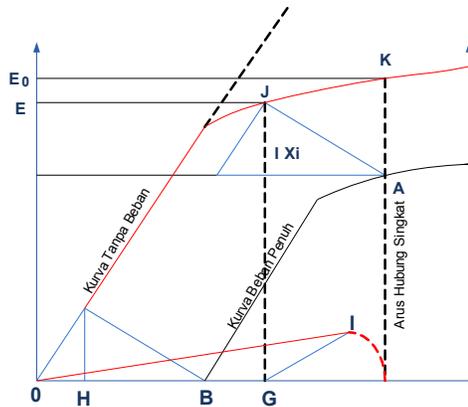
Gambar 1 Rangkaian ekivalen generator sinkron [5]

Data yang diperlukan adalah:

- Karakteristik Tanpa beban.
- Karakteristik Beban penuh dengan faktor daya nol.

Khusus untuk karakteristik beban penuh dengan faktor daya nol dapat diperoleh dengan cara melakukan percobaan terhadap generator seperti halnya pada saat percobaan tanpa beban, yaitu menaikkan arus medan secara bertahap,

yang membedakannya supaya menghasilkan faktor daya nol, maka generator harus diberi beban reaktor murni. Arus jangkar dan faktor daya nol saat dibebani harus dijaga konstan. dapat dilihat pada Gambar (2)



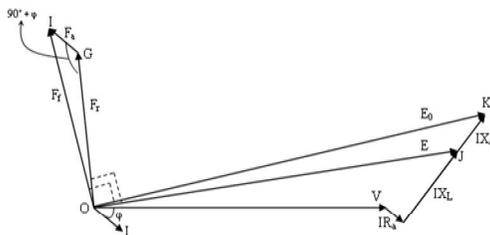
Gambar 2 Diagram Metode Segi Tiga [6]

Dari Gambar diagram Potier diatas, bisa dilihat bahwa :

- V nilai tegangan terminal saat beban penuh.
- V ditambah JF (I.X) menghasilkan tegangan E.
- BH = AF = arus medan yang dibutuhkan untuk mengatasi reaksi jangkar.
- Bila vektor BH ditambah ke OG, maka besarnya arus medan yang dibutuhkan untuk tegangan tanpa beban E<sub>0</sub> bisa diketahui dengan persamaan:

$$\%VR = \frac{(E_0 - V_{FL})}{V_{FL}} \times 100$$

Diagram vektor potier juga dapat digambarkan terpisah seperti Gambar (3)



Gambar 3 Diagram Vektor Potier [6]

Dari Gambar di atas dapat diketahui bahwa :

- a.) Untuk faktor daya *lagging* dengan sudut  $\phi$ , vektor I digambarkan tertinggal dari V sebesar  $\phi$ .

- b.) Vektor IR<sub>a</sub> digambarkan sejajar dengan vektor I dan IXL digambarkan tegak lurus terhadap IR<sub>a</sub>.

- c.) Garis OJ menunjukkan besar tegangan E dengan besar eksitasinya (garis OG) yang digambarkan dengan sudut 90° terhadap E (garis OJ).

- d.) Garis GI (garis BH = garis AF pada gambar 3.13) menunjukkan arus medan yang sebanding dengan reaksi jangkar beban penuh dan digambarkan sejajar dengan vektor arus I.

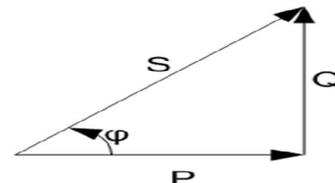
- e.) Garis OI menunjukkan eksitasi medan untuk tegangan E<sub>0</sub>. Dimana, vektor E<sub>0</sub> tertinggal sebesar 90° terhadap garis OI.

- f.) Garis JK menunjukkan jatuh tegangan akibat reaktansi jangkar (IXL).[6]

### 3. Pengaruh Beban resistif, induktif, kapasitif Terhadap Faktor Daya Beban

Dalam sistem listrik AC/Arus Bolak-Balik ada tiga jenis daya yang dikenal, khususnya untuk beban yang memiliki impedansi (Z)

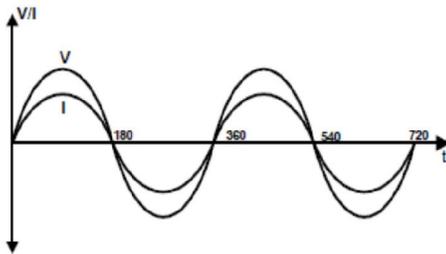
Daya semu dinyatakan dengan satuan Volt-Ampere (disingkat, VA), menyatakan kapasitas peralatan listrik, seperti yang tertera pada peralatan generator dan transformator. Pada suatu instalasi, khususnya di pabrik/industri juga terdapat beban tertentu seperti motor listrik, yang memerlukan bentuk lain dari daya, yaitu daya reaktif (VAR) untuk membuat medan magnet atau dengan kata lain daya reaktif adalah daya yang terpakai sebagai energi pembangkitan flux magnetik sehingga timbul magnetisasi dan daya ini dikembalikan ke sistem karena efek induksi elektromagnetik itu sendiri, sehingga daya ini sebenarnya merupakan beban (kebutuhan) pada suatu sistem tenaga listrik. Dapat dilihat pada Gambar (4)



Gambar 4 Segitiga Daya [5]

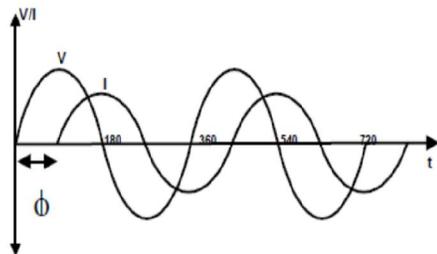
Faktor daya atau faktor kerja adalah perbandingan antara daya aktif (watt) dengan daya semu/daya total (VA), atau cosinus sudut antara daya aktif dan daya semu/daya total (lihat Gambar 4). Daya reaktif yang tinggi akan meningkatkan sudut ini dan sebagai hasilnya faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Faktor daya menggambarkan sudut phasa antara daya aktif dan daya semu. Faktor daya yang rendah merugikan karena mengakibatkan arus beban tinggi. Perbaikan faktor daya ini menggunakan kapasitor.[4]

Dalam sebuah sumber arus bolak-balik, bila beban diaplikasikan bersifat resistif murni, maka gelombang tegangan dan arus adalah sephasa seperti diperlihatkan pada Gambar (5)



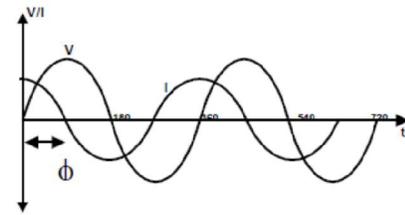
Gambar 5 Beban Resistif [5]

Beban yang bersifat induktif atau kapasitif dapat menggeser titik persilangan nol antara tegangan dan arus. Bila bebannya merupakan beban induktif persilangan nol gelombang arus muncul beberapa saat setelah persilangan nol gelombang tegangan muncul. Hal ini biasa dikatakan sebagai arus tertinggal. seperti yang ditunjukkan pada Gambar (6).



Gambar 6 Beban Induktif [5]

Sebaliknya untuk arus beban yang bersifat kapasitif, persilangan nol gelombang arus akan muncul beberapa saat sebelum persilangan nol gelombang tegangan. Hal ini biasa dikatakan sebagai arus mendahului seperti yang ditunjukkan pada Gambar (7)

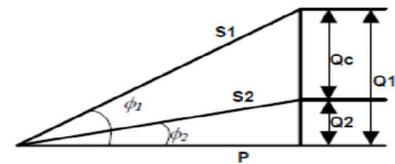


Gambar 7 Beban Kapasitif [5]

Sebuah kapasitor daya atau yang dikenal dengan nama kapasitor bank harus mempunyai daya  $Q_c$  yang sama dengan daya reaktif dari sistem yang akan diperbaiki faktor dayanya. Jika keadaan ini dipenuhi, kapasitor akan memperbaiki faktor daya menjadi bernilai maksimum (faktor daya = 1). Besarnya daya reaktif yang diperlukan untuk mengubah faktor daya dari  $\cos \phi_1$  menjadi  $\cos \phi_2$  dapat ditentukan dengan

$$\Delta Q = P_{\text{eff}} \tan(\phi_1 - \phi_2) \text{ VAR}$$

Gambar (8) menunjukkan perbaikan faktor daya



Gambar 8 Perbaikan Faktor Daya [3]

$$\Delta C_{\text{perphasa}} = \frac{\Delta Q}{3 V^2 2\pi f} \mu F$$

Dimana :

$\phi_1$  : adalah faktor daya sebelum diperbaiki

$\phi_2$  : adalah faktor daya sesudah diperbaiki

$\Delta C_{\text{perphasa}}$  : Besar nilai kapasitor perphasa

$\Delta Q$  : Jumlah daya reaktif yang dibutuhkan untuk memperbaiki faktor daya (VAR)

#### 4. Analisis Perbaikan Faktor Daya Beban Induktif, Kapasitif, dan Resistif Menggunakan Metode Potier

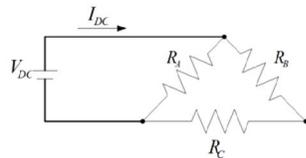
Untuk dapat melihat bagaimana pengaruh perubahan beban terhadap regulasi tegangan generator sinkron tiga fasa maka diperlukan beberapa percobaan yaitu:

1. Percobaan tahanan jangkar
2. Percobaan beban nol
3. Percobaan hubung singkat
4. Percobaan perkiraan faktor daya
5. Percobaan  $Z_{\text{pf}}$  (Zero power factor)
6. percobaan berbeban

Parameter generator sinkron yang diperlukan adalah  $X_s$  dan  $Z_s$  yang diperoleh dari percobaan beban nol dan hubung singkat, sedangkan tahanan jangkar  $R_a$  tidak diabaikan. Parameter ini diperlukan untuk mendapatkan tegangan beban nol untuk perhitungan regulasi tegangan.

Percobaan Menentukan Parameter Generator Tiga Fasa

4.1 Percobaan Pengukuran Tahanan Jangkar



Data Percobaan

Tabel 1. Data Percobaan Pengukuran Tahanan Jangkar

$V_{DC}$	$I_{DC}$
6,2	3,14

$$R_{DC} = \frac{3 V_{DC}}{2 I_{DC}} = \frac{3 \cdot 6,2}{2 \cdot 3,14} = 2,96 \Omega$$

Dikarenakan tahanan jangkar akan beroperasi pada tegangan AC maka  $R_{DC}$  harus dikali faktor koreksi yang harganya 1,1 s/d 1,5.

$$R_{AC} = 1,3 \times 2,96 = 3,84 \Omega$$

Dari karekteristik beban nol dan hubung singkat diatas, kita ambil salah satu nilai arus penguatan ( $I_f$ ), yaitu 120 mA karena pada nilai arus penguat ( $I_f$ ) = 120 mA nilai arus jangkar merupakan nilai arus nominal.

Dimana, ketika  $I_f = 120$  mA

$$V_t = 165 \text{ volt} \rightarrow \text{dari karakteristik beban nol (OCC)}$$

$$I_a = 5,1 \text{ A} \rightarrow \text{dari karakteristik hubung singkat (SCC)}$$

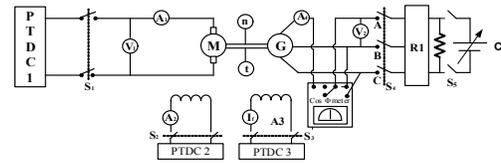
Maka, dapat diperoleh :

$$Z_s = \frac{V_t \text{ (open-circuit)}}{I_a \text{ (rated)}} = \frac{165}{5,1} = 32,35 \Omega$$

$$X_s = \sqrt{(Z_s^2 - R_a^2)}$$

$$X_s = \sqrt{(32,35)^2 - (3,84)^2}, X_s = 32,12 \Omega$$

4.2 Percobaan perbaikan faktor daya



Tabel 2 Data Percobaan Berbeban Sebelum Perbaikan Faktor Daya

$I_{a1}$ (A)	$V_{t1}$ (Volt)	Pout (Watt)	Torsi (Gram)	$\text{Cos}\phi_1$
1,6	99	197,5	150	0,72
1,8	90	207,6	150	0,74
2	92	229,4	150	0,72

Dari tabel (2) kita akan menentukan Nilai Kapasitor untuk perbaikan faktor Perbaikan Faktor Daya

Target faktor daya yang diinginkan adalah 0,8 dan 0,9 untuk setiap nilai arus beban yang digunakan sebagai objek pengambilan data.

- Target  $\text{Cos } \phi$  0,8 ;  $\phi = 36,86^\circ$

$$\Delta C_{\text{perphasa}} = \frac{\Delta Q}{3 V^2 2\pi f} \mu F$$

$$\begin{aligned} \Delta Q &= P \tan (\phi_1 - \phi_2) \text{ VAR} \\ &= 197 \tan (43,95^\circ - 36,86^\circ) \\ &= 24,5 \text{ VAR} \end{aligned}$$

$$\Delta C_{\text{perphasa}} = \frac{24,5}{3 \times 99^2 \times 2 \times 3,14 \times 50} = 2,65 \mu F$$

- Target  $\text{Cos } \phi$  0,9 ;  $\phi = 25,84^\circ$

$$\begin{aligned} \Delta Q &= P \tan (\phi_1 - \phi_2) \text{ VAR} \\ &= 197 \tan (43,95^\circ - 25,84^\circ) \\ &= 64,42 \text{ VAR} \end{aligned}$$

$$\Delta C_{\text{perphasa}} = \frac{64,42}{3 \times 99^2 \times 2 \times 3,14 \times 50} = 7 \mu F$$

Dari hasil perhitungan diatas maka dipakailah kapasitor yang dengan nilai  $4 \mu F$  dan  $8 \mu F$  untuk setiap arus beban yang telah ditentukan. yang ditunjukkan pada tabel 3

Tabel 3 data percobaan sebelum perbaikan faktor daya

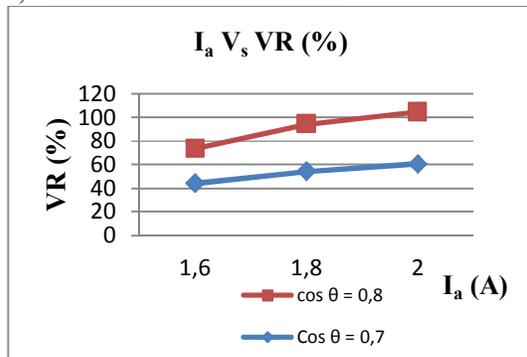
$I_a$ (A)	Sebelum Perbaikan Faktor Daya			
	$\text{Cos}\phi_1$	VR (%)	$\eta$ (%)	$P_{scl}$
1,6	0,72	43,9	87	29,5
1,8	0,74	54,2	84,97	37,3
2	0,72	60,4	83,27	46,08

Berikut ini akan dianalisis perbaikan faktor daya VR(voltage regulation), efisiensi daya dan cos  $\theta$  masing2 dengan kapasitor 4  $\mu$ F dan 8  $\mu$ F yangditunjukkan pada tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4 Data setelah perbaikan faktor daya

Setelah Perbaikan Faktor Daya			
VR (%)	$\eta$ (%)	$P_{sct}$	$\text{Cos}\phi_2$
29,6	90,87	18,28	0,81
40	88,4	31,36	0,84
44,15	87,4	36,5	0,85

Dari tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai VR dari 3 pembebanan yaitu beban resistif, induktif dan kapasitif dan dapat terlihat pada gambar 9 dimana pada saat cos  $\theta$  0,8 lebih baik dari pada 0,7 dikarenakan mendekati nol



Gambar 9 Kurva perbaikan faktor daya

4.3 Percobaan Zpf (Zero Power Factor)

Tabel 5 Data percobaan zero power factor

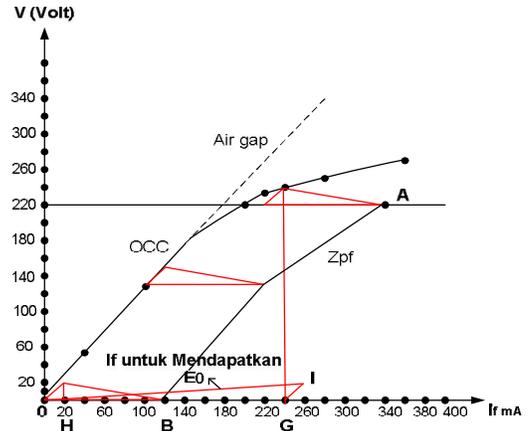
Cos $\phi$	$V_{\phi}$
1	210
0,7 Lag	193
0,9 Lead	235

Dari karakteristik beban nol dan karakteristik Zpf yang telah didapat, maka dapat digambarkan kurva segitiga potier dengan mengikuti langkah – langkah yang telah disebutkan pada bab sebelumnya. Dari data beban nol maka diperoleh OB = 0,12 A Dari data percobaan zero power factor diperoleh A = 0,34 A AD = OB

IG = OH dengan sudut

- 180 – (90 +  $\Theta$ ) (untuk beban lagging)
- 180 – (90 -  $\Theta$ ) (untuk beban leading)
- 90 (untuk beban unity)

Maka diperoleh kurva potier seperti Gambar (10) dibawah ini:



Gambar 10 Kurva Potier

Dari kurva diatas diperoleh nilai :

OG=0,24

IG=0,02

Beban Resistif, cos $\phi$  = 1

$$I_f = \frac{\sqrt{OG^2 + IG + 2(OG)(IG) \cos 90^\circ}}{\cos 90^\circ} = \frac{\sqrt{0,24^2 + 0,02^2 + 2(0,24)(0,02) \cos 90^\circ}}{0} = 0,24A$$

Dari karekteristik beban nol untuk mendapatkan E<sub>0</sub> dengan I<sub>f</sub> 0,24 A, E<sub>0</sub>= 239 V

$$VR = \frac{239 - 210}{210} \times 100\% = 13,8\%$$

Beban Induktif, Cos $\phi$  = 0,7 Lagging ,  $\phi$  = 45,57

$$I_f = \frac{\sqrt{OG^2 + IG + 2(OG)(IG) \cos \{180^\circ - (90^\circ + \Theta)\}}}{\cos \{180^\circ - (90^\circ + \Theta)\}}$$

$$= \frac{\sqrt{0,24^2 + 0,02^2 + 2(0,24)(0,02) \cos \{180^\circ - (90^\circ + 45,57)\}}}{0} = 0,25 A$$

Dari karekteristik beban nol untuk mendapatkan E<sub>0</sub> dengan I<sub>f</sub> 0,25 A dapat menggunakan metode interpolasi

dengan I<sub>f</sub> = 0,24 A maka diperoleh V = 239 Volt

I<sub>f</sub> = 0,26 A maka diperoleh V = 245 Volt

I<sub>f</sub> = 0,29 A

$$E_0 = 239 + \frac{250-260}{240-260} \times (245 - 239) = 242 V$$

$$VR = \frac{242 - 193}{193} \times 100\% = 25,38\%$$

Beban Kapasitif , Cos $\phi$  = 0,9 Lagging ,  $\phi$  = 25,84

$$I_f = \frac{\sqrt{OG^2 + IG + 2(OG)(IG) \cos \{180^\circ - (90^\circ - \Theta)\}}}{\cos \{180^\circ - (90^\circ - \Theta)\}} = \frac{\sqrt{0,24^2 + 0,02^2 + 2(0,24)(0,02) \cos \{180^\circ - (90^\circ - 25,84)\}}}{0} = 0,23 A$$

Dari karakteristik beban nol untuk mendapatkan  $E_0$  dengan  $I_f$  0,23 A dapat menggunakan metode interpolasi dengan:

$$I_f = 0,22 \text{ A maka diperoleh } V = 231 \text{ Volt}$$

$$I_f = 0,24 \text{ A maka diperoleh } V = 239 \text{ Volt}$$

$$I_f = 0,23 \text{ A}$$

$$E_0 = 231 + \frac{230-220}{240-220} \times (239 - 231) = 235 \text{ V}$$

$$VR = \frac{235 - 235}{235} \times 100 \% = 0 \%$$

Dari metode potier yang digunakan diperoleh regulasi tegangan dengan arus beban sebesar 5,1 A, Metode Potier Induktif : 25,38 % Resistif : 13,8 % Kapasitif : 0 %

## 5. Kesimpulan

Dari hasil percobaan dan analisis data yang telah dilakukan didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan nilai pembebanan yang sama, maka semakin baik faktor daya dari beban yang dilayani oleh generator sinkron maka semakin baik regulasi yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin baik faktor dayanya maka semakin kecil  $E_0$  yang dihasilkan dan semakin kecil tegangan yang diterima oleh beban.
2. Regulasi tegangan dengan menggunakan metode potier untuk beban resistif dan kapasitif nya mendapatkan hasil yang positif untuk beban induktif pada metode potier mendapat nilai yang paling kecil. namun metode potier merupakan metode yang paling akurat terhadap semua metode yang ada.

## 6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Drs.Djakaria Sebayang dan Ruslina Sembiring selaku orang tua penulis, Ir.A.Rachman Hasibuan selaku dosen pembimbing, juga Ir. Eddy Warman, Ir. Syamsul Amin, M.Si dan Ir.Surya Tarmizi Kasim M.si selaku dosen penguji penulis yang sudah membantu penulis dalam menyelesaikan paper ini, serta teman-teman penulis yang sudah memberikan dukungan selama pembuatan paper ini.

## 7. Daftar Pustaka

- [1]. Chapman, Stephen J, "*Electric Machinery Fundamentals*", 3rd Edition, Mc Graw – Hill Book Company, Singapore, 1999.
- [2]. Sumanto, DRS, "*Motor Listrik Arus Bolak-Balik*", Edisi Pertama, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, 1993.
- [3]. Thearaja B. L, "*A Teks-Book of Electrical Technology*", Nurja Construction & Development, New Delhi, 1989.
- [4]. Wijaya, Mochtar, "*Dasar-Dasar Mesin Listrik*", Penerbit Djembatan, Jakarta, 2001.
- [5]. Zuhul, "*Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*", Edisi Ke-5, Gramedia, Jakarta, 1995.
- [6]. Bimbira, P.S, "*Generalized Circuit Theory of Electrical Machines*", Khanna Publisher, India, 1975.