

STANDAR PENGUJIAN PADA MANUFACTURING STATOR MOTOR TRAKSI 100 KW PANJI ARYA

NUGRAHA¹, NASRUN HARIYANTO²

¹Program Studi Teknik Elektro (Institut Teknologi Nasional)

²Program Studi Teknik Elektro (Institut Teknologi Nasional)

Email : npanjiarya@gmail.com

Received DD MM YYYY | Revised DD MM YYYY | Accepted DD MM YYYY

ABSTRAK

Jurnal Standar Pengujian Pada Manufacturing Stator Motor Traksi 100 KW memiliki fokus pada bidang kajian ilmiah mengenai pengujian saat pembuatan motor traksi. Motor Traksi tersebut akan digunakan untuk penggerak suatu Kereta Rel Listrik (KRL). Semakin berkembangnya jaman kebutuhan sarana transportasi Kereta Rel Listrik semakin meningkat khususnya di kota – kota besar seperti Jakarta. Maka dari itu sangat banyak mesin – mesin listrik yang di gunakan sebagai traksi Kereta Rel Listrik (KRL) salah satunya yaitu motor induksi tiga fasa. Pada penelitian ini digunakan beberapa standar pengujian yang meliputi Tes Impuls, Tes Tegangan Tinggi, dan Tes Resistansi. semua test tersebut nilai yang di peroleh harus sesuai atau mendekati pada standar referensi yang terdapat di IEEE ataupun IEC sehingga kondisimotor induksi tersebut layak untuk di operasikan.

Kata kunci: Motor Traksi, Motor Induksi, Pengujian Stator, Pembuatan Stator, Standar Pengujian

Abstract

The Journal of Testing Standards on Manufacturing Stator Traction Motors 100 KW has a focus on the field of scientific studies regarding testing when manufacturing traction motors. The Traction Motor will be used to drive an Electric Rail Train (KRL). With the development of the era, the need for electric rail transportation facilities is increasing, especially in big cities such as Jakarta. Therefore, there are many electric machines that are used as traction for Electric Rail Trains (KRL), one of which is a three-phase induction motor. In this study, several test standards were used which include the Impulse Test, High Voltage Test, and Resistance Test. In all these tests the values obtained must match or approach the reference standards contained in the IEEE or IEC so that the condition of the induction motor is feasible to operate.

Keywords: Traction Motors, Induction Motors, Stator Testing, Stator Manufacturing, Testing Standard

1. PENDAHULUAN

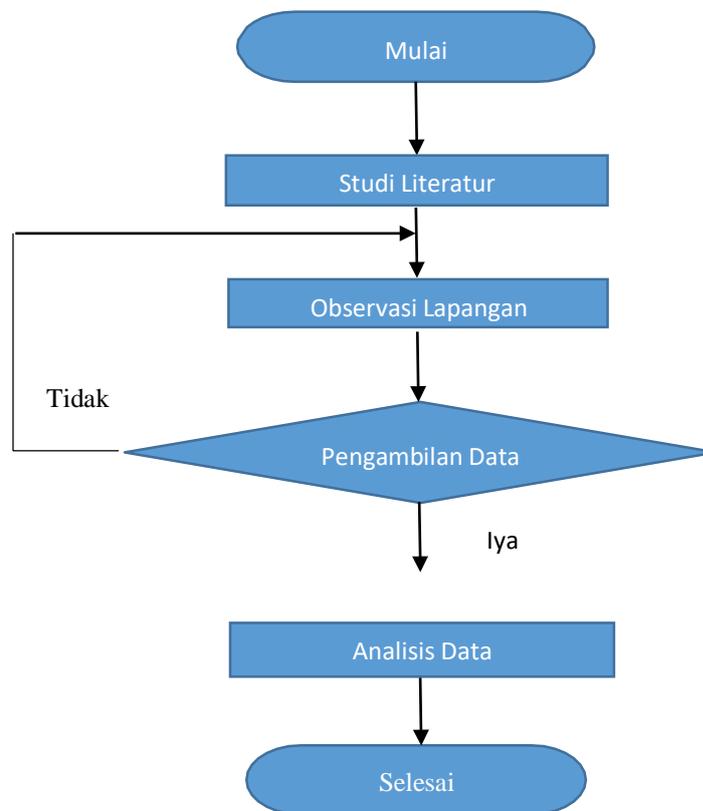
Dalam pembuatannya, kondisi isolasi pada stator motor induksi tiga fasa harus sangat diperhatikan dikarenakan apabila terjadi kebocoran atau *short circuit* maka motor induksipun dinyatakan tidak layak. Beberapa pengujian yang dilakukan dalam menganalisis kondisi isolasi pada stator motor induksi tiga fasa yaitu pengujian tegangan impulse, pengujian tegangan tinggi, dan pengujian resistansi isolasi.

Pengujian tegangan impulse khususnya pada stator coil dilakukan dengan tujuan agar meyakinkan bahwa kualitas isolasi antar turn dalam keadaan baik, selain itu dilakukan untuk meyakinkan bahwa coil satu dengan lainnya hampir serupa atau memiliki karakteristik yang relatif sama. Pengujian tegangan tinggi dilakukan untuk mengetahui ketahanan isolasi terhadap potensial listrik. Terdapat dua jenis pengujian, yaitu pengujian AC dan pengujian DC. Pada dasarnya kedua pengujian ini sama saja, dalam arti bahwa jika dilakukan prosedur pengujian AC kemudian lolos uji maka dapat dipastikan lolos uji pengujian DC begitu pula sebaliknya. Pengujian resistansi coil bertujuan untuk mengetahui seimbang atau tidaknya aliran arus pada ketiga fasanya, jika seimbang maka resistansi yang dihasilkan dari ketiga fasanya akan sama. Dengan besar arus yang sama pada ketiga fasanya pun akan sama, sehingga berdampak pada putaran motor (rotor) yang baik dan seimbang pada seluruh bagian stator tiga fasa tersebut.

Kriteria lolos uji dari semua pengujian baik berdasarkan standar IEC atau standar IEEE adalah dengan kita mengamati perbandingan dua hasil pengujian, apabila nilai yang didapatkan dilapangan sesuai dengan standar yang ada, maka motor induksi dinyatakan lolos uji.

2. METODELOGI PENELITIAN

2.1. Diagram Alir



2.2. Standar Pengujian

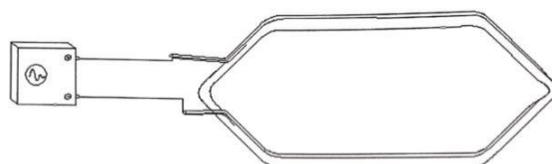
2.2.1. Uji Tegangan Impuls

Tujuan dilakukan impulse test khususnya pada stator coil adalah untuk meyakinkan bahwa kualitas isolasi antar turn dalam keadaan baik, selain itu dilakukan untuk meyakinkan bahwa coil satu dengan lainnya hampir serupa atau memiliki karakteristik yang relatif sama.

Metode impulse test untuk coil testing, test voltage, dan interpretasi dari hasil test berdasarkan pada standard berikut :

1. IEC 60034-15 (2009) : besarnya level tegangan pengujian impulse yang hendak diujikan pada coil stator untuk mesin berputar AC.
2. IEEE std.522 (2004) : langkah – langkah atau petunjuk untuk melakukan pengujian isolasi antar turn yang hendak diujikan pada coil stator untuk mesin berputar AC.

Skema pengujian tegangan impuls sebelum insert sebagai berikut :



Gambar 1. Skema Pengujian impulse test

Tegangan uji ditentukan beberapa persamaan berikut :

1. Berdasarkan IEC 60034-15 : Tegangan uji = $0,5 * 0,65 * (4 + 5kV)$
2. Berdasarkan IEEE std.522 :

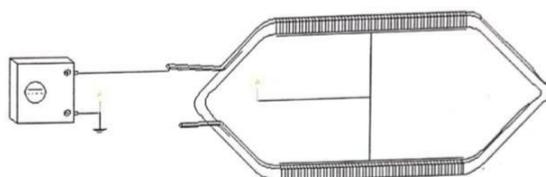
$$\text{Tegangan uji} = 0,7 * 3,5 * \sqrt{\frac{2}{3}} * U_N$$

2.2.2. Uji Tegangan Tinggi

Tes tegangan tinggi merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui atau menguji ketahanan isolasi terhadap potensial listrik.

Tegangan uji tes tegangan tinggi telah diatur dalam standar yaitu standar IEEE 432 dan IEEE 95. Pada IEEE 95 dikemukakan bahwa besarnya tegangan berakdown pada tes tegangan tinggi DC 1,7 kali lebih tinggi dibandingkan dengan tes tegangan tinggi AC sehingga secara otomatis tegangan uji tes tegangan tinggi harus 1,7 kali lebih besar dibandingkan tegangan uji tes tegangan tinggi AC. Pada IEEE 432 dikemukakan bahwa untuk keperluan keamanan dari kenaikan tegangan yang biasanya dapat mencapai 125% maka dapat diberikan faktor keamanan sebesar 1,25 pada tegangan uji, sehingga faktor keamanan ini dapat dipenuhi maka akan didapatkan motor dengan kualitas maksimum.

Skema pengujian tegangan tinggi adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Skema pengujian tegangan tinggi

Persamaan-persamaan tegangan uji coba uji tegangan tinggi adalah sebagai berikut :

1. Uji tegangan tinggi AC tanpa faktor keselamatan

$$U_p = (2 * U_N) + 1kV$$

2. Uji tegangan tinggi DC tanpa faktor keselamatan

$$U_p = [(2 * U_N) + 1kV] * 1.7$$

3. Uji tegangan tinggi AC dengan faktor keselamatan

$$U_p = [(2 * U_N) + 1kV] * 1.25$$

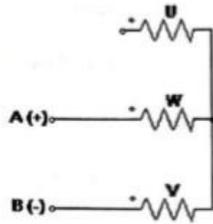
2.2.3. Uji Resistansi

Besarnya resistansi yang biasa diukur dalam winding stator adalah resistansi coil dan resistansi isolasi. Berikut penjelasan keduanya.

1. Uji Resistansi Coil

Mengukur resistansi coil bertujuan untuk mengetahui seimbang atau tidaknya aliran arus pada ketiga fasanya, jika seimbang maka resistansi yang dihasilkan dari ketiga fasanya akan sama. Dengan besar arus yang sama pada ketiga fasanya pun akan sama, sehingga berdampak pada putaran motor (rotor) yang baik dan seimbang pada seluruh bagian stator tiga fasa tersebut.

Contoh skema pengukuran digambarkan seperti berikut :



Gambar 3. Skema pengujian resistansi coil

Berdasarkan skema diatas, kita tempatkan ohm meter (multimeter) pada terminal A-B maka akan kita dapatkan resistansi coil fasa-fasa V-W, lakukan untuk U-V dan U-W. Sehingga dengan sedikit substitusi kita akan dapatkan nilai resistansi coil masing-masing fasa.

2. Uji Resistansi Isolasi

Mengukur resistansi isolasi yang dilakukan berdasarkan tegangan kerja motor, hasil yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan standar yang ada akan menggambarkan kondisi coil.

3. ISI

3.1. Uji Tegangan Impuls

Tegangan impuls (U_p) dirumuskan sebagai berikut :

$$U_p = 0.5 \times 0.65 \times (4U_n + 5kV)$$

Untuk motor jenis ini $U_n = 0.55$ kV sehingga didapat :

$$U_p = 0.5 \times 0.65 \times (4 (0.55) + 5 kV)$$

$$U_p = 0.5 \times 0.65 \times 7.32 kV$$

$$U_p = 2.379 kV$$

Nilai berbeda dengan yang di gunakan di lapangan sebesar 3 kV, namun masih mendekati perhitungan diatas. Seperti dijelaskan pada teori dasar bahwa perhitungan menggunakan standar IEC 60034-15 dan IEEE 522 bisa saja berbeda bila di gunakan tegangan uji dengan nilai yang paling besar di antara kedua hasil tersebut maka akan menghasilkan kemampuan coil yang maksimum karena jika lapisan isolasi antara turn dapat menahan tegangan uji paling tinggi tentu dapat menahan tegangan yang lebih rendah. Namun jika digunakan tegangan uji dengan nilai paling besar di antara hasil tersebut akan memperbesar kesempatan atau resiko kerusakan "*breakdown*" pada coil pada saat pengujian. Namun coil yang dihasilkan belum tentu merupakan coil dengan kemampuan lapisan isolasi antar turn yang maksimum.

3.2. Uji Tegangan Tinggi

Standar pengukuran AC dilapangan digunakan sebesar sebagai berikut :

$$HVAC = 2(U_n + 1)$$

Pada motor 100 kW ini memiliki $U_n = 0.55$ kV, maka

$$HVAC = 2(0.55 \text{ kV} + 1)$$

$$HVAC = 2.1 \text{ kV}$$

Untuk pengukuran DC tagangan harus 1.7 kali lebih besar, maka

$$HVDC = [(2 \times U_n) + 1kV] \times 1.7$$

$$U_p = [(2 \times 0.55kV) + 1kV] \times 1.7$$

$$U_p = 3.75 \text{ kV}$$

DC HiPot test dengan menggunakan safety-factor untuk motor dengan $U_n = 0.55 \text{ kV}$ ini :

$$U_p = [(2 \times U_n) + 1kV] \times 1.7 \times 1.25$$

$$U_p = [(2 \times 0.55) + 1kV] \times 1.7 \times 1.25$$

$$U_p = 4.46 \text{ kV}$$

Tegangan uji sangat besar dibandingkan dengan nominal motor tersebut, karena seperti tertera pada standar IEEE 95 bahwa untuk pengujian HiPot DC, isolasi dari coil dapat bertahan 1.7 kali lebih besar dibandingkan dengan HiPot AC sehingga tentunya tegangan uji HiPot DC ini hanya 1.7 lebih besar pula, dan untuk hasil pengujian secara aktualnya motor 100 kW ini memiliki nilai 4.0 kV, nilai tersebut tidak jauh dengan hasil perhitungan menurut Standar yang ada.

3.3. Uji Resistansi

Besarnya resistansi yang biasa diukur dalam *winding stator* adalah resistansi coil dan resistansi isolasi. Berikut penjelasan keduanya.

1. Uji Resistansi Coil

Hasil yang diperoleh dalam pengukuran tahap ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Pengukuran Resistansi Coil

Fasa – Fasa	Conductor Resistance (mΩ)
U-W	60.2
U-V	60.1
V-W	60.5

Sehingga hasil pengukuran dapat kita representasikan pada persamaan matematis sederhana sebagai berikut

$$R_U + R_V = 116.3... (1)$$

$$R_V + R_W = 116.6... (2)$$

$$R_U + R_W = 117... (3)$$

Jumlahkan seluruh persamaan diatas sehingga didapat :

$$2R_U + 2R_V + 2R_W = 116.3 + 116.6 + 117$$

$$2R_U + 2R_V + 2R_W = 349.9$$

$$2 \times (R_U + R_V + R_W) = 349.9$$

$$R_U + R_V + R_W = \frac{349.9}{2}$$

$$R_U + R_V + R_W = 174.95 \dots (4)$$

Substitusikan persamaan (4) persamaan (2), maka akan didapat:

$$(R_U + R_V + R_W) - (R_V + R_W) = 174.95 - 116.6 R_U = 174.95 - 116.6$$

$$R_U = 58.35 \text{ m}\Omega \dots (5)$$

Substitusikan persamaan (4) persamaan (3), maka akan didapat:

$$(R_U + R_V + R_W) - (R_U + R_W) = 174.95 - 117$$

$$R_V = 174.95 - 117$$

$$R_V = 57.95 \text{ m}\Omega \dots (6)$$

Substitusikan persamaan (4) persamaan (1), maka akan didapat:

$$(R_U + R_V + R_W) - (R_U + R_V) = 174.95 - 116.3$$

$$R_W = 174.95 - 116.3$$

$$R_W = 58.65 \text{ m}\Omega \dots (7)$$

Maka hasil akhirnya didapat :

$$R_U = 58.35 \text{ m}\Omega ; R_V = 57.95 \text{ m}\Omega ; R_W = 58.65 \text{ m}\Omega$$

Memberikan perbedaan antara hasil pengukuran setiap fasanya, namun perbedaan ini cukup tipis. Perbedaan yang tipis ini besar kemungkinan diakibatkan karena dimensi coil seperti panjang coil, luas penampang, dan lain – lain pada setiap fasanya tidak persis sama. Dengan perbedaan yang cukup tipis ini masih dapat dikatakan *balance* atau seimbang antara ketiga fasa tersebut.

2. Uji Resistansi Isolasi

Pengukuran berdasarkan standar prosedur IEEE 43-2000 yang telah diutarakan pada teori dasar, tegangan uji menggunakan tegangan berkisar 2500V – 5000V karena rating tegangan motor 0.55 kV. Dilapangan digunakan megger dengan setting tegangan 5500 V yang berarti telah sesuai dengan standar pengujian megger. Berikut merupakan hasil yang didapat dari pengukuran megger pada motor 100 kW:

Tabel 2. Hasil pengukuran tahanan isolasi menggunakan megger test

Pengukuran	Hasil (MΩ)
U1-Ground	35600

Hasil yang didapat dari perhitungan sebesar 35600 MΩ jika kita bandingkan dengan standar IEEE 43-2000 telah memenuhi standar.

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini menunjukkan kondisi dari motor traksi ini setelah dilakukan proses pengetesan selama manufacturing dinyatakan baik dan lolos uji. Sebab pada hasil penelitian ini untuk setiap percobaannya telah memenuhi standar dari IEC 60034-15 (2009) , IEEE std.522 (2004) , IEEE 432 , IEEE 95 , IEEE 43-2000. Nilai pengujian impulse yang dilakukan dilapangan yaitu sebesar 3 kV sedangkan menurut standar yang ada yaitu sebesar 2.379 kV yang artinya kondisi motor dalam keadaan baik dan dinyatakan lolos uji. Nilai pengujian tegangan tinggi yang dilakukan dilapangan yaitu sebesar 4 kV sedangkan menurut standar yaitu sebesar 3.75 kV yang menandakan bahwa motor dalam keadaan baik dan dinyatakan lolos uji. Nilai tes resistansi konduktor di ketiga fasanya didapat $R_u = 58.35 \text{ m}\Omega$, $R_v = 57.95 \text{ m}\Omega$, dan $R_w = 58.65 \text{ m}\Omega$ memberikan perbedaan antara hasil pengukuran setiap fasanya, namun dengan perbedaan yang tipis ini masih bisa dikatakan seimbang antara ketiga fasanya. Pengukuran resistansi isolasi menggunakan tegangan berkisar 2500V – 5000V karena rating tegangan motor 0.55 kV. Dilapangan digunakan megger dengan setting tegangan 5500 V yang berarti telah sesuai dengan standar pengujian megger dan menghasilkan nilaisebesar 35600 kV.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada PT. PINDAD (PERSERO) yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian ini sehingga penulis dapat menggunakan data internal sebagai bahan penulisan jurnal penelitian ini. Tidak lupa penulis berterima kasih juga kepada Pak Suherlar yang membantu dan membimbing penulis selama penelitian berlangsung. Untuk kedepannya semoga artikel ini bisa menambah wawasan kepada parapembaca.

DAFTAR RUJUKAN

- IEEE 43. (2000). *Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machinery*. United States Of America. The Institute of Electrical and Electronic Engineers Inc.
- IEEE 432. (1992). *Guide for Insulation Maintenance for Rotating Electric Machinery 5hp to less than 10,000 hp*. United States Of America. The Institute of Electrical and Electronic Engineers Inc.
- IEEE 522. (1992). *Guide for Testing Turn-to-Turn Insulation on Form-Wound Stator Coils for Alternating- Current Rotating Electric Machines*. United State Of America. The Institute of Electrical and Electronic Engineers Inc.
- (PERSERO), P. (2018). *Profile Perusahaan*. Diambil kembali dari <https://www.pindad.com>
- (PERSERO), P. (2018) *Visi dan Misi*. Diambil kembali dari <https://www.pindad.com/vision-and-mission>(PT. PINDAD) 2019. *Pembuatan Stator Motor Traksi 100 KW PT.PINDAD*
- Wildi, Theodore, 2005. *Electrical Machines, Drive and Power Systems Sixth Edition*

