

EVALUASI HASIL *OVERHAUL* PENGGUNAAN TEMBAGA SEBAGAI BILAH ROTOR MOTOR INDUKSI DI PT. MESINDO TEKNINESIA JAKARTA

Adhi Devawijaya¹, M. Isnaeni B.S.², T. Haryono³

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

^{2,3} Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

Abstrak

Makalah ini membahas proses *overhaul* motor induksi secara urut dan mengevaluasi apakah hasil dari *overhaul* motor ini sudah memenuhi standar atau belum. *Overhaul* motor diperlukan agar masa pakai motor menjadi lebih panjang dan lebih awet. Yang dikerjakan dalam *overhaul* pada prinsipnya perawatan (bila motor belum rusak) atau perbaikan motor dan penggantian komponen (bila motor tersebut sudah rusak). Tindakan *overhaul* di sini meliputi pengecekan, perbaikan & pengujian, misal pengecekan bearing, vibrasi dan lainnya. *Overhaul* yang dilakukan pada motor milik PT. Pertamina berhasil menaikkan harga Polarization Indeks (PI) dari 1,5 menjadi 3,3 dan harga tahanan isolasi dari 100Mohm menjadi 600Mohm. Indikator bahwa motor milik PT. Pertamina telah selesai serta benar dalam proses *overhaul* ditunjukkan oleh data berupa tahanan isolasi yang telah mencapai 600Mohm, temperatur body motor dan bearing yang stabil, vibrasi (getaran) untuk bearing DE berkisar 0,7mm/s sampai 1 mm/s dan untuk kearing NDE berkisar antara 0,8 mm/s sampai 1,2 mm/s pada beban penuh.

Kata kunci: *overhaul* motor induksi, indeks polarisasi, tahanan isolasi, bearing

1. Pendahuluan

Motor induksi adalah suatu alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik yang prinsip kerjanya berdasarkan induksi magnet. Prinsip kerja dari induksi magnet adalah berdasarkan hukum gaya Lorentz dan kaidah tangan kiri Fleming, yang menyatakan bahwa apabila sebatang konduktor yang dialiri arus listrik ditempatkan di dalam medan magnet maka konduktor tersebut akan mengalami gaya. Arah dari gaya yang dialami konduktor tersebut ditunjukkan oleh kaidah tangan kiri Fleming. Gaya tersebut dialami oleh setiap batang dari konduktor pada rotor, sehingga menghasilkan putaran dengan torsi yang cukup untuk memutar beban yang dikopel pada motor.

Motor induksi merupakan motor yang banyak dipergunakan sebagai alat penggerak dalam industri. Selain kokoh juga sederhana, dan harganya pun lebih murah, oleh karena itu diperlukan langkah-langkah perawatan dan *overhaul* dalam menanggulangi kerusakan motor sehingga dapat memperpanjang kinerja motor. Pemeliharaan dan perbaikan motor sangat perlu sekali karena bila tidak dilakukan maka motor akan cepat rusak, kelembaban pada motor dapat mengakibatkan tahanan isolasi menjadi rendah.

Overhaul motor induksi adalah memeriksa dengan sangat teliti, pembongkaran dan pemasangan kembali bagian-bagian motor setelah dilakukan pemeriksaan baik secara

electrical maupun *mechanical*. Setelah dilakukan pengecekan *electrical* sebelum *overhaul* lalu dilakukan proses pembongkaran. Setelah pembongkaran lalu dilakukan pengecekan secara mekanik yang akan memutuskan kemana arah *overhaul* motor tersebut. Jika ada kerusakan pada rotor atau stator maka segera dilakukan perbaikan. Jika tidak, maka langsung dilakukan *balancing* rotor. Setelah proses *balancing* dilanjutkan proses pengovenan stator dan rotornya. Setelah selesai pengovenan lalu dilakukan pengecekan *electrical after repair* yang dilanjutkan dengan perakitan kembali. Setelah dirakit kembali lalu dilakukan tes jalan dan pengecatan. Karena *overhaul* motor meliputi banyak proses maka, perlu dievaluasi apakah hasil dari *overhaul* motor sudah memenuhi standar atau belum.

2. Pengujian Motor Induksi

Pengujian atau pengetesan motor dapat menentukan diagnosa perbaikan atau *repair*. Secara umum urutan pengujian motor adalah :

1. Tes resistansi
2. Uji tahanan isolasi
3. Tes *Hi-pot*
4. Tes surja
5. Indeks Polarisasi (PI)
6. Pengecekan bus bar rotor
7. Pengujian vibrasi
8. Tes jalan

• Tes resistansi

Tahanan lilitan di tes atau diukur terutama untuk mengetahui kesamaandiantara ketiga phasanya, perbedaan pengukuran dengan pengukuran sebelumnya dan perbedaan dengan yang tertera di name platnya. Jika ditemukan masalah, maka motor harus diinspeksi untuk menemukan penyebabnya. Faktor yang menyebabkan ketidakseimbangan nilai resistansi adalah :

- ✓ Hubung pendek dengan core
- ✓ Hubung pendek antar lilitan dalam fase
- ✓ Hubung pendek antar lilitan antar phase
- ✓ Ukuran kawat tidak sama / salah
- ✓ Sambungan terminal kendor atau berkarat

• Uji tahanan isolasi

Megohm test/tes tahanan dilakukan dengan tegangan berdasarkan tegangan kerja motor dan standar pabrikan atau pemakai sebagai panduan. Membandingkan hasil pengukuran dengan standar akan menggambarkan kondisi lilitan, Jika terukur tahanan atau resistansi rendah maka harus diadakan pemeriksaan lebih teliti, kemungkinan terjadi *ground-wall* pada isolasi. Penyebab dari adanya *ground wall* adalah :

- ✓ Lapisan isolasi atau enamel kawat terbakar atau rusak
- ✓ lilitan motor penuh kotoran, debu karbon, ada air / lembab
- ✓ Koneksi antar lilitannya jelek

Evaluasi pengujian tahanan isolasi dengan cara menggunakan megger. Untuk penggunaan megger perlu diperhatikan tegangan nominal motor tersebut. Menurut standar EASA :

Tabel 1. Standar Tegangan Untuk Tes Tahanan Isolasi

Winding rated voltage (V)	Insulation Resistance Test Direct (V)
< 1000	500
1000 - 2500	500 - 1000
2501 - 5000	1000 - 2500
5001 - 12000	2500 - 5000
> 12000	5000 - 10000

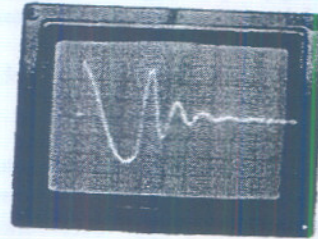
Syarat minimal tahanan isolasi motor menurut standar IEEE 43, tahun 2000 adalah $IR_{min} : kV + 1$

• Tes hipot

Tes hipot dilakukan menggunakan tegangan yang pada pokoknya lebih tinggi dari uji tahanan isolasi, tetapi tergantung dari tegangan operasi motor dan sesuai dengan standar tertentu atau panduan perusahaan pemakai. Tujuannya mencari hal yang diluar biasa seperti kebocoran arus tinggi, atau bocor tidak tetap / sesekali, atau loncat naik-turun. Rusak atau bocor arus tinggi merupakan indikasi kerusakan *ground-wall* isolasi.

• Tes surja

Kita dapat mengetahui jenis kerusakan pada lilitan dengan menggunakan tes surja. Tes surja memiliki 4 buah probe, 1 probe untuk body serta 3 probe yang lain untuk lilitan. Lilitan harus dihubung bintang kemudian 3 buah probe tes surja dihubungkan ke titik R, S, dan T lilitan, untuk mengetahui jenis kerusakan. Tes surja akan memberikan informasi bentuk gelombang yang ditampilkan pada layar monitor. Jika lilitan masih dalam kondisi baik layar pada tes surja akan menunjukkan seperti Gambar 1 berikut ini :



Gambar 1 Lilitan dalam kondisi baik

• Indeks Polarisasi (PI)

PI merupakan tolak ukur yang digunakan untuk mengetahui kualitas *winding* akibat pengaruh lingkungan, seperti penyerapan air dan pengotoran debu. Indeks polarisasi merupakan perbandingan pengukuran impedansi pada pengukuran dalam 10 menit terhadap 1 menit. Nilai parameter PI menurut IEEE *Transaction* 43 :

- <1,0 = berbahaya
- 1,0 s/d 1,9 = dipertanyakan
- 2,0 s/d 2,9 = cukup
- 3,0 s/d 4,0 = bagus
- >4,0 = sempurna

Jika **PI kurang dari 2,0** menunjukkan bahwa isolasi *winding* terlalu banyak menyerap uap air atau terdapat penumpukan kotoran konduktif. Nilai PI yang direkomendasikan diklasifikasikan berdasar *thermal class* dan penggunaan material isolasi. Nilai minimum PI yang direkomendasikan :

Tabel 2. Nilai standar PI

Thermal class rating	Nilai PI minimum
Kelas A	1,5
Kelas B	2,0
Kelas F	2,0
Kelas H	2,0

3. Data dan Pembahasan

Motor yang diangkat dalam tugas akhir ini merupakan motor milik PT. Pertamina, semua proses *overhaul* dilakukan di bengkel milik PT. Mesindo Tekninesia Jakarta. Beberapa data penting dari motor ini adalah :

- Daya : 675 HP
- RPM : 1460 rpm
- Tegangan : 3300 Volt
- Arus : 109 Ampere
- Ins Class : B
- Frekuensi : 50 Hz

Hasil pengujian dari beberapa nilai parameter beserta pembahasannya diuraikan pada sub bab berikut :

3.1 Hasil pengecekan *before repair* :

- Data *incoming material*
Data kelengkapan motor milik PT. Pertamina yaitu dicatat dalam tabel 3 yaitu

Tabel 3. Data Kelengkapan Motor

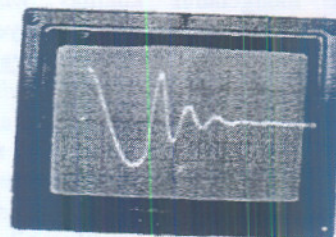
Komponen Motor	Ada	Tidak
Terminal	✓	
Tutup kotak terminal	✓	
Kipas	✓	
Tutup Kipas	✓	
Puli		✓
Spi	✓	

Data-data ini dicatat dalam buku secara detail agar tidak tertukar dengan motor milik perusahaan lain. Data ini akan sangat membantu pada proses perakitan kembali saat motor selesai *di-overhaul*. melakukan pemeriksaan dan pengukuran fungsi semua komponen yang ada, misalnya apakah kabel *lead* perlu diganti dan apakah terminal motor perlu diperbaiki. Setelah dicek kabel *lead* dan terminal motor masih dalam keadaan baik sehingga hanya dilakukan penataan ulang dan penggantian baut dan mur. Perlu juga melakukan pemeriksaan visual pada *winding*, ternyata setelah dicek *winding* terlihat cukup baik. Tidak ada bekas terbakar dan tidak terlihat lilitan tergores akibat benturan dengan rotor.

- Tahanan isolasi motor

Dari hasil pengecekan *before repair*, diperoleh hasil sebesar 100 M Ω . Sedangkan syarat minimal tahanan isolasi menurut standar IEEE 43, tahun 2000 adalah IRmin : 100 M Ω . Berarti ini sudah memenuhi syarat minimal yaitu sebesar 100 M Ω . Semakin besar nilai hambatan isolasi motor maka akan semakin tahan lama motor saat digunakan.

- Tes Surja
Bentuk gelombang hasil tes surja adalah:



Gbr.2 Bentuk gelombang tes surja

Gambar diatas dicuplik untuk fase R-S, Artinya lilitan dalam keadaan baik karena gelombang induksi tegangan yang dihasilkan akan identik dan saling berhimpit. Karena tes surja adalah membandingkan 2 buah lilitan secara magnetik, Jika lilitan yang di tes terdapat gangguan maka tes surja akan memperlihatkan 2 buah bentuk gelombang yang berbeda karena pada kedua lilitan tersebut mendapat induksi tegangan yang berbeda.

- Tes resistansi
Dari hasil test terlihat resistansi antar fase seimbang yaitu sebesar 0,885 Ohm. Ketidakseimbangan resistansi akan menyebabkan besar arus tiap fase pada motor menjadi tidak sama.
- Indeks Polarisasi
Dari hasil pengukuran diperoleh :

Tabel 4. Hasil tes PI

Menit ke...	Risolasi (Mohm)
1	100
2	110
3	115
4	120
5	125
6	130
7	135

8	140
9	145
10	150

Maka perhitungan PI dapat dilihat pada tabel 5 berikut

Tabel 5. Perhitungan nilai PI

Test point	Rins_min	Rins_max	Test result
Stator	100Mohm	150Mohm	150/100 = 1,5

Dari hasil pengujian diperoleh nilai sebesar 1,5. PI adalah salah satu cara yang digunakan untuk mengetahui kualitas *winding* akibat pengaruh lingkungan, seperti penyerapan air dan pengotoran debu. Jika **PI kurang dari 2,0** menunjukkan bahwa isolasi *winding* terlalu banyak menyerap uap air atau terdapat penumpukan kotoran konduktif. PI minimal untuk klas B adalah 2,0. Dari hasil pengujian PI **belum memenuhi syarat** maka proses *overhaul* diharapkan dapat meningkatkan nilai PI.

3.2 Hasil pengecekan *after repair* :

- Tahanan isolasi motor
Hasil pengecekan tahanan isolasi motor setelah proses pengovenan adalah sebesar 600 Mohm. Berarti ada kenaikan sebesar 500 Mohm jika dibandingkan *before repair*.
- Polarization indeks (PI)
Dari hasil pengukuran diperoleh :

Tabel 6. Hasil tes PI

Menit ke	Risolasi (Mohm)
1	600
2	700
3	800
4	1000
5	1200
6	1450
7	1500
8	1700
9	1900
10	1980

Maka perhitungan PI dapat dilihat pada tabel 7 berikut :

Tabel 7 Perhitungan nilai PI

Test point	Ris_min	Ris_max	Test result
Stator	600MΩ	1200 MΩ	1980/60= 3,3

Hasil pengujian nilai PI *after repair* yaitu nilai PI mencapai nilai 3,3. Ini

berarti nilai PI naik 1,8 jika dibandingkan dengan *before repair*. PI : 3,3 sudah memenuhi *standard*, karena motor ini termasuk motor kategori klas B. Setelah dilakukan *electrical check after repair* disimpulkan bahwa target agar nilai *polarity indeks* meningkat sudah tercapai. Nilai hambatan isolasinya pun menjadi meningkat. Setelah nilai PI sudah memenuhi syarat maka akan dilakukan *assembling / perakitan motor kembali*.

- Pengecekan bus bar rotor
Rotor Check merupakan tolak ukur yang digunakan untuk mengetahui kualitas *bus bar* dan untuk mengetahui keretakan (*crack*), putus tidaknya *bus bar* sebelum rotor dipasang ke stator, agar tidak terjadi vibrasi yang tinggi pada saat motor induksi di *running*. Pengecekan bus bar rotor menggunakan growler yaitu dengan meletakkannya diatas bus bar rotor, jika tekanan magnet dalam bus bar rotor lemah maka terjadi keretakan atau putusnya bus bar rotor.
- Penyeimbangan rotor

Pada tahap ini adalah untuk mengetahui keseimbangan *rotor* setelah diganti, yaitu dengan cara *rotor* diputar dengan mesin *balancing*. Mesin ini dapat mengetahui letak dan sisi rotor yang tidak seimbang dan banyaknya gram sisi yang harus ditambah dan dikurangi agar rotor menjadi seimbang.

- Pengujian Tan δ

Tahanan Sistem isolasi mesin listrik akan mengalami penurunan sesuai dengan usianya, namun demikian percepatan penurunannya sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain: gesekan, *thermal stresses*, *mechanical stresses*, kantong udara didalam isolasi, kualitas lapisan semi konduktif pada isolasi, dll. Salah satu kriteria yang paling penting untuk mengetahui kualitas dalam isolasi mesin listrik adalah dengan pengujian tan δ.

Dissipation power factor (Tan δ) di tes pada tegangan 0.2 Un s/d 1.0 Un dengan interval tegangan sebesar 0.2 Un. Untuk setiap *increment* 0,2 Un :

$$\text{Tan } \delta \text{ 0.2} : \frac{\text{Tan } \delta \text{ 0.6} - \text{Tan } \delta \text{ 0.2}}{2} = \text{Max } 2.5 \times 10^{-3}$$

$$\Delta \text{Tan } \delta \text{ 0.2} = \text{Max } 5.0 \times 10^{-3}$$

Kenaikan Tan δ pada setiap *increment* 0.2 Un, adalah : **max. 2.5 x 10⁻³**. Kenaikan ΔTan δ pada setiap *increment* 0.2 Un, adalah : **max. 5 x 10⁻³**.

Kenaikan "power factor" menunjukkan adanya kenaikan jumlah kantong-kantong udara (voids).

Tabel 8. Hasil standar Tan δ.

POINT	GSTg	Standard VDE 0530	hasil
tanδ per interval 0,2 UN	3×10^{-3}	$< 40 \times 10^{-3}$	OK
$\frac{\tan\delta_{0,6} - \tan\delta_{0,2}}{2}$	1×10^{-3}	$< 2,5 \times 10^{-3}$	OK
tanδ1UN-tanδ0,2	3×10^{-3}	$< 50 \times 10^{-3}$	OK

Hasil pengujian tan δ menunjukkan masih di bawah ambang batas yang diijinkan oleh standar VDE 0530 sehingga isolasi mesin listrik dikatakan layak pakai. Kenaikan hasil pengukuran Tan δ menunjukkan adanya kenaikan kantong udara, penyerapan uap air, aktivitas *partial discharge*. Kantong-kantong udara yang terbentuk didalam lapisan isolasi akan menjadi tempat penimbunan uap air dan merupakan tempat terbentuknya "PD", aktivitas PD akan mengikis permukaan isolasi, lama-kelamaan isolasi akan menjadi terbuka. Jika ditemukan hasil uji Tan δ sudah tinggi, sebaiknya cepat-cepat dilakukan perbaikan isolasi *winding*.

Standar VDE 0530 :

- Tan δ < 0,5% : Bagus
- 0,5% < Tan δ < 0,7% : Masih dapat diterima
- 0,7% < Tan δ < 1% : Dipertanyakan
- Tan δ > 1,0% : Buruk

3.3 Tes jalan

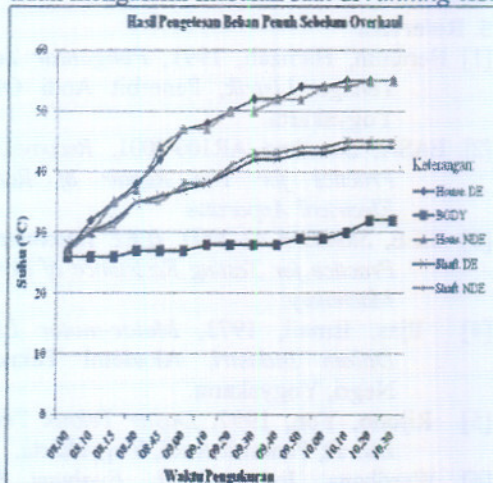
- Vibrasi tanpa beban
 - untuk *drive end* (DE)
 - Horizontal (H) : 0,7 mm/s
 - Vertikal (V) : 0,4 mm/s
 - Aksial (A) : 0,6 mm/s
 - untuk *non drive end* (NDE)
 - Horizontal (H) : 0,7 mm/s
 - Vertikal (V) : 0,3 mm/s
 - Aksial (A) : 0,8 mm/s
- Vibrasi beban penuh
 - untuk *drive end* (DE)
 - Horizontal (H) : 0,9 mm/s
 - Vertikal (V) : 0,7 mm/s
 - Aksial (A) : 1 mm/s
 - untuk *non drive end* (NDE)
 - Horizontal (H) : 1 mm/s
 - Vertikal (V) : 0, mm/s
 - Aksial (A) : 1,2 mm/s

Alat pengetesannya adalah menggunakan vibrotip, dengan cara menempelkan *probe*

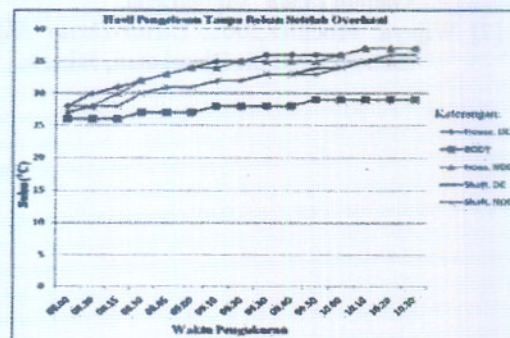
vibrotip pada posisi horizontal, vertical dan aksial. Dari hasil pengetesannya terlihat bahwa hasilnya sudah memenuhi standar, dimana vibrasi maksimal adalah sebesar 2,8 mm/s.

• Suhu

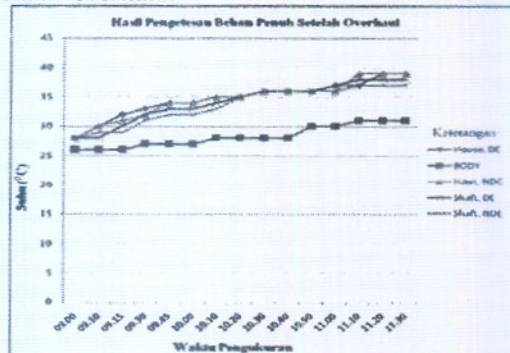
Pengecekan suhu menggunakan tembakan laser merek *Raytex*, caranya yaitu dengan mengarahkan tembakan laser itu kearah *body motor*, *bearing DE & NDE* serta *housingnya*. Suhu cukup stabil selama 1 jam 15 menit, tidak ada kenaikan suhu yang signifikan sehingga dapat disimpulkan motor tidak mengalami masalah saat di *running test*.



Gbr.3 Suhu operasi motor beban penuh sebelum overhaul.



Gbr.4 Suhu operasi motor tanpa beban setelah overhaul.



Gbr.5 Suhu operasi motor beban penuh setelah overhaul.

4. Kesimpulan

Indikator bahwa motor milik PT. Pertamina telah selesai serta sesuai standar dalam proses *overhaul* ditunjukkan oleh data berupa tahanan isolasi yang telah mencapai 600Mohm, nilai Indeks Polarisasi yang mencapai 3.3, resistan sebesar 0.885 ohm yang seimbang, suhu *body* motor dan *bearing* yang stabil, *vibrasi* (getaran) untuk *bearing* DE berkisar 0,4mm/s sampai 0,9 mm/s dan untuk *bearing* NDE berkisar antara 0,2 mm/s sampai 1,2 mm/s

5. Referensi

- [1] Berahim, Hamzah, 1991, *Pengantar Teknik Tenaga Listrik*, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.
- [2] EASA, *Standard AR100-2001, Recommended Practice for The Repair of Rotating Electrical Apparatus*
- [3] IEEE, *Standard 43-2000, IEEE Recommended Practice for Testing Resistance of Rotating Machinery.*
- [4] Iljas, Ismail, 1973, *Motor-motor Listrik Dalam Industri*, Akademi Teknologi Negri, Yogyakarta.
- [5] Rijono, Yon, 1997. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [6] Wardhana, Indra, 2007. *Evaluasi Hasil Pengetesan Overhaul Motor Induksi, Skripsi*, Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [7] Wijaya, Mochtar, 2001. *Dasar-Dasar Mesin Listrik*, Penerbit Djambatan, Jakarta.