

PENGARUH PENGGULUNGAN ULANG (REWINDING) STATOR TERHADAP KINERJA MOTOR INDUKSI

M. Suparlan

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
Jalan Raya Palembang – Prabumulih Km. 32 Indralaya Ogan Ilir Sumatera Selatan 30662

ABSTRAK

Motor induksi menempati peranan penting dalam sebuah industri atau pabrik, karena dengan mesin-mesin listrik ini dapat memudahkan pelaksanaan produksi Motor induksi yang bekerja secara terus menerus di dalam proses di suatu industri tentunya akan mengalami penurunan efektifitas bahkan mengalami kerusakan-kerusakan.

Kerusakan-kerusakan tersebut umumnya bisa disebabkan oleh tiga faktor yaitu faktor lingkungan, mekanikal, elektrik. Khusus kerusakan dari segi elektrik sebagian besar terletak pada lilitan (winding) dimana pada winding tersebut bila suatu motor yang kelebihan beban (overload) dan dioperasikan terus menerus akan menyebabkan winding tersebut terbakar.

Penggulungan ulang untuk motor yang terbakar sudah umum dilakukan oleh industri. Penggulungan ulang (rewinding) motor induksi dapat menurunkan efisiensi dari hasil perhitungan diperoleh penurunan efisiensi dari 92,7% menjadi 85,22 %, akibatnya kinerja (performance) motor induksi menurun dibandingkan sebelum digulung ulang, hal ini disebabkan oleh teknik penggulangan, material konduktor, jenis dan kinerja pengisolasian, dan suhu operasi.

Penggulungan ulang motor induksi sebaiknya memilih material konduktor dan jenis isolasi yang baik, ukurlah diameter kawat dengan teliti, total penampang dan jumlah lilitannya jangan dikurangi. Perubahan penampang dan jumlah lilitan sangat mempengaruhi perubahan tahanan winding yang selanjutnya mengubah kinerja motor.

Kata Kunci: *winding, overload, rewinding, performance*

I. PENDAHULUAN

Mesin – mesin listrik menempati peranan penting dalam sebuah industri atau pabrik, karena dengan mesin-mesin listrik ini dapat memudahkan pelaksanaan produksi dan waktu yang digunakan dalam proses industri menjadi lebih singkat. Adapun mesin listrik itu seperti motor induksi yang prinsip kerjanya dengan cara mengubah energi listrik menjadi energi gerak (mekanik), yang mana bekerja secara terus menerus di dalam proses di suatu industri tentunya akan mengalami penurunan efektifitas bahkan mengalami kerusakan-kerusakan.

Kerusakan-kerusakan tersebut umumnya bisa disebabkan oleh tiga faktor yaitu faktor lingkungan (environmental), mekanikal, elektrik. Khusus kerusakan dari segi elektrik sebagian besar terletak pada lilitan (winding) dimana pada winding tersebut bila suatu motor yang kelebihan beban (overload) dan dioperasikan terus menerus akan menyebabkan

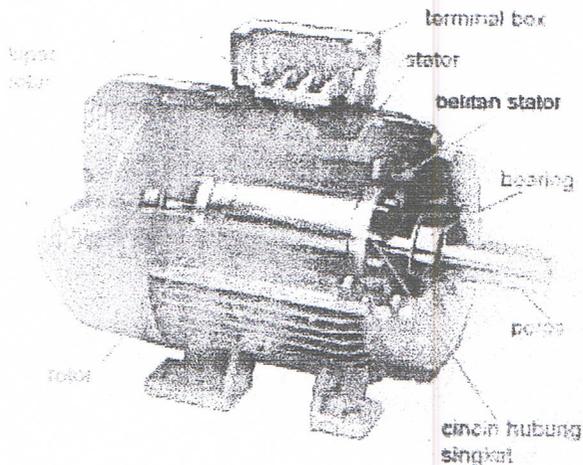
winding tersebut terbakar, dengan kondisi seperti ini diwajibkan mengganti winding yang baru.

Penggulungan ulang untuk motor yang terbakar sudah umum dilakukan oleh industri. Jumlah motor yang sudah digulung ulang di beberapa industri lebih dari 50% dari jumlah total motor. Penggulungan ulang motor yang dilakukan dengan hati-hati kadangkala dapat menghasilkan motor dengan efisiensi yang sama dari sebelumnya. Penggulungan ulang dapat mempengaruhi sejumlah faktor yang berdampak terhadap menurunnya efisiensi motor, yang antara lain cara penggulangan, bahan gulungan, kinerja pengisolasi, dan suhu operasi.

Tujuan dari pembahasan ini adalah untuk memahami tentang kinerja motor setelah digulung ulang (rewinding).

II. TINJAUAN PUSTAKA

Motor induksi merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Dari berbagai motor listrik yang ada, motor induksi merupakan jenis motor arus bolak-balik yang paling banyak digunakan. Hal ini disebabkan motor induksi memiliki konstruksi yang kuat dan karakteristik kerja yang baik.



Gambar 2.1 Fisik Motor Induksi

Beberapa kelebihan dari motor induksi adalah :

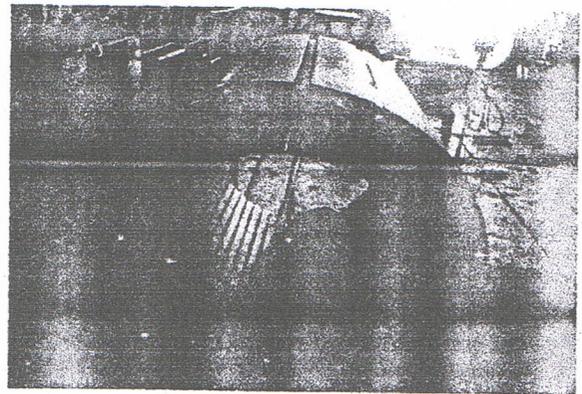
1. Bentuknya sederhana, dengan konstruksi yang cukup kuat.
2. Biayanya murah dan dapat diandalkan.
3. Efisiensinya tinggi dan pada keadaan normal tidak memerlukan sikat,
4. sehingga rugi-rugi gesekan dapat dikurangi.
5. Perawatan yang minimum.

Namun disamping itu, motor ini tetap memiliki kelemahan, di antaranya adalah:

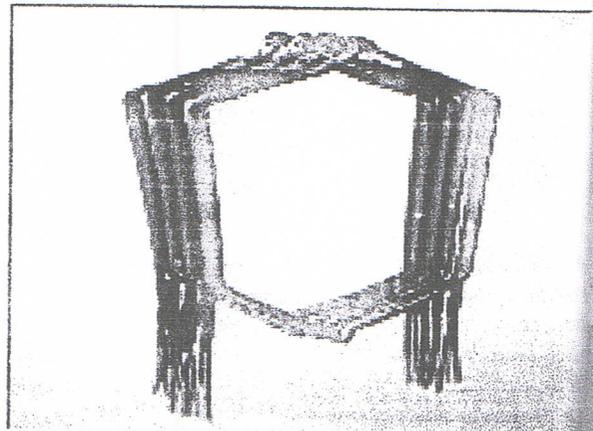
1. Pengaturan kecepatannya berpengaruh pada efisiensinya.
2. Kecepatan akan berkurang jika bebannya bertambah.
3. Kopel mulanya lebih rendah daripada mesin arus searah paralel.

Disebut motor induksi, karena motor ini bekerja dengan adanya arus yang terinduksi sebagai akibat dari adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan magnet berputar yang dihasilkan oleh arus stator. Motor induksi ini terdiri dari dua jenis, yaitu motor induksi dengan rotor belitan dan motor induksi dengan rotor sangkar.

Konstruksi motor induksi secara detail terdiri atas dua bagian, yaitu: bagian stator dan bagian rotor. Pada dasarnya belitan stator motor induksi tiga fasa sama dengan belitan motor sinkron. Konstruksi statornya belapis-lapis dan mempunyai alur untuk melilitkan kumparan. Stator mempunyai tiga buah kumparan, ujung-ujung belitan kumparan dihubungkan melalui terminal untuk memudahkan mempunyai beberapa buah kutub, jumlah kutub ini menentukan kecepatan motor tersebut. Semakin banyak jumlah kutubnya maka putaran yang terjadi semakin rendah.



Gambar 2.2 Stator

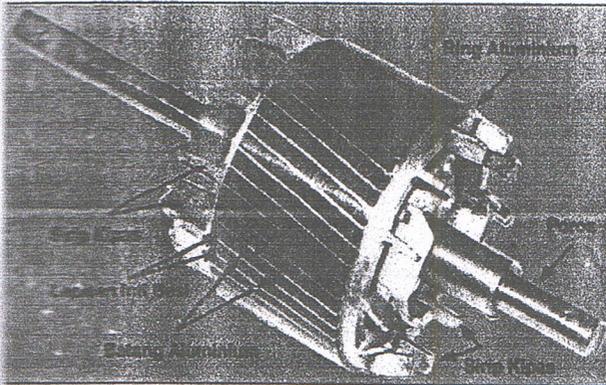


Gambar 2.3 Lilitan Motor Induksi

Motor Induksi bila ditinjau dari rotornya terdiri atas dua tipe yaitu rotor sangkar dan rotor lilit. Motor induksi jenis rotor sangkar lebih banyak digunakan daripada jenis rotor lilit, sebab rotor sangkar mempunyai bentuk yang sederhana. Belitan rotor terdiri atas batang penghantar yang ditempatkan di dalam alur rotor. Batang penghantar ini terbuat dari tembaga alloy atau aluminium. Ujung-ujung batang penghantar

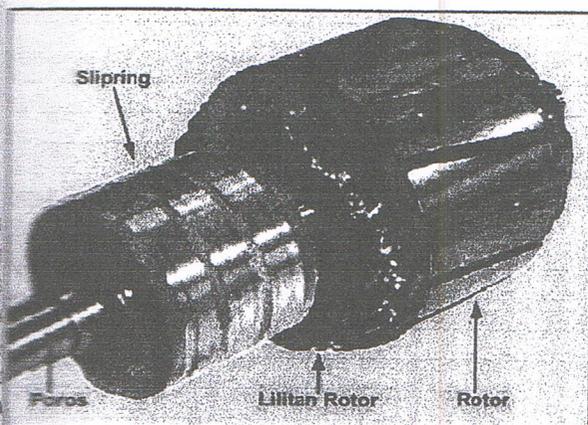
atas dua
otor. Pada
fasa sama
statornya
melilitkan
kumparan,
n melalui
beberapa
kecepatan
kutubnya

dihubung singkat oleh cincin penghubung singkat, sehingga berbentuk sangkar burung. Motor induksi yang menggunakan rotor ini disebut Motor Induksi Rotor Sangkar. Karena batang penghantar rotor yang telah dihubungkan singkat, maka tidak dibutuhkan tahanan luar yang dihubungkan seri dengan rangkaian rotor pada saat awal berputar. Alur-alur rotor biasanya tidak dihubungkan sejajar dengan sumbu (poros) tetapi sedikit miring.



Gambar 2.4 Rotor Sangkar

Rotor lilit terdiri atas belitan fasa banyak, belitan ini dimasukkan ke dalam aluralur inti rotor. Belitan ini sama dengan belitan stator, tetapi belitan selalu dihubungkan secara bintang. Tiga buah ujung-ujung belitan dihubungkan ke terminal-terminal sikat/cincin seret yang terletak pada poros rotor. Pada jenis rotor lilit kita dapat mengatur kecepatan motor dengan cara mengatur tahanan belitan rotor tersebut. Pada keadaan kerja normal sikat karbon yang berhubungan dengan cincin seret tadi dihubungkan singkat. Motor induksi rotor lilit dikenal dengan sebutan Motor Induksi Slipring atau Motor Induksi Rotor Lilit.



Gambar 2.5 Rotor Lilit

Konstruksi motor induksi tidak ada bagian rotor yang bersentuhan dengan bagian stator, karena dalam motor induksi tidak komutator dan sikat arang.

Konstruksi motor induksi lebih sederhana dibandingkan dengan motor DC, dikarekan tidak ada komutator dan tidak ada sikat arang. Sehingga pemeliharaan motor induksi hanya bagian mekanik saja, dan konstruksinya yang sederhana motor induksi sangat handal dan jarang sekali rusak secara elektrik. Bagian motor induksi yang perlu dipelihara rutin adalah pelumasan bearing, dan pemeriksaan kekencangan baut-baut kabel pada terminal box karena kendur atau bahkan lepas akibat pengaruh getaran secara terus-menerus.

Rumus menghitung daya input motor induksi :

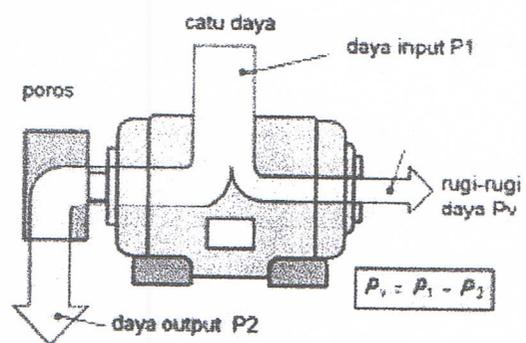
$$P_1 = \sqrt{3} \cdot UI \cdot \cos \varphi \text{ (Watt)}$$

dimana :

- P₁ : Daya input (Watt)
- U : Tegangan (Volt)
- I : Arus (Ampere)
- cos φ : Faktor kerja

2.1 Rugi-Rugi dan Efisiensi Motor Induksi

Motor induksi (Gambar 2.9) memiliki rugi-rugi yang terjadi karena dalam motor induksi terdapat komponen tahanan tembaga dari belitan stator dan komponen induktor belitan stator. Pada motor induksi terdapat rugi-rugi tembaga, rugi inti, dan rugi karena gesekan dan hambatan angin.



Gambar 2.9 Rugi-rugi Daya Motor Induksi

Besarnya rugi tembaga sebanding dengan $I^2 \cdot R$, makin besar arus beban maka rugi tembaga makin besar juga. Daya input motor sebesar P₁, maka daya yang diubah menjadi daya output sebesar P₂.

ksi

rdiri atas dua
Motor induksi
kan daripada
punyai bentuk
atas batang
li dalam alu
dari tembaga
ng penghanta

Motor Induksi

Tabel 2.1 Persentase besarnya rugi-rugi yang ada pada motor induksi.

Jenis Kehilangan Energi	Persentase Kehilangan Total (100%)
Rugi-rugi tetap atau kehilangan inti	25
Rugi-rugi variabel: kehilangan stator I^2R	34
Rugi-rugi variabel: kehilangan rotor I^2R	21
Rugi-rugi gesekan & penggulangan ulang	15
Rugi-rugi beban yang menyimpang	5

Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai "perbandingan keluaran daya motor yang digunakan terhadap keluaran daya totalnya." Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah:

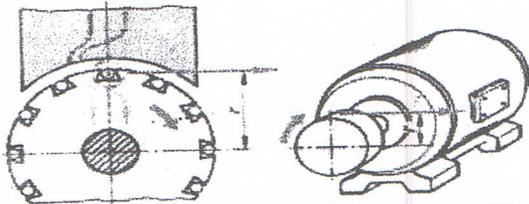
- Usia. Motor baru lebih efisien daripada motor lama
- Kapasitas. Sebagaimana pada hampir kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya.
- Kecepatan. Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
- Suhu. Motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total (TEFC) lebih efisien daripada motor screen protected drip-proof (SPDP)
- Penggulangan ulang motor dapat mengakibatkan penurunan efisiensi
- Beban, seperti yang dijelaskan dibawah

Persamaan menghitung rugi-rugi motor induksi:
Rugi-rugi motor = $P_1 - P_2$

Persamaan menghitung efisiensi motor induksi:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\%$$

dimana : P_1 = Daya input (watt)
 P_2 = Daya output (watt)



Gambar 2.10 Torsi motor pada rotor dan poros

Menghitung momen torsi yang dihasilkan motor induksi lihat Gambar 2.10.

$$M = F \cdot r \text{ (Nm)}$$

$$P_2 = M \cdot \omega \text{ (Watt)}$$

$$\omega = 2 \pi \cdot n$$

dimana :

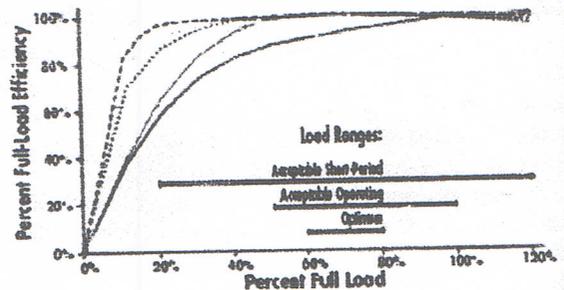
M = Torsi (Nm)

P_2 = Daya output (watt)

ω = Kecepatan sudut putar

n = Kecepatan motor (putaran/detik)

Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100% dan akan paling efisien pada beban 75%. Tetapi, jika beban turun dibawah 50% efisiensi turun dengan cepat seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4. Mengoperasikan motor dibawah laju beban 50% memiliki dampak pada faktor dayanya. Efisiensi motor yang tinggi dan faktor daya yang mendekati 1 sangat diinginkan untuk operasi yang efisien dan untuk menjaga biaya rendah untuk seluruh pabrik, tidak hanya untuk motor.



0-1 hp	10 hp	30-60 hp
1.5-5 hp	15-25 hp	75-100 hp

Gambar 2.11. Efisiensi Motor Beban Sebagian (sebagai fungsi dari % efisiensi beban penuh)

Untuk alasan ini maka dalam mengkaji kinerja motor akan bermanfaat bila menentukan beban dan efisiensinya. Pada hampir kebanyakan negara merupakan persyaratan bagi pihak pembuat untuk menuliskan efisiensi beban penuh pada pelat label motor. Namun demikian, bila motor beroperasi untuk waktu yang cukup lama, kadang-kadang tidak

motor mungkin untuk mengetahui efisiensi tersebut sebab pelat label motor kadangkala sudah hilang atau sudah dicat. Untuk mengukur efisiensi motor, maka motor harus dilepaskan sambungannya dari beban dan dibiarkan untuk melalui serangkaian uji.

II. PEMBAHASAN

Penggulungan ulang untuk motor yang terbakar sudah umum dilakukan oleh industri. Jumlah motor yang sudah digulung ulang di beberapa industri lebih dari 50% dari jumlah total motor. Pegulungan ulang motor yang dilakukan dengan hati-hati kadangkala dapat menghasilkan motor dengan efisiensi yang sama dengan sebelumnya. Pegulungan ulang dapat mempengaruhi sejumlah faktor yang berkontribusi terhadap memburuknya efisiensi motor: cara penggulungan, bahan gulungan, kinerja pengisolasi, dan suhu operasi. Sebagai contoh, bila panas diterapkan pada pita gulungan lama maka pengisolasi diantara laminasinya dapat rusak, sehingga meningkatkan kehilangan arus eddy. Perubahan dalam celah udara dapat mempengaruhi faktor daya dan keluaran torque.

Walau begitu, jika dilakukan dengan benar, efisiensi motor dapat terjaga setelah dilakukan pegulungan ulang dan dalam beberapa kasus, efisiensi bahkan dapat ditingkatkan dengan cara mengubah desain pegulungan. Dengan menggunakan kawat yang memiliki penampang lintang yang lebih besar, ukuran slot yang diperbolehkan, akan mengurangi rugi-rugi stator sehingga akan meningkatkan efisiensi. Walau demikian, direkomendasikan untuk menjaga desain motor orisinil selama pegulungan ulang, kecuali jika ada alasan yang berhubungan dengan beban spesifik untuk mendesain ulang. Dampak dari pegulungan ulang pada efisiensi motor dan faktor daya dapat dikaji dengan mudah jika kehilangan motor tanpa beban diketahui pada sebelum dan sesudah pegulungan ulang. Informasi kehilangan tanpa beban dan kecepatan tanpa beban dapat ditemukan pada dokumentasi motor yang diperoleh pada saat pembelian. Indikator keberhasilan pegulungan ulang adalah perbandingan arus dan tahanan stator tanpa beban per fase motor yang digulung ulang dengan arus dan tahanan stator orisinil tanpa beban pada tegangan yang sama.^[5]

Pada saat menggulung ulang motor perlu mempertimbangkan hal-hal berikut:^[5]

1. Perusahaan harus bersertifikasi ISO 9000 atau anggota dari Asosiasi Layanan Peralatan Listrik.
2. Ukuran motor kurang dari 40 HP dan usianya lebih dari 15 tahun (terutama motor

yang sebelumnya sudah digulung ulang) sering memiliki efisiensi yang lebih rendah daripada model yang tersedia saat ini yang efisien energinya. Biasanya yang terbaik adalah menggantinya. Hampir selalu terbaik mengganti motor biasa dengan beban dibawah 15 HP.

3. Jika biaya pegulungan ulang melebihi 50% hingga 65% dari harga motor baru yang efisien energinya, lebih baik membeli motor yang baru, karena meningkatnya kehandalan dan efisiensi akan dengan cepat menutupi pembayaran harga motor.

Pelaksanaan Secara lengkap proses penggulungan ulang (*rewinding*) motor induksi langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Penerimaan (*receiving*)
2. Inspeksi pada kelistrikan (*electrical inspection*).
3. Pembongkaran bagian-bagian motor induksi (*dismantling*)
4. Pembongkaran belitan motor induksi (*stripping*)
5. Pembersihan (*cleaning*)
6. Tes inti (*core tes*)
7. Pembongkaran total inti stator (*restacking*)
8. Pengovenan pertama (*first oven*)
9. Peredoksian (*redoxite*)
10. Pembelitan (*winding*).
11. Pengujian (*test*) tahanan, tahanan isolasi, surge dan kutub belitan.
12. Pengovenan ke-2 (*second oven*).
13. Pelapisan (*varnis*) belitan.
14. Pengopenan ke-3 Pembersihan (*cleaning*) dari sisa varnis.
15. Pengujian (*tes* tahanan, tahanan isolasi, surge, dan *High Voltage* belitan).
16. Poses perakitan kembali (*assembling*).
17. Running tes.
18. Proses pengecatan kembali (*painting*).
19. *Finishing*.
20. Pengiriman/penyerahan ke konsumen (*delivering*).

Hasil perhitungan diperoleh setelah motor digulung ulang efisiensi motor pompa 132 Kw adalah 85,22 % . Pada penggulungan ulang motor dapat terjadi penurunan efisiensi . Hal ini dapat di diketahui efisien motor sebelum motor di gulung ulang dari data plat nama (*nameplate*) atau kita lihat spesifikasi motor pompa 132 kw. Efisiensi motor sebelum digulung ulang :

$$I_{ph} = 189 / \sqrt{3} = 109,119 \text{ (Ampere)}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{3 \cdot I_{ph} \cdot E_{ph} \cdot \cos\phi}$$

$$= \frac{132000}{3 \cdot 109,119 \cdot 500 \cdot 0,87}$$

$$= 0,927 = 92,7\%$$

Penggulungan ulang dapat menurunkan efisiensi motor hal ini dipengaruhi oleh :celah udara pada setiap gulungan,jenis bahan konduktor,kinerja pengisolasian, dan suhu operasi. Efisien yang turun mengakibatkan kinerja motor menurun.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

- Pada plat nama (*nameplate*) motor memuat data-data spesifikasi mekanis dan elektris, sangat penting sebagai informasi yang diperlukan dalam penggulangan ulang (*rewinding*) motor induksi.
- Faktor kisar (K_p) dan faktor distribusi(K_d) dibutuhkan karena dapat mengurangi rugi-rugi pada motor.
- Luas penampang dan panjang konduktor sangat berpengaruh pada reistansi kumparan .

Penggulangan ulang (*Rewinding*) motor induksi dapat menurunkan efisiensi dari hasil perhitungan diperoleh penurunan efisiensi dari 92,7% menjadi 85,22 %, akibatnya kinerja motor induksi menurun dibandingkan sebelum digulung ulang, hal ini disebabkan oleh teknik penggulangan,material konduktor, jenis dan kinerja pengisolasian,dan suhu operasi.

4.2 Saran

- Penggulangan ulang motor induksi sebaiknya memilih material konduktor dan jenis isolasi yang baik.
- Ukurlah diameter kawat dengan teliti, total penampang dan jumlah lilitannya jangan dikurangi. Perubahan penampang dan jumlah lilitan sangat mempengaruhi perubahan tahanan winding yang selanjutnya akan mengubah kinerja motor.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] EASA. 2001. Root Cause Failure Analysis. EASA. USA.
- [2] Ilmu Bahan Listrik. 2009. <http://dunia-listrik.blogspot.com>.Diakses pada tahun 2009.
- [3] *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia*.www.energyefficiencyasia.com Diakses pada tahun 2005.
- [4] *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri* - www.energyefficiencyasia.org. Diakses pada tahun 2006.