

STUDI INSPEKSI KELAYAKAN INSTALASI DAN INSTRUMEN TENAGA LISTRIK

Nizar Rosyidi AS dan Ilham Baihaqi
Program Studi Teknik Elektro FTI ISTN Jakarta

ABSTRAK

Motor induksi merupakan salah satu motor listrik yang banyak digunakan dalam dunia industri. Menurunnya kinerja motor induksi dapat disebabkan oleh beberapa factor seperti *thermal stresses*, *mechanical stresses*, dan *environmental stresses*. Oleh karena itu, perlu dilakukan perawatan guna menjaga kinerja motor tetap baik. Salah satu perbaikan yang ada pada motor induksi adalah *rewinding* motor. *Rewinding* adalah proses penggantian *winding stator* motor induksi secara total maupun parsial.

Salah satu *rewinding* motor di PT. Mesindo Tekninesia adalah motor induksi tiga fasa 6,6 kV, 225 kW milik Pertamina Plaju, untuk mengidentifikasi jenis kerusakan dan menentukan langkah perbaikan serta melakukan pengecekan setelah perbaikan perlu dilakukan *electrical test*. Pengujian yang dilakukan untuk mengidentifikasi jenis kerusakan motor induksi adalah *insulation resistance test* dan *DC resistance test*, sementara pengujian *insulation resistance test*, *DC resistance test* dan *running test*.

Dalam Studi ini akan dibahas tentang Pengujian Kelistrikan Motor Induksi 6,6 kV, 225 kW. PT. Mesindo Tekninesia, Jakarta Timur.

Kata kunci : Motor Induksi, *Rewinding*, *Electrical Test*

Abstrac

An induction motor is one of the electric motors that is widely used in the industrial world. The decrease in the performance of the induction motor can be caused by several factors such as thermal stresses, mechanical stresses, and environmental stresses. Therefore, it is necessary to take care to maintain good motor performance. One of the improvements that exist in an induction motor is rewinding motor. Rewinding is the process of replacing the induction motor stator winding completely or partially.

One of the motor rewinding at PT. Mesindo Tekninesia is a 6.6 kV, 225 kW three-phase induction motor owned by Pertamina Plaju to identify the type of damage and determine repair steps as well as check after repairs, an electrical test is required. The tests carried out to identify the type of induction motor damage are the insulation resistance test and DC resistance test, while the insulation resistance test, DC resistance test and running test are used.

This study will discuss the Electrical Testing of an Induction Motor of 6.6 kV, 225 kW. PT. Mesindo Tekninesia, East Jakarta.

Key words: Induction Motor, *Rewinding*, *Electrical Test*

1. PENDAHULUAN

Motor listrik merupakan salah satu bagian dari mesin listrik yang dapat mengubah energi listrik menjadi mekanis. Pemanfaatan energi mekanis tersebut diantaranya sebagai peralatan untuk proses produksi seperti alat angkat, alat angkut, alat peniup, alat penghisap dan alat penggetar. Motor listrik yang digunakan pada sebuah industri adalah motor induksi karena memiliki beberapa kelebihan diantaranya torsi start tinggi dengan arus start rendah dan pengaturan kecepatan yang baik selama bekerja dengan kecepatan konstan.

Pada sebuah industri, motor listrik dioperasikan cukup lama dikarenakan proses produksi dilakukan selama kurang lebih 8 – 10 jam dalam satu hari, sehingga motor listrik mempunyai batas pemakaian tertentu. Jika suatu saat motor listrik telah mencapai batas waktu pemakaiannya, maka perlu dilakukan pergantian motor listrik dan *overhaul*. *Overhaul* dilakukan agar motor listrik memiliki jangka waktu pemakaian yang lebih lama untuk menjaga keandalan motor listrik.

Kerusakan motor listrik disebabkan karena beberapa factor, diantaranya karena *overvoltage* atau *undervoltage*, *overload*, *phaseloss*, kegagalan isolasi, kebersihan motor dan lain-lain. Hal itu menyebabkan terjadinya *ground fault*, *phase to phase fault*, *vibrasi*, *overheating*, timbulnya percikan api, terbakarnya belitan stator atau rotor dari kerusakan mekanik atau lainnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

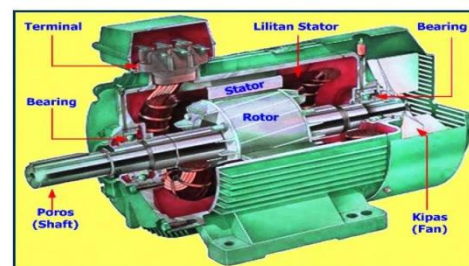
Adapun Tujuan yang dilaksanakan adalah:

1. Mengetahui jenis kerusakan dan cara perbaikan pada motor induksi.
2. Mengetahui cara pengujian dan analisis *electrical test* sebelum dan sesudah perbaikan pada motor induksi

2.1 MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Motor induksi tiga fasa merupakan salah satu mesin asinkron (*asynchronous motor*) karena mesin ini beroperasi pada kecepatan dibawah kecepatan sinkron. Kecepatan sinkron ini dipengaruhi oleh frekuensi mesin dan banyaknya kutub pada mesin. Motor induksi berputar dibawah kecepatan sinkron karena medan magnet yang terbangkitkan pada stator akan menghasilkan fluks pada rotor sehingga rotor tersebut dapat berputar. Namun fluks yang terbangkitkan pada rotor mengalami lagging dibandingkan fluks yang terbangkitkan pada stator sehingga kecepatan rotor tidak akan secepat kecepatan putaran medan magnet.

Motor induksi tiga fasa (gambar 2.1) adalah motor listrik arus bolak-balik yang paling banyak digunakan karena karakteristiknya hamper sesuai dengan kebutuhan industry. Secara umum, motor induksi terdiri atas stator yang merupakan bagian statis serta rotor yang merupakan bagian dinamis dimana terdapat celah yang sangat kecil antara kedua komponen tersebut. Pada umumnya, motor induksi hanya memiliki satu suplai sumber listrik yang mengeksitasi belitan stator.



Gambar 2.1 Motor Induksi Tiga Fasa

Motor induksi memiliki beberapa keuntungan diantaranya :

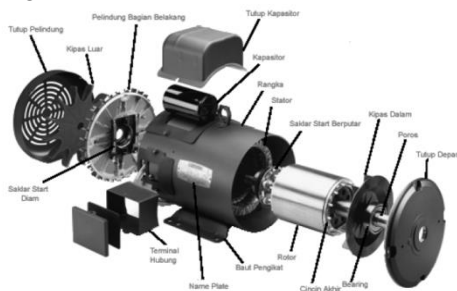
1. Konstruksi kuat dan sederhana
2. Harganya relatif murah dan keandalannya tinggi
3. Efisiensi relative tinggi pada keadaan normal
4. Tidak ada sikat sehingga rugi gesekan kecil
5. Perawatan mudah

Namun, ada beberapa kerugian dari motor induksi yaitu :

1. Kecepatan tidak mudah dikontrol
2. Power faktor rendah pada beban ringan
3. Arus start biasanya 5 sampai 7 kali dari arus nominal

2.2 Bagian-Bagian Motor Induksi Tiga Fasa

Secara umum, konstruksi motor induksi tiga fasa (gambar 2.2) terdiri dari *frame* untuk melindungi bagian dalam motor, stator yang merupakan bagian diam, rotor yang merupakan bagian bergerak, bearing sebagai poros motor, terminal sebagai suplai motor, sistem pendingin untuk mendinginkan rotor dan isolasi untuk melindungi kebocoran listrik antar fasa atau fasa dengan tanah



Gambar 2.2 Konstruksi Motor Induksi

2.1.1 Frame

Frame seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 merupakan penutup (*enclosure*) sebuah motor listrik. *Frame* terdiri dari suatu rangka dan dua ujung *bearing housing*. Stator ditempatkan didalam *frame*, sedangkan rotor diletakkan didalam stator dan dipisahkan oleh rongga udara.



Gambar 2.3 Frame Motor

Frame berfungsi sebagai pelindung dari bahaya listrik bagian motor yang bertegangan maupun berputar dari efek yang membahayakan lingkungan selama motor beroperasi. Bearing ditempelkan di *shaft* guna mendukung secara mekanis agar motor dapat berputar. Sebuah *fan* juga ditempatkan di *shaft* yang berfungsi sebagai pendingin motor.

2.1.2 Stator

Stator (gambar 2.4) adalah bagian statis pada motor yang menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotor. Stator tersusun dari kumparan stator dan tumpukan laminasi inti. Inti stator dibuat dari tumpukan lempengan besi (*core iron*) yang dilaminasi dan diasutukan. Inti berfungsi sebagai dukungan mekanis sekaligus kanalisasi magnet yang akan dihasilkan.

Tiap kumparan tersebar dalam alur yang disebut belitan fasa, dimana belitan tersebut terpisah secara elektrik sejauh 120° . Kawat kumparan yang digunakan terbuat dari tembaga yang telah dilapisi dengan isolasi tipis kemudian tumpukan inti dan belitan stator diletakkan dalam cangkang silindris.



Gambar 2.4 Stator Motor

Stator juga merupakan tempat dihubungkannya motor dengan sumber listrik AC tiga fasa. Saat tegangan AC disuplai ke stator, maka arus akan mengalir melalui kumparan. Medan magnet akan dihasilkan oleh kumparan fasa yang tergantung arah arus yang melewati kawat tersebut.

2.1.3 Rotor

Rotor merupakan bagian dinamis dari suatu motor. Rotor terdiri dari lempengan besi tipis yang dilaminasi dan batang konduktor yang mengitarinya. Lempengan besi tipis yang dilaminasi tersebut dibuat agar mengurangi panas jika telah dipasang kumparan dan saat diberi arus. Tumpukan besi yang dilaminasi disatukan untuk membentuk inti rotor. Rotor pada motor induksi dibagi menjadi dua, yaitu :

A. Rotor Belitan

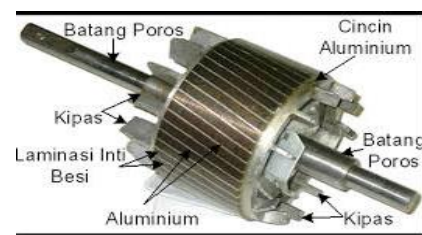
Rotor Belitan (gambar 2.5) merupakan salah satu jenis rotor yang dililit dengan lilitan terisolasi serupa dengan lilitan stator. Lilitan fasa rotor dihubungkan dengan hubung Y dan masing-masing ujung fasa dikeluarkan ke slip ring yang terpasang pada poros rotor. Slip ring terhubung ke sebuah tahanan variable eksternal yang berfungsi membatasi arus penghasutan dan yang bertanggung jawab terhadap pemanasan rotor. Selama penghasutan, penambahan tahanan eksternal pada rangkaian rotor belitan menghasilkan torsi pengasutan yang lebih besar dengan arus pengasutan yang lebih kecil dibanding dengan rotor sangkar. Inti rotor diletakkan menempel ke *shaft* dari besi yang membentuk kontruksi rotor secara penuh.



Gambar 2.5 Rotor Belitan

B. Rotor Sangkar

Rotor sangkar (gambar 2.6) tupai memiliki konstruksi yang sederhana. Inti stator pada motor sangkar tupai terbuat dari lapisan-lapisan pelat baja beralur yang didukung dalam rangka stator yang terbuat dari besi tuang atau pelat baja yang dipabrikasi. Lilitan-lilitan kumparan stator diletakkan dalam alur stator yang terpisah 120⁰ listrik. Lilitan fasa ini dapat tersambung dalam hubung delta (Δ) maupun bintang (Y)

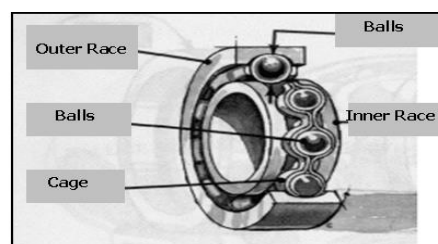


Gambar 2.6 Rotor Sangkar

Batang rotor motor sangkar tupai tidak selalu ditempatkan parallel terhadap poros motor tetapi seringkali dimiringkan. Hal ini akan menghasilkan torsi yang lebih seragam dan juga mengurangi derau megnetik sewaktu motor berputar. Pada ujung rotor, seluruh lilitan dishortkan dengan busbar yang terbuat dari tembaga atau alumunium. Cincin penutup dilekatkan sirip yang berfungsi sebagai pendingin.

C. Bearing

Bearing (gambar 2.7) merupakan penyangga rotor terhadap *frame*. Bearing memiliki fungsi yang penting dalam motor karena merupakan tempat penyangga berputarnya rotor. Karenanya, perlu perawatan khusus, salah satunya adalah pemberian pelumas pada bearing. Ada beberapa jenis pelumas yang sering digunakan pada *bearing*, diantaranya adalah *grease* dan minyak.



Gambar 2.7 Bearing Motor

2.3 Tahapan Prinsip Kerja Motor Induksi

1. Arus listrik yang dialirkan pada suatu medan magnet dengan kerapatan fluks akan menghasilkan suatu gaya.
2. Nilai gaya dipengaruhi banyaknya lilitan
3. Bila sumber tegangan tiga fasa dipasang pada kumparan stator maka akan timbul medan putar.
4. Medan putar akan mendorong konduktor yang terdapat pada sisi rotor, akibatnya kumparan rotor akan timbul tegangan induksi (ggl)
5. Karena kumparan rotor merupakan rangkaian tertutup maka tegangan induksi akan menghasilkan arus
6. Adanya arus dan medan magnet akan menimbulkan gaya pada rotor
7. Bila torsi awal yang di hasilkan oleh gaya rotor cukup besar untuk memikul torsi beban maka rotor akan berputar searah medan putar stator dengan kerapatan fluks akan menghasilkan suatu gaya.
8. Untuk membangkitkan tenaga induksi agar tetap ada maka diperlukan perbedaan relatif antara kecepatan medan putar stator dengan kecepatan putar rotor
9. Jika kecepatan medan putar stator sama dengan kecepatan putar rotor maka tegangan terinduksi dan arus tidak mengalir pada rotor dengan demikian tidak ada torsi yang dapat dihasilkan
10. Dilihat cara kerjanya bisa disebut motor asinkron.

3. Prosedur Pengujian Motor Induksi

3.1. Pengujian Pada Motor Induksi

Motor induksi yang telah diperbaiki perlu dilakukan uji kelayakan (*Quality Assurance*). Ada beberapa jenis pengujian yang perlu dilakukan pada motor listrik. Untuk mengetahui kualitas motor listrik setelah pengujian, perlu dilakukan perbandingan dengan standar motor listrik.

3.1.1. *Insulation Resistance Test*

Insulation resistance test merupakan pengujian yang digunakan untuk mengetahui besarnya tahanan isolasi dari suatu peralatan listrik. Pengujian ini digunakan untuk mengetahui kondisi isolasi pada motor dan menentukan apakah peralatan tersebut dapat dioperasikan dengan aman. Isolasi yang cukup pada motor diperlukan untuk menghindari terjadinya *direct contact* seperti *short circuit* atau *ground fault*. Idealnya, tahanan isolasi adalah tak terhingga, dimana seluruh arus yang ada dalam konduktor di blok oleh bahan isolasi tersebut. Jika arus bocor yang mengalir dari konduktor ke ground semakin besar, maka dapat kita ketahui terdapat masalah pada isolasi.

Insulation resistance test untuk perlengkapan listrik dapat menggunakan megger yang mana pengoperasiannya pada waktu perlengkapan rangkaian listrik tidak bekerja atau tidak dialiri arus listrik. Metode pengujian dilakukan dengan tegangan megger yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan. *Insulation resistance* dilakukan pada stator atau rotor generator, selain itu juga dapat diterapkan pada semua mesin atau lilitan kecuali rotor motor sangkar tupai karena tidak mempunyai isolasi untuk diuji. *Insulation resistance test* dilakukan dengan durasi satu menit.

Dalam menentukan *insulation resistance* sebuah motor induksi, perlu diperhatikan tegangan megger yang sesuai dengan tegangan motor. Tabel 3.1 merupakan standar penggunaan megger untuk berbagai variasi tegangan dari

motor berdasarkan standar EASA AR 100.

Tabel 3.1 Tegangan Test Insulation Resistance Test

TEGANGAN KERJA MESIN YANG DI UKUR	TEGANGAN TEST
Mesin dengan tegangan kerja : < 1000 Volt	< 500 Volt DC
Mesin dengan tegangan kerja : 1000 -2500 Volt	500 - 1000 Volt DC
Mesin dengan tegangan kerja : 2501 – 5000 Volt	1000 atau 2500 Volt DC
Mesin dengan tegangan kerja : 5000 – 12000 Volt	2500 atau 5000 Volt DC
Mesin dengan tegangan kerja : >12000 Volt	> 5000 Volt DC
Semua mesin DC	500 Volt DC
Semua winding rotor dengan rated tegangan > 100 Volt	

Standar pengukuran insulation *resistance test* adalah sesuai dengan standar EASA AR 100 dengan perhitungan sebagai berikut :

$$R_{min} = \frac{(V_n + 1000)}{1000} M\Omega$$

Keterangan :

Rmin = Resistensi minimum lilitan (MΩ)

Vn = Tegangan Kerja dalam kV (Line-to-Line)

3.1.2. DC Resistance Test

DC *Resistance Test* dilakukan untuk mengetahui kelayakan dari koneksi-koneksi yang ada di belitan dan memperkirakan apabila ada kemungkinan hubung singkat atau resistansi yang tinggi pada koneksi belitan. Pada motor induksi tiga fasa, proses pengukuran dilakukan pada masing-masing belitan antar fasa. Ketidakseimbangan resistansi akan menyebabkan arus tiap fasa pada motor menjadi tidak sama sehingga motor cepat panas bila dioperasikan.

DC *resistance test* biasa dilakukan dengan milliohm meter yang ditunjukkan pada Miliohm meter berbeda dengan multimeter dikarenakan milliohm meter dapat digunakan untuk mengukur nilai hambatan yang sangat kecil hingga satuan milliohm. Milliohm meter juga memiliki akurasi tinggi dan juga pilihan pengukuran yang lebih banyak. Kekurangan milliohm meter adalah sulit untuk memonitor tegangan yang tidak stabil.

Menurut standar EASA STANDARD AR 100, perhitungan standar deviasi atau simpangan hambatan antar fasa dapat dinyatakan dengan persamaan

$$Dev = \frac{R_{max} - R_{min}}{1000R_{max}} \times 100 \%$$

Keterangan :

Dev = Deviasi (%)

Rmax = Nilai tahanan maksimal pengukuran (MΩ)

Rmin = Nilai tahanan minimal pengukuran (MΩ)

Jika nilai deviasi antarfasa melebihi standar yang diperlukan (+5%), maka dapat diketahui bahwa terjadi ketidakseimbangan hambatan pada belitan motor dan motor perlu dibongkar ulang.

Electrical test merupakan suatu pengujian yang dilakukan untuk menganalisis kerusakan dan uji kelayakan (*Quality Assurance*) dari

motor induksi sebelum dan sesudah perbaikan. *Electrical test* ini termasuk dalam tahap-tahap perbaikan yang dilakukan PT. Mesindo Tekninesia. Adapun proses perbaikan motor induksi 6,6 kV, 225 kW dilakukan dengan tahap-tahapan sebagai berikut :

1. *Incoming inspection*
2. *Electrical inspection*
3. *Dismantling*
4. *Restacking*
5. *Repairing After Rewinding*
6. *Electrical test and running test*
7. *Packing*

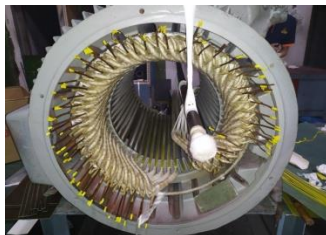
4. Analisa Hasil Pengujian Dan Perhitungan

4.1. Melilit Ulang (*Rewinding*)

Proses melilit pagi adalah inti dari proses adalah inti dari proses perbaikan ini. Agar motor listrik yang diperbaiki dapat digunakan kembali, proses ini meliputi:

4.1.1. Pemasangan Coil pada slot stator

Setelah proses persiapan *rewinding* dilakukan yaitu berupa pengemalan belitan yang akan digunakan dan pemasangan *nomex* pada slot stator. Cara pemasangan *coil* tersebut sesuai dengan data berupa *coil per spand* yaitu langkah yang dilalui coil pada masing-masing slot.



Gambar 4.1 Pemasangan *Coil* sesuai dengan *Coil per spand*

Pemasangan Coil pada slot stator dilakukan dengan hati-hati agar isolasi pada coil tidak terbuka akibat tergores dengan *core stator*. Dengan data coil per spand yaitu 1-11 maksudnya adalah tiap

satu coil yang akan dimasukan pada slot 1 dan akan keluar pada slot 11, begitu seterusnya. Arah pemasangan coil pada slot dilakukan searah dengan jarum jam. Untuk mengetahui secara lengkap langkah pemasangan coil dapat dilihat ada table seperti berikut.

4.1.2 Pemasangan Wedges

Wedges digunakan sebagai bantalan penutup pada tiap slot stator setelah coil ditutup menggunakan *nomex*. Adanya pemasangan wedges agar coil yang sudah dimasukan pada slot stator tidak keluar lagi, serta menghindari terjadinya lobang slot yg longgar.

Kegunaan wedges itu sendiri antara lain:

1. Mengurangi timbulnya vibrasi pada winding saat motor beroperasi.
2. Arus akan mengalir ke wedges ketika motor mengeluarkan arus bocor.
3. Lebih kuat untuk menutup konduktor pada alur slot

4.1.3 *Connection Winding*

Connection winding merupakan hal paling penting dari proses melilit ulang pada stator motor listrik. Hal ini dikarenakan *conection winding* yang akan menentukan arah dan jumlah kutub pada belitan stator sehingga mempengaruhi kinerja motor listrik tersebut.

4.2. Perbaikan Setelah Melilit Ulang

Proses *rewinding* merupakan proses inti dari pelaksanaan perbaikan yang dikerjakan oleh winder. Pada sub bab ini akan dijelaskan proses perbaikan motor induksi 3 fasa setelah melalui proses *rewinding*.

4.2.1. Pemvarnishan dan Pengovenan

Setelah dilakukan *rewinding* pada motor, selanjutnya motor diberi

varnish dan cairan *red oxide* dan dilakukan pengovenan. Tujuan *pervarnishan* adalah agar gulungan pada coil menjadi kuat serta tidak mudah goyah

Pemberian varnish dilakukan dengan cara menuangkan *varnish* ke stator dan rotor. Hak ini dilakukan karena jika dilakukan dengan kuas, *varnish* tidak dapat masuk ke dalam celah-celah kawat yang ada. Selain itu, proses ini ditujukan untuk menaikkan nilai hambatan isolasi motor.

Tujuan penggunaan cairan *red oxide* adalah untuk melindungi lilitan agar tidak tergores. Setelah diberikan cairan *red oxide*, kemudian stator dan rotor dimasukkan ke dalam heater untuk di oven.



Gambar 4.3 Keadaan setelah dilakukan *varnish* dan oven

Di PT. Mesindo Tekninesia proses pemanasan motor induksi 6,6 kV, 225 kW dilakukan pada suhu ruangan 70-80 °C selama 24 jam. Proses ini dilakukan agar stator serta rotor bebas dari kotoran yang bersifat cair seperti air atau minyak. Kotoran tersebut jika dibiarkan akan mengakibatkan terjadinya hubung singkat.

4.2.2. Balancing Rotor

Mechanical repair dilakukan agar motor dapat beroperasi secara maksimal. Pengecekan yang dilakukan pada motor induksi 6,6 kV, 225 kW yaitu pelepasan kopel rotor (gambar 4.4) perawatan rumah bearing dan bearing, dan balancing rotor (gambar 4.5).



Gambar 4.4 *Balancing Rotor*

Dilakukan *balancing* rotor untuk menyeimbangkan putara rotor dengan menambahkan dengan material besi atau *plastic steel* dengan berat yang sudah ditentukan atau mengurangi berat pada bagian rotor yang tidak seimbang.

4.3 ASSEMBLING

Pada proses ini, bagian -bagian yang telah ditandai akan membantu dalam perakitan. Proses *assembling* motor induksi 6,6 kV, 225 kW (gambar 4.6) merujuk pada bagian *dismantling* sesuai dengan data dan marking yang telah dibuat. Pemasangan rotor dan stator harus bersih dari debu, kotoran, dan sisa *varnish*. Untuk memasukkan rotor pada motor yang besar dibutuhkan alat bantu crane dan pipa agar posisinya tepat pada bagian stator, sedangkan untuk memasang bearing harus dipanaskan dulu antara 80-120°C selama 3 – 5 menit agar bearing menjadi longgar dan biasa masuk.



Gambar 4.5 Proses Assembling Motor

4.4 PENGUJIAN KELISTRIKAN

Pemeriksaan setelah perbaikan motor dilakukan untuk menguji motor induksi apakah motor induksi yang diperbaiki telah layak dioperasikan atau belum. Pengujian yang dilakukan pada *electrical test* adalah *insulation resistance test* dan *DC resistance test*.

4.4.1 INSULATION RESISTANCE

TEST

Pengujian *insulation resistance* test pada electrical test dilakukan dengan menggunakan *mega ohm meter (megger)* kyoritsu pada tegangan 5000 V DC. Pengujian ini digunakan untuk mengetahui kondisi isolasi pada motor. Isolasi yang cukup pada motor diperlukan untuk menghindari terjadinya *direct contact* seperti *short circuit* atau *ground fault*. Pada pengujian ini akan dihasilkan nilai *polarity index* yaitu nilai yang menunjukkan standar kekeringan dan kebersihan lilitan, dan hasilnya akan menentukan apakah peralatan aman untuk dioperasikan.

Pengujian dilakukan dengan pengukuran tingkat kebocoran arus fasa dengan netral. Sebelum melakukan pengujian terlebih dahulu dilakukan pemutusan hubungan listrik dan *grounding* pada konduktor yang tidak diukur. Metode pengujian dilakukan dengan tegangan megger yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan.

Sebelum melakukan pengujian ini maka harus dilakukan perhitungan nilai tahanan isolasi minimal terlebih dahulu sebagai referensi untuk menentukan baik atau buruk hasil yang didapat :

$$IR_{min} = \frac{Inominal + 1000}{1000} \times M\Omega$$

Hasil Pengujian

- Phase U – Ground : 300 MΩ
- Phase V – Ground : 300 MΩ
- Phase W – Ground : 300 MΩ

Dari hasil perhitungan standar isolasi didapatkan batas minimal sebesar 7,6 MΩ dan dari hasil pengukuran isolasi motor induksi 6600 V, 225kW sebesar 300 MΩ. Dari data pengukuran pada nilai tahanan isolasi motor induksi tersebut sudah baik karena mempunyai

nilai diatas standart *insulation resistance* sebesar 7,6 MΩ.

Karena motor induksi yang diukur mempunyai rating tegangan 6,6 kV, maka perlu dilakukan juga *Polarization Index Test*. Pengujian ini dilakukan untuk motor induksi dengan klasifikasi tegangan menengah dan tegangan tinggi. Pengukuran *polarization index (P.I)* dilakukan pada setiap fasanya dengan *ground*. Sehingga pada motor induksi 6,6 kV 225 kW dapat dihitung nilai *polarization index (P.I)*

Berdasarkan standart EASA AR 100 adalah :

$$P.I = \frac{\text{Tahanan isolasi menit ke sepuluh}}{\text{Tahanan isolasi menit pertama}}$$

Sehingga nilai P.I (*Polarization Index*) yang didapatkan dari perhitungan dengan rumus dari hasil pengujian *insulation resistance* dan perhitungan P.I didapat data sebagai berikut :

- Menit 1 : 300 MΩ
- Menit 10 : 640 MΩ

$$P.I = \frac{640 M\Omega}{300 M\Omega} \quad P.I = 2,1$$

Dari data hasil pengujian dapat dilihat bahwa nilai *polarization index (P.I)* yang dihasilkan sebesar 2,1. Nilai tersebut didapatkan dari hasil perbandingan antara tahapan isolasi menit ke sepuluh dengan tahanan isolasi menit pertama. Pada standar EASA AR 100 nilai minimal *polarization index (P.I)* yang diizinkan adalah 2,0, sehingga nilai tahanan isolasi motor induksi tersebut masih baik karena masih diatas standart *polarization index (P.I)* yaitu 2,0.

4.4.2. DC RESISTANCE TEST

Pengukuran ini dilakukann menggunakan *milliohm* meter (gambar 4.6). Pengukuran ini dilakukan untuk melihat keseimbangan hambatan belitan pada ketiga fasa. Pengukuran terminal *thermocouple*, *thermisi* dan *heater* menggunakan multimeter. Untuk mengetahui suhu motor dapat dilakukan konversi nilai hambatan ke suhu yang dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.6 Pengukuran DC Resistance Test

Perhitungan standar menurut standar EASA AR 100 adalah $\pm 5\%$. Hasil perhitungan antar fasa di rata-rata, kemudian dilakukan perhitungan deviasi.

Dari hasil pengukuran didapatkan nilai $0,44 \Omega$ untuk semua fasa, sehingga perhitungan standart deviasi sesuai dengan rumus adalah sebagai berikut :

Fasa U

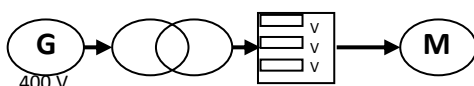
$$\text{Deviasi} = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{R_{\max}} \times 100 \%$$

$$\text{Deviasi} = \frac{0,44 \Omega - 0,44 \Omega}{0,44 \Omega} \times 100 \%$$

$$\text{Deviasi} = 0\%$$

4.5 PENGUJIAN MOTOR

Setelah selesai melakukan *insulation resistance test* dan *DC resistance test* selanjutnya dilakukan pengujian putaran motor (*running test*). Running test pada pengujian motor induksi tiga fasa 6,6 kV 225 kW ini dilakukan satu kali pengujian dengan tegangan 6,6 kV melalui regulator dengan frekuensi 50 Hz.



400/ 6,6 kV Panel

Gambar 4.8 Rangkaian Pengujian Motor di PT. Mesindo Tekninesia

Pada gambar 4.8 tanpak bagan pengujian motor yang terdiri dari generator TR, trafo dan instrumen ukur sektor motor yang diuji.

Tahap *Running test* pada motor induksi 6,6 kV 225 kW adalah sebagai berikut :

1. Memasang kabel pada panel yang dihubungkan pada motor dan menutup box terminal motor induksi yang akan dilakukan pengujian.
2. Menghidupkan generator yang sudah terhubung dengan transformer dan panel
3. Melakukan *on* pada panel
4. Memutar regulator perlahan - lahan sampai tegangan terpenuhi sesuai *nameplate* dan putaran motor sudah maksimal (kurang lebih sesuai *nameplate*)
5. Setelah tegangan dan putaran motor sudah sesuai *nameplate* maka dilakukan pengukuran besarnya arus setiap fasa (R, S dan T)
6. Selanjutnya melakukan pengukuran vibrasi dan suhu motor minimal 1 (satu) jam dan diukur setiap 15 menit sekali.
7. Setelah dianggap tidak ada masalah maka motor dianggap dalam kondisi baik dan panel di *off* (matikan), begitu juga generator.
8. Lepaskan semua kabel dan motor siap untuk dilakukan pengecatan.

4.5.1. PENGUKURAN TEGANGAN DAN ARUS

Tegangan pengujian motor induksi 6,6 kV, 48 A dan 225 kW yang di inject sebesar 6,6 kV dan menggunakan sumber daya dari generator 1200 kVA. Arus no load untuk standar pengukuran di PT. Mesindo Tekninesia adalah $\frac{1}{3}$ dari arus nominal. Alat yang digunakan untuk mengukur besarnya arus adalah tang ampere.

Untuk mengetahui besarnya standar arus pada pengujian *no load* dapat menggunakan persamaan berikut :

$$I_{std} = \frac{1}{3} \times I_n$$

$$I_{std} = \frac{1}{3} \times 48 \text{ A}$$

$$I_{std} = 16 \text{ A}$$

Dari hasil pengukuran, arus yang diukur sebesar 15 A dan hampir mendekati standart maksimal arus.

Maka dapat diketahui pengujian tegangan dan arus baik.

4.5.2. PUTARAN MOTOR

Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui jumlah putaran permenit motor induksi. Alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan adalah tachometer.

Pengukuran dilakukan pada bagian poros (*shaft*) rotor yang sedang berputar. Sebelum *running test*, poros diberi marking terlebih dahulu supaya tachometer dapat membaca jumlah putaran motor induksi. Tachometer yang digunakan dalam pengukuran motor induksi 6,6 kV 225 kW adalah tachometer luthron DT – 2234BL.



Gambar 4.8 Pengukuran Kecepatan Motor

Hasil pengukuran kecepatan motor induksi 6,6 kV 225 kW dapat dilihat pada table 4.9 dibawah ini.

Hasil pengukuran putaran motor induksi didapatkan sebesar 1494 rpm. Hasil pengukuran yang diperoleh telah mendekati kecepatan yang ada di *nameplate* motor sebesar 1500 rpm. Perbedaan putaran pengujian dengan putaran nominal dikarenakan adanya

beda frekuensi antara generator dengan motor.

4.5.3. VIBRASI MOTOR

Pengukuran vibrasi motor induksi dilakukan untuk mengetahui adanya masalah mekanik pada motor induksi di PT. Mesindo Tekninesia vibrasi motor dikatakan baik jika nilai terukur memiliki nilai dibawah 3,8 mm/s. Bagian motor induksi yang diukur geterannya adalah bagian depan dan belakang motor induksi dimana tiap pengukurannya diukur dari sisi horizontal, vertical serta axial. Pada motor induksi milik PT. Pertamina Plaju pengukuran vibrasi motor dilakukan di 5 titik (A, B, C, D, E) pada sisi vertikal maupun horizontal. Alat yang digunakan untuk mengukur getaran adalah *vibration meter*.

Dari hasil pengukuran vibrasi motor induksi 6,6 kV 225 kW sisi DE tertinggi 1,3 mm/s dan sisi NDE tertinggi 1,0 mm/s sehingga dibandingkan dengan standart vibrasi maksimal sebesar 3,8 mm/s, maka dapat diketahui bahwa pada motor induksi 6,6 kV, 225 kW baik.

4.5.4. TEMPERATURE

Pengukuran *temperature* (gambar 4.11) dilakukan untuk mengetahui suhu pada motor. Pengukuran *temperature* pada motor induksi 6,6 kV, 225 kW dilakukan pada *shaft drive end*, *bearing drive end*, *body*, *winding*, dan *bearing non drive end*.

Bagian *shaft drive end* tidak dapat diukur karena tertutup cover kipas pendingin motor.



Gambar 4.10 Pengukuran Suhu Motor

Pengukuran *temperature* dikatakan baik jika dibawah 60°C . Jika melebihi batas maksimal pengukuran, maka harus dilakukan pengecekan motor kembali secara mekanik. Pengukuran dilakukan dengan *thermometer gun*.

Hasil pengukuran selama satu jam didapatkan hasil sebagai berikut

Housing DE : 44°C
Shaft DE : 49°C
Body : 49°C

Dari hasil pengukuran yang didapat maka disimpulkan bahwa suhu motor dalam keadaan baik karena dibawah 60°C .



5. SIMPULAN

Dari analisis hasil pengujian dan perhitungan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil elektrik pada motor induksi 225 kW, 6,6 kV, 48 A, 1484 Rpm

A. Sebelum dilakukan perbaikan hasilnya seperti berikut :

A1. Pada pengujian tahanan isolasi pada *winding stator* didapat nilai yang buruk yaitu *Phase U to Ground* : $7\text{ M}\Omega$, *Phase V to Ground* : $5\text{ M}\Omega$ dan *Phase W to Ground* : $7\text{ M}\Omega$ karena mempunyai nilai dibawah standart EASA AR 100 yaitu $7,6\text{ M}\Omega$.

A2. Pada pengujian tahanan *winding* didapat nilai tahanan

fasa yang *unbalance* atau tidak seimbang yaitu *Phase U – Phase V* : $1,02\ \Omega$

Phase V – Phase W : $0,24\ \Omega$ dan *Phase W – Phase U* : $0,61\ \Omega$ sehingga didapat nilai deviasi sebesar *Phase U* : $76,45\%$, *Phase V* : $60,65\%$ dan *Phase W* : $40,2\%$ sedangkan standart deviasi untuk *resistance* menurut standar EASA AR100 adalah tidak boleh melebihi 5% .

B. Sesudah dilakukan perbaikan hasilnya seperti berikut :

B1. Pada pengujian tahanan isolasi pada *winding stator* didapat nilai yang baik yaitu *Phase U to Ground* : $300\text{ M}\Omega$, *Phase V to Ground* : $300\text{ M}\Omega$ dan *Phase W to Ground* : $300\text{ M}\Omega$ karena mempunyai nilai diatas standart EASA AR 100 yaitu $7,6\text{ M}\Omega$.

B2. Pada pengujian *Polarity Index (PI)* pada *winding stator* didapat nilai yang baik yaitu *Phase UVW to Ground* : $2,1$ karena standart EASA AR 100 yaitu minimal $2,0$

B2. Pada pengujian tahanan *winding* didapat nilai tahanan fasa yang *Balance* atau seimbang yaitu *Phase U – Phase V* : $0,44\ \Omega$

Phase V – Phase W : $0,44\ \Omega$ dan *Phase W – Phase U* : $0,44\ \Omega$ sehingga didapat nilai deviasi sebesar *Phase U* : 0% , *Phase V* : 0% dan *Phase W* : 0% sedangkan standart deviasi untuk *resistance* menurut standar EASA AR100 adalah tidak boleh melebihi 5% .

2. Hasil Pengujian *Running Test no-load* motor induksi 6,6 kV, 225 kW dapat dikatakan baik karena

memenuhi standar pengujian yang ada yaitu

- C. Pada *Running Test no-load* motor induksi tegangan masukan *Phase R* : 6,6 kV, *Phase S* : 6,6 kV dan *Phase T* : 6,6 kV.
- D. Pada *Running Test no-load* motor induksi pengukuran ampere didapatkan *Phase R* : 15 A, *Phase S* : 15 A dan *Phase T* : 15 A sehingga dapat dikatakan hampir mendekati standart maksimal arus (hasilnya baik) yaitu $1/3 \times$ Inominal dengan nilai 16 A.
- E. Pada *Running Test no-load* motor induksi pengukuran vibrasi didapatkan hasilnya baik (standart maksimal 3,8 mm/s) yaitu
Sisi *DE (Drive End)* Maksimal horizontal : 0,9 mm/s, Maksimal Vertikal : 1,3 mm/s dan Maksimal Axial : 1,2 mm/s.
Sisi *NDE (Non Drive End)* Maksimal horizontal : 1,0 mm/s, Maksimal Vertikal : 1,0 mm/s dan Maksimal Axial : 0,7 mm/s.
- F. Pada *Running Test no-load* motor induksi pengukuran Putaran motor didapat hasilnya baik karean putaran motor induksi didapatkan sebesar 1494 rpm. Hasil pengukuran yang diperoleh telah mendekati kecepatan yang ada di nameplate motor sebesar 1500 rpm.
- G. Pada *Running Test no-load* motor induksi pengukuran suhu didapat hasilnya baik karean dibawah nilai maksimal standart yang diperbolehkan (60°C) yaitu maksimal suhu housing DE : 44°C , Body : 49°C dan Journal DE : 49°C .

DAFTAR PUSTAKA

1. Atikah Salmah Aziz, 2018, *Pengujian Elektrik motor listrik AC dan DC*
2. Agah suriagah dan Farid Mulyana, 2013, *Teknik kelistrikan dan elektronika instrumentasi*, BSE.Mahoni.com
3. Ade Laksono, 2010, *Rewinding stator motor induksi*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
4. Siswanto, 2004, *Electrical Rotating Machinery's Assessment*, Dokument PT. Mesindo Tekninishia, Jakarta
5. Siswanto, 2003, *Total Maintenance*, Dokument PT. Mesindo Tekninishia, Jakarta
6. EASA Standard AR 100-2015
7. IEEE Standard 43