

Kenaikan Temperatur Pada Motor Induksi Tiga Fasa Akibat Rotor Terkunci

Syamsul Amien

Kepala Laboratorium Konversi Energi Listrik
Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Sumatera Utara

Abstrak— Motor Induksi merupakan jenis motor yang paling banyak digunakan pada Industri. Ketika rotor motor induksi tiga phase terkunci, arus yang mengalir dalam motor dapat melebihi lima kali arus beban penuh, sehingga panas yang dibuang tidak sebanding dengan panas yang dihasilkan, hal ini akan menyebabkan suhu stator dan rotor akan meningkat sangat cepat sehingga dapat menyebabkan ketahanan isolasi berkurang, dan dalam interval waktu tertentu dapat menyebabkan kerusakan isolasi tersebut. Penelitian ini akan menganalisis lamanya waktu penguncian pada motor induksi rotor belitan. Untuk mengetahui panas yang timbul, maka dilakukan pengujian terhadap motor induksi rotor belitan, dengan aplikasinya adalah motor induksi yang ada di Laboratorium Konversi Energi Listrik Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.

Kata Kunci : Motor induksi, Rotor Terkunci, Temperatur

I. PENDAHULUAN

Dalam pengoperasian motor induksi secara normal, maka panas yang dihasilkan tidak akan menyebabkan kenaikan temperatur yang berbahaya, karena arus yang mengalir pada belitan stator dan rotor tidak menghasilkan panas yang besar, selain itu sebagian panas yang dibuang masih sebanding dengan panas yang dihasilkan sehingga temperatur belitan tidak akan terlalutinggi.

Bila motor induksi dalam keadaan rotor terkunci maka arus yang mengalir pada motor dapat terjadi cukup besar, yaitu melebihi lima kali arus saat beban penuh, sehingga panas yang dibuang lebih kecil dibanding panas yang dihasilkan.

Hal ini akan menyebabkan temperature pada stator maupun rotor akan meningkat dengan sangat cepat sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada isolasi belitan motor.

A. Tujuan Penelitian

Untuk mengetahui besarnya kenaikan temperature yang terjadi pada motor induksi tiga fasa, bila rotor terkunci.

B. Batasan Masalah

- Motor induksi yang digunakan adalah motor induksi tiga fasa rotor belitan yang Ada pada laboratorium konversi energi listrik Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Tidak menganalisa gangguan dan harmonisa yang terjadi pada motor induksi dan sistem tenaga.
- Analisa dilakukan dalam kondisi steady state.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Motor Induksi Tiga Fasa

Pada dasarnya motor induksi atau motor AC (asinkron) menghasilkan daya mekanik yang digunakan untuk melayani beban, seperti menggerakkan mesin perkakas dan menjalankan peralatan tertentu, terutama digunakan dalam bidang industri, juga sebagai penggerak pompa berkapasitas besar dan lain-lain.

Beberapa kelebihan dari motor induksi, al :

- Perawatan/perbaikan hampir tidak diperlukan
- Memiliki ukuran fisik lebih kecil dibanding motor DC yang berkapasitas sama.
- Lebih murah dibandingkan motor DC.
- Motor mampu bekerja pada kecepatan di atas kecepatan yang tertera pada name-plate.
- Sederhana, konstruksinya kuat dan lebih murah.

Dalam Penelitian ini digunakan motor induksi tiga fasa rotor belitan dan sebagai bebannya adalah Motor Arus Searah.

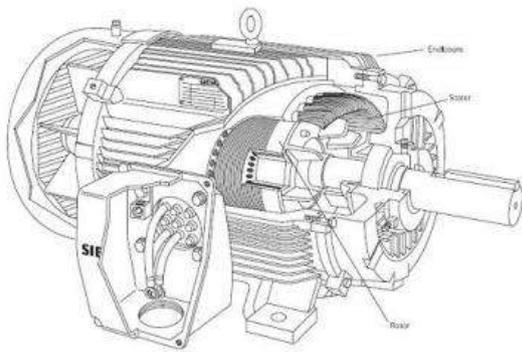
Motor induksi, dapat bekerja pada sistem tegangan suplai satu fasa maupun sistem tegangan suplai tiga fasa. Motor induksi satu fasa biasanya berkapasitas kurang dari 3 HP dan umumnya digunakan pada peralatan rumah tangga. Bila dengan daya yang sama ukuran fisik motor induksi satu fasa lebih besar dari pada motor induksi tiga fasa. Daya motor induksi tiga fasa lebih besar dan bisa mencapai beberapa ribu HP. Tetapi yang banyak digunakan adalah daya yang kurang dari 50 HP.

Berdasarkan jenis rotor maka motor induksi terbagi atas dua bagian yaitu motor rotor sankar dan motor rotor belitan. Penelitian ini

menggunakan motor induksi tiga fasa rotor belitan sebagaimana yang tersedia di Laboraturium konversi Energi Listrik USU, juga kenaikan temperatur yang lebih berpengaruh adalah terhadap isolasi belitan.

B. Konstruksi Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi tiga fasa memiliki konstruksi yang hampir sama dengan jenis motor listrik lainnya. Pada dasarnya terdapat dua bagian, yaitu stator, adalah bagian yang tidak bergerak (berputar) dan rotor, bagian yang bergerak. Rotor letaknya terpisah dari stator dengan adanya celah udara (gap) yang besarnya antara 0.4mm sampai 4mm, tergantung dari besarnya daya motor tersebut.



Gambar 1. Potongan motor induksi

C. Prinsip Kerja Motor Induksi

Pada saat terminal stator, motor induksi diberi suplai tegangan tiga fasa seimbang maka akan mengalir arus pada setiap konduktor belitan fasa stator dan akan menghasilkan fluksi bolak-balik. Amplitudo fluksi per fasa yang dihasilkan berubah secara sinusoidal dan menghasilkan fluks resultan (medan putar) dan magnitud yang dihasilkan nilainya konstan dengan kecepatan sinkronnya :

$$N_s = 120 f/p$$

Dimana,

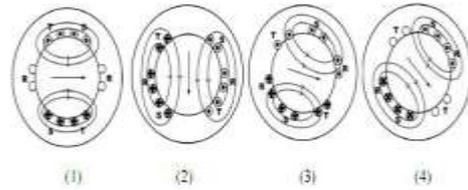
Ns = kecepatan sinkron/medan putar (rpm)

f = frekuensi suplai (Hz)

P = jumlah kutub motor induksi

Medan putar yang terjadi akan menghasilkan ggl induksi (ggl lawan) pada belitan stator dan medan putar tersebut juga memotong konduktor-konduktor belitan rotor yang diam sehingga terjadilah perbedaan relatif antara kecepatan fluksi yang berputar dengan konduktor rotor yang diam, perbedaan ini disebut slip (s).

Akibat adanya slip, maka ggl (gaya gerak listrik) akan terinduksi pada konduktor-konduktor rotor.



Gambar 2. Proses Induksi Medan Putar Stator Pada Kumparan Rotor

Karena belitan rotor merupakan rangkaian tertutup, baik melalui cincin ujung (end ring) ataupun tahanan luar, maka arus akan mengalir pada konduktor rotor. Karena pada konduktor rotor arus yang mengalirkan arus berada dalam daerah medan magnet yang dihasilkan stator, maka akan terbentuk gaya mekanik (gaya Lorentz) pada konduktor-konduktor rotor. Hal ini sesuai dengan hukum gaya Lorentz yaitu bila suatu konduktor yang dialiri arus berada dalam suatu kawasan medan magnet, maka konduktor tersebut akan mendapat gaya F sebesar:

$$F = B \cdot I \cdot L \quad (\text{dalam Newton})$$

Dimana,

F= gaya yang bekerja pada konduktor (Newton)

B= rapat fluks magnetic (webber)

I = Besar arus pada konduktor (Ampere)

L = Panjang Konduktor (Meter)

Gaya F ini bekerja pada permukaan lingkaran rotor dan akan memutar rotor. Arah dari gaya elektromagnetik tersebut adalah sesuai dengan kaidah tangan kanan (right hand rule), yang menyatakan bahwa jika jari telunjuk menentukan arah arus I, jari tengah menunjukkan arah kerapatan fluks B, dan ibu jari menyatakan arah gaya F yang timbul/bekerja pada konduktor rotor.

Gaya F pada konduktor-konduktor rotor tersebut akan menghasilkan torsi (T). Bila torsi mula yang dihasilkan pada rotor lebih besar dari torsi beban (T₀>T_b), maka rotor akan berputar searah dengan perputaran medan putar stator.

Seperti yang telah disebutkan diatas, motor akan tetap berputar bila kecepatan medan putar lebih besar dari pada kecepatan rotor (ns > nr). Apabila ns = nr, maka tidak ada perbedaan relatif antara kecepatan medan putar (ns) dengan putaran rotor, atau dengan kata lain slip (s) adalah nol. Hal ini menyebabkan tidak adanya ggl terinduksi pada kumparan rotor sehingga tidak ada arus yang mengalir, dengan demikian tidak akan dihasilkan gaya yang dapat menghasilkan kopel untuk memutar rotor.

D. Kenaikan Temperatur / Rotor Terkunci

Pada motor induksi rotor belitan, panas yang timbul biasanya diakibatkan oleh rugi-rugi yang terjadi pada sistem dalam motor itu sendiri. Sumber panas yang paling utama adalah rugi-rugi pada konduktor kumparan stator dan rotor yang dialiri arus. Sedangkan panas yang timbul pada inti, casing stator, celah udara dipermukaan rotor maupun bagian lainnya merupakan hasil dari perpindahan panas belitan rotor maupun belitan stator dengan cara konduksi, konveksi maupun radiasi. Pada motor induksi rotor sangkar, bagian yang perlu diperhatikan dalam hal hubungan panasnya adalah bagian stator, karena pada bagian stator terdapat belitan yang memiliki batas ketahanan terhadap temperature yang jauh lebih rendah dibandingkan pada rotor. Sehingga pada motor induksi rotor sangkar, panas yang perlu diperhatikan biasanya pada bagian stator.

Kenaikan panas pada motor induksi rotor sangkar umumnya dipengaruhi oleh beberapa factor yaitu : Jenis pendinginan, Perpindahan panas, Temperatur lingkungan dan besarnya beban.

E. Kenaikan Temperatur Pada saat Rotor Terkunci

Pada saat motor induksi berada dalam keadaan rotor terkunci maka arus yang di supply ke motor induksi dapat mencapai lima kali arus nominal. Dalam keadaan block rotor maka keseluruhan daya yang di supply ke motor akan diubah menjadi panas, hal ini dapat menyebabkan kenaikan temperatur yang sangat cepat dibandingkan pada saat motor bekerja dengan beban penuh. Sehingga komponen-komponen motor seperti isolasi, konduktor belitan stator, inti, konduktor rotor akan mengalami kenaikan temperatur yang sangat cepat. Karena kenaikan temperatur berlangsung cepat, maka dalam waktu tertentu dapat menyebabkan kerusakan seperti :

- a. Memperpendek umur isolasi.
- b. Merusak isolasi belitan.
- c. Merusak sambungan antar belitan konduktor
- d. Menyebabkan kumparan stator terbakar.

Besarnya daya masukan pada motor pada saat block rotor tergantung pada tegangan supply dan rancangan parameter dari motor tersebut. Panas dalam stator pada saat terjadi block rotor dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$H_{br} = I_{br}^2 \cdot R_1$$

Dimana :

- H_{br} = Panas yang timbul saat block rotor (watt)
- I_{br} = Besarnya arus block rotor (Ampere)
- R_1 = Tahanan belitan stator per phasa (ohm)

Untuk selang waktu tertentu maka hubungan panas pada saat block rotor dengan energi yang dibutuhkan untuk menaikkan panas dilihat pada persamaan:

$$H_{br} \cdot t_{br} = \emptyset \cdot C$$

Dimana :

- t_{br} = lamanya block rotor (detik)
- C = Kapasitas panas belitan stator (Watt.s/m.°C)
= $W \cdot \gamma$
- γ = Panas spesifik belitan (Watt.s/Kg.m.°C)
- W = Berat belitan Stator (Kg)
- \emptyset = Kenaikan temperatur (°C)

Dari persamaan diatas dapat diketahui kenaikan temperatur motor induksi yaitu :

$$\emptyset = \frac{I_{br}^2 \cdot R \cdot t_{br}}{w \cdot \gamma}$$

Dan lamanya waktu aman terjadinya block rotor adalah :

$$t_{br} = \frac{\emptyset \cdot W \cdot \gamma}{I_{br}^2 \cdot R}$$

F. Analisa Kenaikan Temperatur Pada Motor Induksi Tiga Phase Akibat Rotor Terkunci.

Untuk menganalisa kenaikan temperatur motor induksi pada keadaan block rotor maka perlu dilakukan pengukuran parameter motor induksi. Yaitu dengan melakukan percobaan-percobaan sebagai berikut : percobaan tahanan DC, percobaan beban nol, dan rotor tertahan (block rotor), kemudian besar nilai tahanannya dapat dihitung.

Percobaan tahanan DC adalah mengukur besarnya tahanan DC pada kumparan motor, yaitu percobaan tertahan (block rotor) digunakan untuk mendapatkan nilai tahanan rotor, reaktansi stator dan rotor. Pada percobaan beban nol digunakan untuk mendapatkan nilai tahanan inti dan reaktansi magnetic X_m .

Setelah mendapatkan parameter parameter tersebut kemudian diperlukan data lain untuk dapat menghitung kenaikan temperatur, yaitu nilai tahanan dan kenaikan temperatur yang didapatkan dari pengukuran besaran hambatan pada belitan stator.

Temperatur awal sesaat sebelum block rotor menggunakan dua acuan yaitu temperatur belitan sama dengan temperatur ruangan yaitu 40°C atau yang disebut dengan motor dalam keadaan dingin dan temperatur belitan sama dengan temperatur dari kelas isolasi motor atau yang disebut motor dalam keadaan panas. Dalam analisa ini, motor dianggap beroperasi pada temperatur lingkungan sekitar 40°C.

G. Peralatan Yang Digunakan

Dalam hal ini digunakan sebuah motor induksi tiga fasa rotor belitan dan percobaan yang dilakukan hanya mencari parameter motor dan tahanan belitan motor tersebut.

Adapun spesifikasi motor dan peralatan yang digunakan adalah :

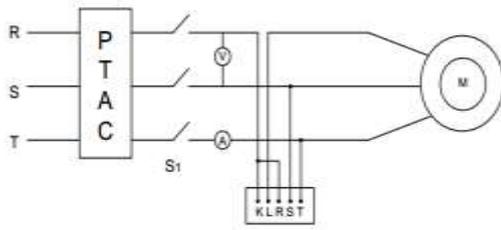
- Motor induksi tiga fasa
- Tipe : rotor belitan
- Spesifikasi : AEG Type C Am 112MU4RI 2.2 Kw, Cos ϕ 0.67
- Δ/Y 220/360 V;10.7/6.2 Amp
- Type isolasi B – 1500 Rpm, 50 Hz

Data generator DC

- Tipe : GF 110/140
- Nomor seri : 7983731
- Tegangan nominal : 220 V
- Arus jangkar : 9.1 A
- Arus medan : 0,64 A
- Kecepatan nominal :1500 Rpm
- Daya output : 2,0 KW
- Tegangan hubung singkat : 98 Volt
- Arus hubung singkat : 6,2 A
- Frekuensi : 50 Hertz

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

A. Percobaan Beban Nol



Gambar 3. Rangkaian Percobaan beban nol

Tabel 1. Data hasil percobaan

Vo (Volt)	Io (ampere)	Po (Watt)
350	3,33	300

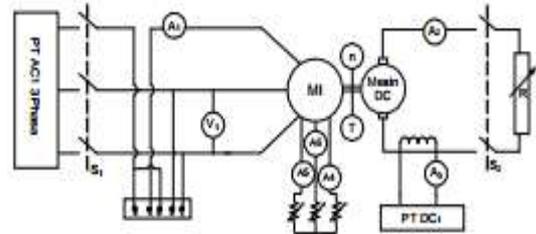
Analisa data :

$$\begin{aligned} \phi_0 &= \text{Cos}^{-1} \frac{P_o}{V \cdot I_o} \\ &= \text{Cos}^{-1} \frac{300}{350 \cdot 3,33} \\ &= \text{cos}^{-1} \frac{100}{672,92} = 81,95^\circ \\ E_1 &= V_{NL} < 0^\circ - (I_o < \phi_0) (R_1 + jX_1) \\ &= \frac{350}{\sqrt{3}} < 0^\circ - (3,33 < 81,75^\circ)(1,842 + j3,061) \\ &= \frac{350}{\sqrt{3}} < 0^\circ - (3,33 < 81,75^\circ)(3,572 < 58,96^\circ) \\ &= 203,488 - (6,9025 < 22,79) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 203,488 - (6,36 < j2,673) \\ &= 197,128 + j2,673 \\ &= 197,128 < 0,77^\circ \text{ volt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_c &= \frac{197,13^2}{\frac{300}{3}} \\ &= 388,61 \text{ ohm} \end{aligned}$$

B. Percobaan Block Rotor



Gambar 4. Rangkaian Percobaan block rotor

Tabel 2. Data hasil percobaan

Phasa	Vdc (Volt)	I _{dc} (Ampere)	R _{rotor} (ohm)
k-m	2,38	3,4	0,42

Analisa Data

$$\begin{aligned} Z_{br} &= \frac{V_{br}}{\sqrt{3} I_{BR}} \\ &= \frac{575}{\sqrt{3} (9,8)} \\ &= 9,125 \text{ ohm} \\ \theta^\circ &= \text{cos}^{-1} \frac{575}{\sqrt{3} (9,8 \times 6,2)} \\ \phi_{Br} &= 57^\circ \\ X_{br} &= \frac{F_1}{F_{br}} [\text{Sin } \phi_{br} \times Z_{br}] \\ &= \frac{50}{50} [\text{sin } 57^\circ \times 9,125] \\ &= 7,625 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{br} &= \frac{575}{6,2^2} \\ &= \frac{191}{38,44} \\ &= 4,98 \text{ Ohm} \end{aligned}$$

$$R_2^i = R_{br} - R_1 = 3,14 \text{ ohm}$$

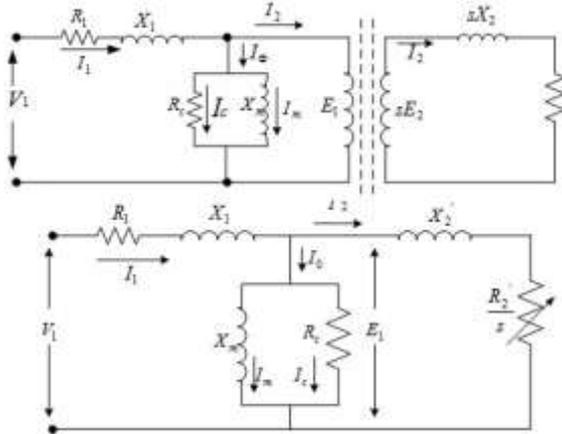
Karena motor merupakan desain Kelas B sehingga besarnya nilai X_s dan X_r adalah :

$$\begin{aligned} X_1 &= 0,4 (X_{br}') \\ &= 0,4(7,652) \\ &= 3,061 \text{ ohm} \end{aligned}$$

Besarnya nilai X_2' adalah :

$$\begin{aligned} X_2' &= 0,6 (7,652) \\ &= 4,591 \text{ ohm} \end{aligned}$$

C. Rangkaian Ekuivalen Motor Induksi



Gambar 5. Rangkaian ekuivalen motor induksi

Dari perhitungan didapat :

$$Z_{ek} = 9.3411 < 40.698^\circ$$

Besarnya arus yang mengalir pada belitan stator pada saat terjadi blok rotor dengan supply tegangan nominal adalah :

$$I_{br} = \frac{220 < 0^\circ}{9.3411 < 40.698}$$

$$= 23.55 \text{ A}$$

D. Analisa Lama Waktu Rotor Terkunci Terhadap Kenaikan Temperatur

Besarnya arus pada saat block rotor dipengaruhi oleh besarnya tegangan masukan ke motor, dimana besar arus tersebut akan menentukan lamanya waktu block rotor tersebut. Oleh karenanya perlumenganalisa lamanya waktu block rotor untuk suatu supply tegangan yang dapat merubah dan menaik-kan temperatur dalam waktu yang cukup singkat, sehingga perlakuan atau kejadian block rotor dapat diantisipasi sejak awal.

Spesifikasi motor yang digunakan adalah :

- Berat belitan keseluruhan : 1.2 Kg
- Berat belitan perphasa : 0.4 Kg
- Kelas isolasi : B
- Temperatur maksimal : 205⁰c
- Arus pada saat block rotor : 23.55 Ampere
- Tahanan stator perphasa : 1.842 ohm
- $\gamma = 380 \text{ Watt.s/Kg.m.}^{-0}\text{c}$

Menghitung kenaikan temperatur digunakan rumus :

$$\Delta \theta = \frac{I_{br}^2 \cdot R \cdot t_{br}}{w \cdot \gamma}$$

Untuk $t = 1$; $I_{br} = 23.55$; $V = 220 \text{ V}$

$$\Delta \theta = \frac{23.55^2 \cdot 1.842 \cdot 1}{0.4 \cdot 380}$$

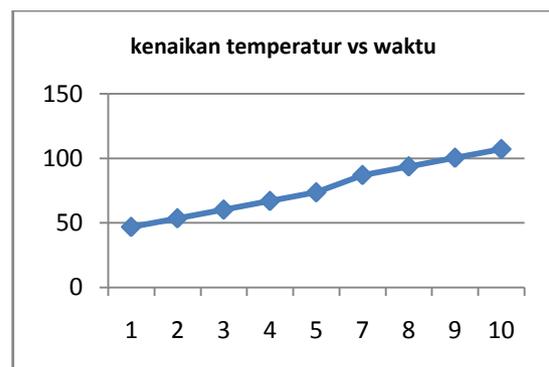
$$= 67.2^\circ\text{C}$$

Tabel 3. Data hasil percobaan

Lama waktu block rotor (sekon)	Kenaikan temperature ⁰ C	Temperature ⁰ C
1	6.72	46.72
2	13.44	53.44
3	20.16	60.16
4	26.88	66.88
5	33.6	73.6
7	47.04	87.04
8	53.76	93.76
9	60.48	100.48
10	67.2	107.2

Untuk tegangan 220 V ; I = 23.55 ; R = 1.842 ohm Makalamanya waktu block rotor dihitung sebagai berikut :

$$t_{br} = \frac{\phi \cdot W \cdot \gamma}{I_{br}^2 \cdot R} = 29,996 = 30 \text{ detik}$$



Gambar 6. Grafik kenaikan temperatur vs waktu

IV. KESIMPULAN

1. Untuk motor belitan dengan daya 2,2 KW dan kelas Isolasi B apabila di supply dengan tegangan nominal, maka arus blok rotornya adalah 23,55 A

2. Dari hasil perhitungan didapat semakin lama rotor diblok maka temperatur akan semakin meningkat
3. Kurva karakteristik kenaikan temperatur terhadap waktu block rotor merupakan fungsi linear
4. Untuk motor rotor belitan dengan daya 2,2 Kw, Cos ϕ 0,82 dan kelas isolasi B apabila di supply dengan tegangan nominal 220 volt, maka waktu maksimal terjadinya block rotor agar tidak merusak isolasi motor adalah 30 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chapman Stephen J, 1999, *Electric Machinery Fundamental*, Third edition, New York : Mc Graw-HillCompaniel.
- [2] Chi J. N. C. 1982, *Locked-rotor temperature Test repeatability-small impedance protected motor*. Dalam IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, USA.
- [3] Fitzgerald, A. E, Charles, Kingsley Jr, Stephen D. Umans, 1984, *Mesin-Mesin Listrik*, Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
- [4] Hasugian, Fritz, D, P. 13 Mei 2011, *Analisa Lamanya Waktu Block Rotor yang aman*. Universitas Sumatera Utara, Medan
- [5] Lance Grainer dan Michael C.Mc Donald, 1997, *Increasing Refinery production by using motor thermal capacity for protection and control*. IEEE Transactions on Industry Application, Vol.33, No.3, May/June Page 858.
- [6] Verardi, Marcelo, Samuel Santos, Jonny Carlos, 2005, *Transient Thermal Anlysis of an Induction Motor*. Dalam 18th International Congress of Mechanical Engineer, Ouro Petro.
- [7] Wijaya Mochtar, 2001, *Dasar-Dasar Mesin Listrik*, Djambatan.
- [8] Walker, J. D dan S. Williamson, 1992, *Temperature rise in induction motor under stall condition*, Dalam IEE Colloquium on thermal aspect of machines,959-962, Boston, USA.
- [9] Zocholl, Stanley. E. *Comparing Motor Thermal Models*. Schweizher Eng. Laboratories, Inc. Pullman. USA
- [10] Zuhail, 1995, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elokrinaka Daya*, Edisi Kelima, Penerbit Gramedia, Jakarta.