

Metoda Sederhana untuk Memperbaiki Kinerja Motor Listrik 3 Fasa berdasarkan Insulation Resistance Test

Asep Ahmad Ruri Irwanto, Hermawan

Program Studi Teknik Elektro Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung
Corresponding Author: roerry@upi.edu

Received: 31th October 2023; Revised: 17th January 2024; Accepted: 23th January 2024;

Available online: 23th January 2024; Published regularly: January 2024

Abstract

Induction motors are an important component in the Electrical Energy Conversion Laboratory. Failure of induction motor operation can be fatal in research activities in energy conversion laboratories. Prevention is needed so that the performance of induction motors remains optimal. This paper was created as an alternative for laboratory users of electrical energy conversion in maintaining the performance of induction motors. Based on a survey conducted by the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), the main cause of electric motor operation failure is generally caused by insulation failure, so electric motor testing is generally dominated by insulation testing. Many insulation testing methods such as Insulation Resistance (IR) testing, Polarization Index (PI), Delta tangent, and other tests. In this paper, IR-based testing is proposed, because it is relatively cheap and easy to implement. The IR testing process is carried out using direct voltage from the Insulation Tester to the sample to be tested using the IEEE 43TM-2013 Standard. The test results show the IR value of the sample motor is good. This condition is categorized as safe to operate, so research activities that use induction motors can run well and safely.

Key Words : *Electrical energy conversion laboratories, Induction motor, Insulation resistance*

Abstrak

Motor induksi merupakan komponen penting di Laboratorium Konversi Energi Listrik. Kegagalan operasi motor induksi dapat berakibat fatal dalam kegiatan penelitian di laboratorium konversi energi listrik. Diperlukan pencegahan supaya kinerja motor induksi tetap optimal. Makalah ini dibuat sebagai alternatif untuk pengguna laboratorium konversi energi listrik dalam merawat kinerja motor induksi. Berdasarkan survey yang dilakukan Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), penyebab utama kegagalan operasi motor listrik umumnya diakibatkan oleh kegagalan isolasi, sehingga pengujian motor listrik umumnya didominasi oleh pengujian isolasi. Banyak metode pengujian isolasi seperti pengujian Insulation Resistance (IR), Polarization Index (PI), Tangen Delta, dan pengujian lainnya. Dalam makalah ini, diusulkan pengujian berbasis pengujian IR, karena relatif murah dan mudah diimplementasikan. Proses pengujian IR dilakukan dengan menggunakan tegangan searah dari Insulation Tester ke sampel yang akan diuji menggunakan standar IEEE 43TM-2013. Hasil pengujian menunjukkan nilai IR motor sampel baik. Kondisi ini dikategorikan masih aman untuk dioperasikan, maka kegiatan penelitian yang menggunakan motor induksi dapat berjalan dengan baik dan aman.

Kata Kunci : *Insulation resistance, Laboratorium konversi energi listrik,, Motor induksi.*

PENDAHULUAN

Di laboratorium konversi energi listrik, pengoperasian motor induksi yang stabil merupakan salah satu faktor terpenting. Kegagalan operasi motor induksi dapat menyebabkan kecelakaan fatal berupa ledakan atau kebakaran pada saat berlangsungnya kegiatan praktikum dan penelitian. Pengujian motor listrik perlu dilakukan secara kontinuitas untuk memastikan motor dalam kondisi baik dan aman digunakan.

Beberapa penelitian yang melakukan pengujian motor induksi yang telah dipublikasikan antara lain: analisis winding insulation pada performa induksi motor tiga phase berbasis logika fuzzy (Fajar Pujiyanto, 2022), pengukuran *insulation resistance* motor 3 fasa ketika beroperasi (Yokota Koji et al., 2019), pemantauan kebocoran arus pada motor AC secara online (Corcaci et al., 2018), asesmen motor listrik berbasis pengujian *insulation resistance* dan *polarization index* (Heryana et al., 2017), tetapi pengujian motor induksi yang digunakan untuk praktikum dan penelitian di laboratorium konversi energi listrik berbasis pengujian sederhana, mudah dan murah masih sedikit dilakukan.

Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Institute of *Electrical and Electronics Engineers (IEEE)* penyebab utama kegagalan operasi motor listrik umumnya diakibatkan oleh kegagalan isolasi [6], maka pengujian motor listrik umumnya didominasi oleh pengujian isolasi. Banyak metode pengujian tahanan isolasi motor listrik seperti *pengujian Insulation Resistance (IR)*, *Polarization Index (PI)*, *Tangen Delta*, *Surge comparison*, dan pengujian isolasi lainnya. Dalam makalah ini, metoda pengujian *Insulation Resistance (IR)* diusulkan, dengan pertimbangan relatif murah dan mudah diimplementasikan. Faktor utama perubahan nilai IR yaitu *electrical stress*, *mechanical stress*, *chemical stress*, *thermal stress* dan *empironmental contamination*

BAHAN DAN METODE

Motor Induksi

Motor induksi adalah mesin listrik yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi merupakan motor yang umumnya digunakan di dunia industri, motor induksi termasuk salah satu jenis motor tak serempak atau motor asinkron. Dikatakan motor asinkron karena rotor bergerak di bawah kecepatan medan putar magnet yang dihasilkan dari fluksi lilitan stator. Berdasarkan suplai inputnya motor induksi terbagi menjadi 2 jenis yaitu motor induksi 1 fasa dan motor induksi 3 fasa.

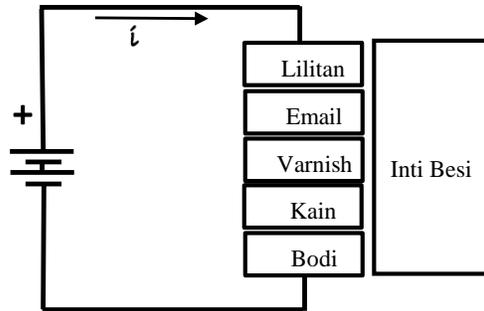


Gambar 1. Motor Induksi 3 Fasa
(sumber: Dokumentasi Lab. Konversi Energi Listrik-UPI)

Sistem Isolasi Motor Induksi

Motor induksi memiliki komponen utama berupa lilitan stator, rotor, inti besidan bodi atau *casing* motor, seperti ditunjukkan pada gambar no. 2 berupa konstruksi motor listrik induksi 3 fasa milik laboratorium Konversi Energi Listrik 3 Fasa. Kawat lilitan stator dan lilitan rotor umumnya diisolasi dengan email, varnish dankain atau isolasi kertas sehingga antara stator, rotor dan bodi motor tidak terhubung atau ada isolator seperti ditunjukkan dalam gambar 3. Faktanya antara lilitan rotor dan lilitan stator memiliki resistansi isolasi antara keduanya maupun dengan inti atau bodi motor, dan nilai tahanannya sangat tinggi dalam skala $M\Omega$. Pada saat motor listrik beroperasi arus akan mengalir pada rotor dan stator serta akan mengalir arus bocor antara keduanya ke bodi motor akibat efek tahanan isolasi. Semakin kecil tahanan isolasi maka semakin

besar arus bocornya, jika hal ini dibiarkan akan mengakibatkan kegagalan operasi motor listrik. Atas dasar itu menjaga nilai tahanan isolasi tetap tinggi dan memenuhi standar yang diperlukan.



Gambar 2. Ilustrasi Isolasi Motor Induksi.

Pengujian *Insulation Resistance (IR)*

Insulation resistance (IR) adalah kemampuan daya isolasi pada lilitan motor untuk menahan kekuatan arus searah yang diinjeksikan menggunakan insulation tester. Hasil dari pengujian isolasi antar lilitan dan bodi motor induksi yang terkoreksi pada temperatur 40°C sesuai acuan standar IEEE 43TM-2013 yang dilakukan pada rentang waktu tertentu (t).

Ilustrasi pengujian *insulation resistance* motor induksi ditunjukkan pada gambar 2. Tampak sumber tegangan searah V_{dc} dihubungkan dengan lilitan dan bodi motor, sehingga akan muncul arus yang masuk pada lilitan motor induksi. Sesuai dengan hukum Ohm, jika tegangan dan arus yang masuk diketahui, maka nilai nilai tahanan isolasi dapat dihitung. Nilai tahanan isolasi yang terukur merupakan nilai tahanan total dari email, varnish dan isolasi kain atau kertas.

Tabel 1. Standar Acuan Tegangan Pengujian *Insulation Resistance*

Rating Tegangan Lilitan (V)	Tegangan Uji <i>Insulation Resistance</i> (V)
<1000	500
1000-2500	500-1000
2501-5000	1000-2500
5001-12 000	2500-5000
>12 000	5000-10 000

Tegangan yang diterapkan untuk melakukan pengujian IR berdasarkan standar IEEE 43TM-2013 ditunjukkan dalam tabel 1, tampak bahwa tegangan uji bervariasi tergantung pada rating tegangan lilitan motor listrik. Pengujian IR dilakukan selama 1 menit dan nilainya akan terpengaruh oleh IR (dalam MΩ) harus dikoreksi pada temperatur 40°C, sesuai dengan persamaan (1) dan (2), sebagai berikut [6]:

$$R_c = K_T R_T \dots \dots \dots (1)$$

$$K_T = (0,5)^{(40-T)/10} \dots \dots \dots (2)$$

- Dengan
- R_c adalah IR setelah terkoneksi temperature 40°C
- K_T adalah koefisien temperatur IR pada T°C
- R_T adalah IR terukur saat pengujian pada T°C

Nilai IR dalam MΩ yang direkomendasikan berdasarkan standar IEEE 43TM-2013 ditunjukkan dalam tabel 2, antara lain tampak bahwa untuk mesin yang diproduksi setelah tahun 1970 dengan rating tegangan di bawah 1 kV (seperti tegangan motor listrik yang dijasdikan sampel dalam makalah ini) harus mempunyai nilai IR minimal 5 MΩ.

Tabel 2. Nilai IR (MΩ) yang Direkomendasikan Pada 40⁰C

Minimum IR (MΩ)	Sampel Uji
IR 1 min = kV+1	Lilitan motor yang diproduksi sebelum tahun 1970
IR 1 min = 100	Mesin/motor listrik dengan rating tegangan di atas 1 kV
IR 1 min = 5	Mesin/motor listrik dengan rating tegangan di bawah 1 kV

Polarization Index (PI)

Polarization Index merupakan pengembangan dari pengujian *insulation resistance*. Pengujian ini melakukan dua kali pengujian, pertama membaca nilai *insulation resistance* pada pengujian 1 menit dan kedua membaca nilai *insulation resistance* pada pengujian 10 menit. Ratio IR10 menit terhadap IR 1 menit dinamakan polarization index, sesuai dengan persamaan 3.

$$PI = IR_{10}/IR_1 \dots\dots\dots(3)$$

dengan
 PI adalah Polarization Index
 IR₁₀ adalah IR dalam pengujian 10 menit
 IR₁ adalah IR dalam pengujian 1 menit

Nilai PI yang direkomendasikan berdasarkan IEEE 43TM-2013 seperti dalam tabel 3, menunjukkan bahwa nilai PI minimum 1,5 untuk mesin/motor induksi dengan kelas termal A, sedangkan untuk kelas termal B dan di atasnya nilai PI minimal 2. Nilai PI kurang dari standar menunjukkan lilitan terlalu banyak menyerap air atau terdapat penumpukkan kotoran konduktif.

Tabel 3. Nilai PI yang Direkomendasikan

Rating Kelas Termal	Minimum PI
kelas 105 (A)	1,5
Kelas 130 (B) dan di atasnya	2,9

METODE PENELITIAN

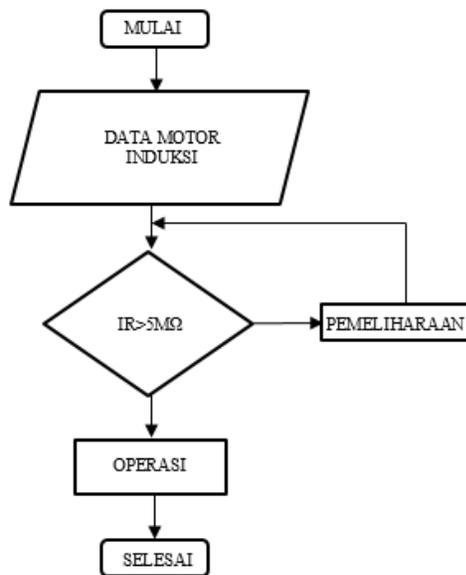
Penulisan penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif, dimana proses penyelesaian masalah mengacu pada *literature review* dari beberapa penelitian sebelumnya sehingga diharapkan dapat memperoleh hasil yang lengkap dengan langkah yang lebih sederhana dan mudah diterapkan untuk pengguna laboratorium ketenaga listrikan dalam memaintenace motor induksi.

Tabel 4. Spesifikasi Motor Sampel Uji

Parameters	Value
Type	J0212-4
Serial No	2103.25
Voltage	380
Frequency	50
Ampere	2,06
Rpm	1380
Cos θ	0,92
Insulation Class	F Class
Ambient Temperature	40 ₀ C

Proses Pengujian

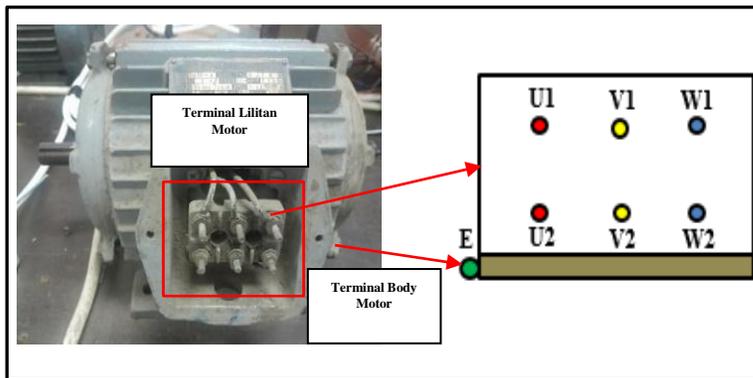
Proses pengujian motor induksi berbasis IR dijelaskan dalam *flowchart* seperti ditunjukkan pada gambar 3. Pengujian diawali dengan melihat data pada motor induksi yang akan diuji seperti tegangan rating, kapasitas dan terminasinya, selanjutnya dilakukan pengujian IR. Hasil pengujian dilakukan dengan standar, jika tidak memenuhi standar maka diusulkan pemeliharaan, sedangkan motor induksi yang memenuhi standar dapat dioperasikan



Gambar 3. *Flowchart* Proses Pengujian Insulation Resistance (IR)

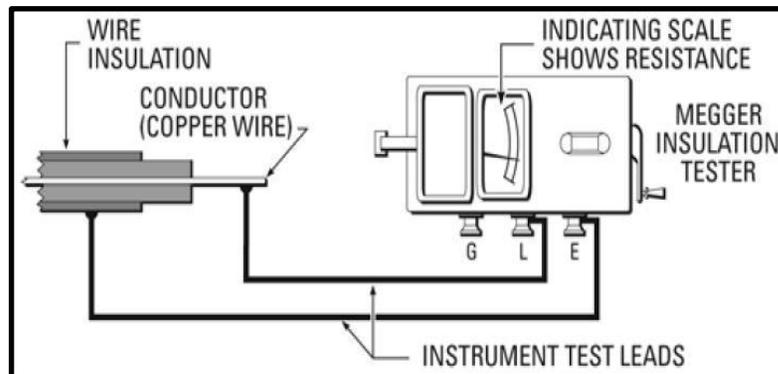
Pengujian dan Analisis

Pengujian dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Listrik, FPTK – UPI dengan mengambil sampel motor induksi 3 fasa, produksi Electric 1989, dengan nomer seri 34289 yang mempunyai kapasitas 3 kW, 380V, dengan bentuk fisik seperti ditunjukkan pda gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi Terminasi Lilitan Motor Induksi

Ilustrasi terminasi motor induksi ditunjukkan pada gambar 4, tampak dalam gambar ada 6 terminal lilitan motor listrik (U,V,W) dan 1 terminal bodi motor listrik (E). Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Insulation Tester*, seperti diilustrasikan pada gambar 5.



Gambar 5. Ilustrasi *Insulation Tester*

Sumber: www.megger.com

Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menerapkan tegangan rating atau di atas rating untuk menginjeksi arus listrik ke dalam lilitan motor. Karena ada sumber listrik dengan tegangan yang besar, maka pengujian harus dilakukan dengan hati-hati dan mengikuti prosedur dengan benar, supaya terhindar dari bahaya sengatan listrik. Pengujian dilakukan pada terminal antar lilitan motor listrik dan lilitan dengan body motor listrik.

Prosedur Pengujian Antar Lilitan Motor

Prosedur pengujian antar lilitan motor diuraikan sebagai berikut:

- Pastikan *insulation tester* dalam kondisi off.
- Hubungkan terminal lilitan U dengan probe Line pada *insulation tester*.
- Hubungkan terminal lilitan V dengan probe Earth pada *insulation tester*.
- Lakukan pengujian dengan menghidupkan power on pada *insulation tester*.
- Putar selector switch pada skala 500V
- Catat nilai tahanan isolasi ($M\Omega$) dan temperatur motor, pada satumenit dan sepuluhmenit.
- Matikan power *insulation tester*
- Groundkan lilitan yang telah diuji dengan menghubungkan lilitan dengan bodi motor untuk menghilangkan arus sisa selama 30 menit.

- Selanjutnya lakukan pengujian IR pada lilitan dan bodi motor.

Prosedur Pengujian Lilitan dan Bodi Motor

Prosedur pengujian antara lilitan dengan bodi motor diuraikan sebagai berikut:

- Pastikan *insulation tester* dalam kondisi off.
- Hubungkan probe Line pada *insulation tester*. Dengan terminal lilitan U pada motor listrik.
- Hubungkan probe Earth pada *insulation tester*. Dengan terminal bodi motor.
- Lakukan pengujian dengan menghidupkan power on pada *insulation tester*.
- Putar selector switch pada skala 500V
- Catat nilai tahanan isolasi ($M\Omega$) dan temperatur motor, pada satumenit dan sepuluhmenit.
- Matikan power *insulation tester*
- Groundkan lilitan yang telah diuji dengan menghubungkan lilitan dengan bodi motor untuk menghilangkan arus sisa selama 30 menit.
- Pengujian selesai. .

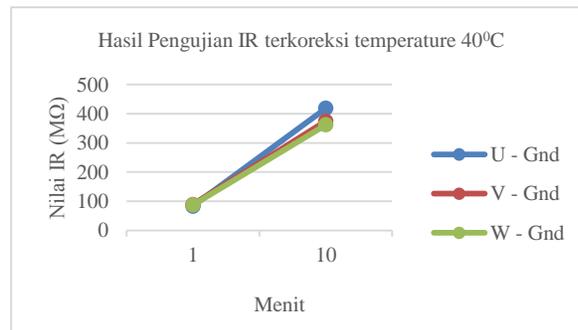
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan dengan temperatur $25^{\circ}C$, sehingga dengan menggunakan persamaan (2) mempunyai koefisien temperatur 0,354. Selanjutnya nilai hasil pengujian IR sebenarnya dikalikan dengan koefisien temperatur dengan menggunakan persamaan (1) sehingga diperoleh hasil pengujian yang sudah terkoreksi seperti ditunjukkan pada tabel 5

Tabel 5. Hasil Pengujian IR terkoreksi temperature $40^{\circ}C$

Waktu (menit)	Nilai IR ($M\Omega$) terkoreksi temperature $40^{\circ}C$		
	U - Gnd	V - Gnd	W - Gnd
1	83,51	88,93	86,98
2 - 9			
10	418,61	347,52	362,11
PI	5,01	3,91	4,16



Gambar 6. Grafik Hasil Pengujian IR

Hasil pengujian menunjukkan nilai IR masih aman menurut standar disyaratkan oleh IEEE std 43TM-2013, yaitu untuk motor induksi dengan tegangan kerja di bawah 1 kV minimal harus mempunyai nilai *insulation resistance* $5 M\Omega$ dan PI minimum yang dipersyaratkan adalah 2, sehingga hasil pengujian *insulation resistance* menyatakan bahwa motor induksi yang telah diuji masih aman untuk dioperasikan.

KESIMPULAN

Suatu pengujian motor listrik 3 fasa berbasis pengujian *Insulation Resistance* telah dilakukan. Hasil pengujian motor induksi 3 fasa menunjukkan nilai *Insulation Resistance* baik, dengan demikian motor listrik 3 fasa aman digunakan untuk kegiatan praktikum maupun penelitian di Laboratorium Konversi Energi Listrik. Mengingat pengujian *Insulation Resistance* dan *Polarization Index* ini sangat murah dan mudah untuk diimplementasikan, maka makalah ini dapat dijadikan sebagai panduan untuk laboran yang berkerja di laboratorium ketenagalistrikan, sehingga kegiatan praktikum yang menggunakan motor induksi 3 fasa dapat berjalan dengan baik, dan keselamatan personal tetap terjaga.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (Ka.LPPM) Universitas Pendidikan Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui skema Penelitian Inovasi Tenaga Kependidikan. Ucapan terimakasih juga kami sampaikan kepada Ketua Laboratorium Konversi Energi Listrik FPTK-UPI yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Corcaci, A, *Online Monitoring of Leakage Current in AC Motors*, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, 2018.kara
- Fajar Pujiyanto, *Analisis Winding Insulation Pada Performa Induksi Motor Tiga Phase Berbasis Logika Fuzzy*, Majalah Ilmiah Bahari Jogja, Sekolah Tinggi Maritim Yogyakarta, 2022
- Hermawan, A., Iradiratu D.P.K, Dewantara, B Y, *Kegagalan Isolasi pada Belitan Stator Motor Induksi Berbasis Fast Fourier Transform*, UniversitasHang Tuah, 2019.
- Heryana, N., *Asesmen Motor Listrik Berbasis Pengujian Insulation Resistance dan Polarization Index*, Institute Teknologi Bandung, 2017.
- Huang, zhe, *Modeling and Testing of Insulation Degradation due to Dynamic Thermal Loading of Electrical Machines*, University of Lund, 2017.
- IEEE Std 43TM – 2013. *IEEE Recommended Practice For Testing Insulation Resistance of Electrical Machinery*, 2013.
- Primer, T.D.M., Connected, D., Voltage, L., & Voltage, H. (n.d). *Three-Phase Dual-Voltage Motor Insulation Resoistance Testing*.
- Koji, Y., & Tsuyoshi, T, *Measuring Insulation Resistance Fot Three-Phase Motor While Operating*, Engineering Departement OMRON ASO Co., Ltd, 2019.
- Megger, *A Stitch in Time.. The Complete Guide to Electrical Insulation Testing*, Megger, 2006.
- P. Gill, *Electrical Power Equipment Maintenance and Testing 2nd Edition*, CRC Press Taylor & Francis Group, 2009.