
**ANALISIS HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI (IR) DAN POLARIZATION
INDEX (PI) PADA MOTOR INDUKSI TIGA FASA 6 KV SISTEM CIRCULATING
WATER PUMP (CWP) DI PLTGU PT PLN NUSANTARA POWER UNIT
PEMBANGKITAN**

Ivan Aditya Pasaribu¹, Masitoh Nur Pertiwi², Faiz Ibnu Habib³, Desman Jonto Sinaga⁴

^{1,2,3,4}Universitas Negeri Medan

Email: pasaribu0311@gmail.com¹, masitohnurp@gmail.com²,
faizibnuhabib0506@gmail.com³, desmansinaga@unimed.ac.id⁴

Abstrak: Penelitian ini membahas evaluasi kondisi isolasi motor induksi tiga fasa bertegangan 6 kV yang berfungsi sebagai *Circulating Water Pump* pada PLTGU PT PLN Nusantara Power UP. Motor ini bekerja secara terus-menerus pada lingkungan lembab sehingga rentan mengalami penurunan kualitas isolasi yang dapat mengganggu keandalan sistem pendinginan pembangkit. Tujuan penelitian ini adalah mengukur besarnya tahanan isolasi dan indeks polarisasi, serta menilai kelayakannya berdasarkan standar IEEE 43. Metode yang digunakan meliputi studi literatur, Penelitian lapangan, dan pengujian menggunakan megger pada setiap fasa terhadap ground. Hasil pengujian menunjukkan kecenderungan penurunan nilai IR dan PI yang mengindikasikan adanya degradasi isolasi. Analisis yang dilakukan menegaskan perlunya pemeliharaan preventif dan pemantauan berkala untuk memastikan motor tetap beroperasi dengan aman dan andal.

Kata Kunci: Motor Induksi Tiga Fasa, Tahanan Isolasi, PLTGU, Pengujian Megger.

Abstract: This study evaluates the insulation condition of a 6 kV three-phase induction motor operating as a *Circulating Water Pump* at the combined-cycle power plant of PT PLN Nusantara Power UP. The motor operates continuously in a humid environment, making it susceptible to insulation degradation that may disrupt the reliability of the plant's cooling system. The objective of this research is to determine the insulation resistance and polarization index and assess their compliance with IEEE 43 standards. The methodology includes literature review, field research, and insulation testing using a megger for each phase to ground. The results indicate decreasing IR and PI values, suggesting insulation deterioration. The analysis emphasizes the necessity of preventive maintenance and regular monitoring to ensure safe and reliable motor operation.

Keywords: Three-Phase Induction Motor, Insulation Resistance, PLTGU, Megger Testing.

PENDAHULUAN

Motor induksi tegangan menengah memiliki peran penting dalam sistem pembangkit listrik, salah satunya adalah motor induksi yang digunakan pada *Circulating Water Pump*

(CWP) atau pompa sirkulasi air. Pompa ini berfungsi untuk mengalirkan air laut pada sistem pendingin di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) maupun Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTGU). Air laut yang dipompa oleh CWP digunakan untuk mendinginkan uap hasil kerja turbin di kondensor, sehingga uap tersebut dapat berubah kembali menjadi air dan dimanfaatkan ulang dalam proses siklus pembangkitan.

Motor CWP beroperasi secara kontinu dan berada di lingkungan dengan tingkat kelembaban tinggi, sehingga sistem isolasinya sangat rentan mengalami degradasi. Penurunan kualitas isolasi ini dapat menyebabkan kerusakan fungsi motor yang berdampak langsung terhadap stabilitas dan keandalan operasi unit pembangkit secara keseluruhan.

Untuk menjaga keandalan motor, diperlukan metode pengujian prediktif yang mampu mendeteksi indikasi awal kerusakan pada sistem isolasi. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah pengujian *Insulation Resistance* (IR) dan *Polarization Index* (PI). Nilai IR menunjukkan tahanan antara belitan dengan tanah ketika diberikan tegangan DC, sedangkan PI merupakan perbandingan nilai IR pada menit ke-10 terhadap menit ke-1. Nilai IR yang rendah atau PI yang berada di bawah 2,0 menandakan adanya indikasi kelembaban atau degradasi isolasi, sehingga diperlukan tindakan perbaikan atau proses pengeringan sebelum motor kembali dioperasikan.

Dalam pelaksanaan pengujian pada motor CWP, digunakan acuan standar IEEE 43, yang menetapkan batas minimum kelayakan sistem isolasi, khususnya untuk motor dengan tegangan operasi 6 kV. Standar ini merekomendasikan nilai minimum IR sebesar $(kV + 1) M\Omega$, serta menjadikan pengujian PI sebagai indikator kualitas isolasi jangka panjang. Dengan melaksanakan pengujian IR dan PI secara rutin dan berkala, potensi gangguan dapat diketahui lebih awal, sehingga meningkatkan keandalan, efisiensi, dan keselamatan operasi pembangkit listrik.

A. Rumusan Masalah

Sebagai contoh, laporan dari penelitian ini akan membahas rumusan berikut:

1. Bagaimana metode pengukuran nilai tahanan isolasi pada motor induksi tiga fasa dilakukan?
2. Dengan cara apa kualitas atau kondisi isolasi pada motor induksi tiga fasa dapat dievaluasi?

3. Berapa besar nilai *Polarization Index* (PI) yang diperoleh dari hasil pengujian tahanan isolasi pada motor induksi tiga fasa?
4. Apa saja tahapan atau prosedur yang dilakukan untuk memperbaiki dan meningkatkan nilai tahanan isolasi pada motor *Circulating Water Pump* (CWP) di PLTGU?

B. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memberikan kesempatan kepada siswa untuk:

1. Memiliki pemahaman tentang sistem kerja motor C.W.P.
2. Informasikan kondisi tahanan isolasi motor C.W.P pada PLTGU.
3. Mengetahui prosedur: Prosedur untuk meningkatkan nilai isolasi motor C.W.P pada PLTGU.

LANDASAN TEORI

1. Motor Induksi 3 Fasa

Motor induksi merupakan salah satu jenis motor listrik yang paling sederhana, memiliki konstruksi yang kuat, dan tersedia dalam berbagai kapasitas kVA. Motor ini bekerja dengan mensuplai arus bolak-balik pada bagian stator secara langsung, sedangkan rotor menerima arus melalui induksi elektromagnetik dari stator, layaknya prinsip kerja sebuah transformator. Disebut sebagai motor induksi karena arus pada rotor tidak berasal dari sumber eksternal, tetapi timbul akibat induksi yang terjadi ketika terdapat perbedaan kecepatan relatif antara putaran rotor dengan medan magnet berputar yang dihasilkan stator. Medan magnet berputar menjadi prinsip utama pada motor induksi tiga fasa, sementara motor induksi satu fasa tidak secara alami menghasilkan medan putar.

Motor induksi tiga fasa beroperasi pada kecepatan yang relatif konstan, mulai dari kondisi tanpa beban hingga beban penuh. Kecepatan ini dipengaruhi oleh frekuensi sumber, sehingga pengaturan kecepatan pada motor induksi tiga fasa tidak dapat dilakukan secara mudah tanpa peralatan tambahan. Kendati demikian, motor ini memiliki berbagai keunggulan, seperti struktur yang sederhana, kokoh, harga ekonomis, mudah dirawat, dan dapat dibuat dengan karakteristik sesuai kebutuhan industri. Pada motor asinkron tiga fasa, arus dan fluks magnet pada masing-masing fasa berubah terhadap waktu, dan menghasilkan fluks total yang berputar

mengelilingi stator secara radial. Fluks berputar ini disebut medan putar, sedangkan kecepatan putarnya dikenal sebagai kecepatan sinkron.

Motor induksi tiga fasa banyak diterapkan dalam dunia industri karena berbagai kelebihan yang dimilikinya, meskipun tetap memiliki beberapa kekurangan yang perlu dipertimbangkan.

Keuntungan :

- a. Tidak membutuhkan peralatan tambahan untuk proses starting dan tidak memerlukan kondisi sinkron dengan sumber tegangan untuk dapat beroperasi secara stabil.
- b. Desainnya sederhana dan memiliki daya tahan yang tinggi, terutama pada motor induksi jenis squirrel cage yang konstruksinya sangat kokoh dan jarang mengalami kerusakan mekanis.
- c. Memiliki efisiensi yang tinggi, karena ketika motor beroperasi pada kondisi normal tidak menggunakan sikat (brush). Hal ini mengurangi rugi-rugi daya yang biasanya timbul akibat gesekan dan hambatan pada sistem sikat.

Kekurangan:

- a. Tidak seperti motor DC, kecepatannya dapat menurun jika seiring dengan bertambahnya beban
- b. Kecepatan tidak dapat berubah tanpa adanya pengorbanan efisiensi

2. Prinsip Kerja Motor Induksi

Pada umumnya terdapat beberapa dari prinsip penting dari motor induksi meliputi sebagai berikut ini:

- a. Ketika sumber tegangan tiga fasa diberikan pada kumparan stator, akan terbentuk medan magnet berputar dengan suatu kecepatan tertentu (kecepatan sinkron).

$$n_s = \frac{120}{P} f$$

- b. Medan magnet berputar yang dihasilkan stator tersebut memotong konduktor rotor, sehingga terjadi interaksi elektromagnetik antara stator dan rotor.
- c. Akibat pemotongan medan magnet tersebut, pada batang konduktor rotor timbul GGL induksi.

- d. Karena batang konduktor rotor membentuk rangkaian tertutup, GGL induksi tersebut akan menghasilkan arus listrik (I) di dalam rotor.
- e. Arus yang mengalir dalam batang konduktor rotor, ketika berada di dalam medan magnet, akan menghasilkan gaya (F) elektromagnetik pada rotor.
- f. Jika torsi (kopel) yang ditimbulkan oleh gaya tersebut cukup besar untuk mengatasi beban, maka rotor akan mulai berputar mengikuti arah medan magnet berputar stator.
- g. Berdasarkan penjelasan tersebut, GGL induksi pada rotor hanya dapat timbul bila terdapat perbedaan kecepatan antara medan magnet berputar stator (n_s) dan kecepatan putar rotor (n_r). Perbedaan ini disebut slip, dan menjadi syarat utama beroperasinya motor induksi.

3. Medan Magnetik Berputar

Kinerja motor induksi sangat bergantung pada medan magnet berputar yang dihasilkan di dalam celah udara motor oleh arus yang mengalir pada lilitan stator. Pada motor induksi tiga fasa, lilitan stator disusun dengan jarak sudut sebesar 120° listrik antar fasanya. Susunan lilitan ini dapat disederhanakan, misalnya pada motor dua kutub dengan hubungan Y. Ketika lilitan stator diberi suplai tegangan tiga fasa, arus pada masing-masing fasa akan berubah sesuai fungsi waktu. Perubahan arus tersebut membangkitkan fluksi yang berdenyut pada setiap fasa, dan ketiga fluksi ini kemudian berpadu membentuk medan magnet berputar.

4. Efisiensi Motor Induksi 3 Fasa

Efisiensi pada motor induksi merupakan ukuran seberapa efektif motor tersebut mengubah energi listrik yang diterimanya menjadi energi mekanik. Nilai efisiensi ini dinyatakan sebagai perbandingan antara daya keluaran (output) yang dihasilkan motor dengan daya masukan (input) yang diterima motor. Secara umum, efisiensi motor induksi dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\%$$

Berdasarkan persamaan efisiensi tersebut, dapat dipahami bahwa nilai efisiensi motor induksi tidak pernah mencapai 100%. Hal ini disebabkan oleh berbagai kerugian daya yang muncul selama motor beroperasi. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui jenis-jenis rugi daya yang terjadi sehingga efisiensi motor dapat dianalisis dan dipahami dengan lebih tepat.

- a. Kerugian pada belitan motor, yaitu kerugian listrik yang terjadi akibat hambatan pada kumparan stator maupun rotor. Kerugian ini sering disebut sebagai rugi-rugi tembaga atau rugi-rugi belitan.
- b. Kerugian yang timbul akibat putaran motor, yaitu kerugian mekanis yang muncul karena bagian rotor berputar. Jenis kerugian ini dikenal sebagai rugi-rugi rotasi, meliputi gesekan (*friction loss*) dan kerugian ventilasi (*windage loss*).

5. Pemeliharaan Motor Induksi

Motor induksi umumnya dirancang agar kebutuhan perawatannya minimal, sehingga pengguna tidak perlu menghabiskan banyak waktu dan tenaga untuk menjaga motor tetap dalam kondisi andal. Kegiatan pemeliharaan yang diperlukan mencakup pemeriksaan bagian luar motor, pelumasan, serta pemeliharaan bagian dalam motor.

Pada bagian luar motor, aspek yang harus diperhatikan meliputi kebersihan rangka motor dan sirip-sirip pendinginnya, serta kelengkapan pendukung, seperti kapasitor pada motor jenis motor kapasitor. Kebersihan yang terjaga akan memastikan proses pendinginan berjalan optimal, sehingga motor tidak mengalami panas berlebih (*overheat*) selama beroperasi. Hal ini membantu mempertahankan performa motor dalam jangka panjang. Apabila cat pada rangka motor telah mengelupas, sebaiknya dilakukan pengecatan ulang untuk menjaga keawetan rangka.

Selanjutnya, pelumasan juga menjadi bagian penting dalam pemeliharaan, terutama terkait kondisi bantalan (*bearing*). Kondisi bantalan dapat diperiksa dengan mendengarkan suara saat rotor berputar; jika suara yang dihasilkan halus dan tidak bising, maka pelumasan masih baik. Pemeriksaan juga dapat dilakukan dengan memutar poros rotor secara manual untuk mengetahui apakah masih berputar dengan ringan atau sudah terasa berat atau seret. Pembongkaran untuk perawatan berkala (*overhaul*) perlu dilakukan sesuai masa pakai bantalan yang direkomendasikan oleh pabrik pembuatnya. Penggantian bantalan dan jenis pelumas juga harus mengikuti petunjuk pabrik agar kinerja bantalan tetap optimal.

Untuk bantalan dengan salah satu sisi tertutup, pelumasan ulang tidak diperlukan; bantalan dapat langsung diganti setelah masa pakainya habis. Sementara itu, bantalan dengan salah satu atau kedua sisi terbuka membutuhkan pelumasan secara berkala. Bila menggunakan bantalan dengan satu sisi tertutup, pemasangannya dilakukan dengan sisi tertutup menghadap ke bagian dalam motor, sedangkan sisi terbuka menghadap ke luar.

Aspek penting lainnya adalah menjaga kebersihan bagian dalam motor. Meskipun konstruksi rangka motor umumnya cukup rapat untuk mencegah masuknya debu, pembersihan bagian dalam tetap perlu dilakukan secara berkala, terutama ketika motor dibongkar untuk perbaikan. Pembersihan dapat dilakukan menggunakan lap kering atau penyedot debu (vacuum cleaner) pada kumparan rotor dan stator. Selain itu, perlu dilakukan pengukuran tahanan isolasi menggunakan Mega-Ohm-meter (megger). Nilai tahanan isolasi minimum adalah $1.000\ \Omega$ untuk setiap 1 Volt tegangan kerja. Untuk motor dengan tegangan suplai 380 Volt, tahanan isolasi minimal yang diperbolehkan adalah 380 k Ω . Jika hasil pengukuran menunjukkan nilai yang kurang baik, kumparan motor dapat dikeringkan atau dipanaskan, dan bila diperlukan diberi kembali cairan pernis isolasi (varnish) agar kualitas isolasinya membaik.

6. Tahanan Isolasi (IR)

Tahanan isolasi merupakan parameter yang menunjukkan kemampuan suatu sistem isolasi dalam membatasi aliran arus listrik melalui belitan. Pengujian tahanan isolasi dilakukan untuk menilai kondisi material isolasi, terutama terkait pengaruh kelembaban, kontaminasi, serta kemungkinan adanya cacat serius pada struktur isolasinya. Metode pengukuran ini sangat dipengaruhi oleh volume dan karakteristik bahan isolasi yang diuji. Melalui nilai tahanan isolasi, dapat diketahui baik kelemahan material maupun gambaran umum mengenai kekuatan dielektriknya (Gill, 2009).

Kualitas performa isolasi dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti temperatur operasi, tingkat kelembaban, durasi penggunaan peralatan, serta kondisi lingkungan sekitar. Untuk mesin-mesin elektromekanis, prosedur standar dalam melakukan pengujian tahanan isolasi telah diatur dalam IEEE Std 43-2013 (Committee, 2013). Pengujian ini menjadi bagian penting dalam memastikan keandalan peralatan, termasuk pada sistem di Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU).

$$IR = \frac{E(t)}{I(t)}$$

Dimana IR merupakan nilai tahanan isolasi yang dinyatakan dalam satuan Megaohm. Besaran $E(t)$ menunjukkan nilai tegangan DC yang terbaca dalam satuan Volt pada saat pengujian, sedangkan $I(t)$ adalah arus yang terukur dalam satuan mikroampere beberapa detik setelah tegangan uji diberikan.

7. Pengujian Polarisasi Indeks (PI)

Metode pengujian ini merupakan varian khusus dari dielectric absorption test. Nilai *Insulation Resistance* (IR) atau tahanan isolasi pada stator diukur pada kondisi suhu ruangan 40°C. Sebelum pengukuran dilakukan, hubungan way (Y) pada motor harus dilepas terlebih dahulu dari ground. Setelah itu, pengukuran dilakukan pada setiap fase, yaitu fase R, S, dan T, dengan masing-masing fase diuji langsung terhadap ground. Dengan demikian, alat ukur yang digunakan adalah megger tipe fase-ke-ground.

Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengidentifikasi potensi penurunan kualitas atau kelemahan isolasi. Pemeriksaan isolasi secara berkala dapat dilakukan menggunakan megger, yang memberikan hasil pembacaan langsung dalam satuan megaohm. Nilai tahanan isolasi pada dasarnya mencerminkan besarnya arus bocor yang mengalir melalui sistem isolasi. Karena nilai tahanan sangat dipengaruhi oleh faktor temperatur serta durasi pemberian tegangan uji pada lilitan, kedua parameter tersebut harus dicatat secara jelas pada saat pengujian dilakukan.

Kelembaban (moisture) dapat berada pada permukaan isolasi maupun meresap ke dalam lilitan. Oleh sebab itu, pengukuran dengan megger dianjurkan dilakukan sebelum dan sesudah proses pembersihan mesin. Apabila nilai tahanan isolasi tetap rendah meskipun lilitan telah dibersihkan dan terlihat dalam kondisi baik, maka besar kemungkinan terdapat kandungan kelembaban pada lilitan. Dalam kondisi ini, lilitan harus melalui proses pengeringan hingga diperoleh nilai tahanan minimum sesuai standar yang direkomendasikan.

8. Perhitungan Polarisasi Indek (PI)

Polarization Index (PI) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menilai kualitas isolasi lilitan motor akibat pengaruh kondisi lingkungan, seperti kelembapan, kontaminasi debu, dan faktor lain yang dapat menurunkan kemampuan isolasinya.

Berdasarkan data hasil pengukuran *Insulation Resistance* (IR) pada lilitan motor, nilai PI dapat dihitung dengan membandingkan nilai IR pada menit ke-10 dengan nilai IR pada menit pertama. Secara matematis, nilai *Polarization Index* dapat dinyatakan sebagai:

$$PI = \frac{IR_{10 \text{ menit}}}{IR_{1 \text{ menit}}}$$

Berikut ini merupakan tabel dari nilai minimum *polarization index* (PI) berdasarkan jenis *thermal class rating*.

Tabel 1. Nilai Minimum Polarization Index

<i>Thermal Class Rating</i>	Minimum PI
Class A	1,5
Class B	2
Class F	2
Class H	2

Berikut ini merupakan interpretasi nilai *Polarization Index* (PI) yang digunakan sebagai acuan dalam menilai kualitas tahanan isolasi pada mesin-mesin listrik:

Tabel 2. Nilai Interpretasi dari PI

Nilai PI	Keterangan
< 1	Bahaya
1,0 – 1,5	Buruk
1,5 – 2,0	Diragukan
2,0 – 3,0	Cukup
3,0 – 4,0	Bagus
> 4	Sangat Bagus

METODE PENELITIAN

Adapun metode – metode yang digunakan untuk penyusunan laporan penelitian ini adalah :

1. Metode Literatur

Metode untuk mengumpulkan data ini adalah dengan membaca buku referensi, situs web dan jurnal bidang kelistrikan terkait topik yang akan dibahas dalam laporan ini.

2. Metode Penelitian

Penulis juga melakukan pengamatan langsung pada subjek penelitian dan mengumpulkan data-data sistem kelistrikan yang berkaitan dengan terlibat dalam pembuatan laporan ini.

3. Metode Konsultasi Atau Diskusi

Metode ini digunakan melalui peninjauan langsung melalui narasumber yang berfungsi sebagai pembimbing penelitian serta operator yang menguasai masing-masing bidangnya untuk mengumpulkan data-data yang dibutuhkan untuk membuat laporan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Motor C.W.P (Circulating Water Pump)

Tabel 3. Name Plate Motor CWP

No	Name Plate Motor	Keterangan
1	Manufacturer	SIEMENS (Germany)
2	Tahun Pembuatan	1993
3	Model	1RQ1716-7JN64-Z
4	Serial Number	D9341119702
5	Duty Type	S1
6	Protection Type	IP 54
7	Power (P)	1000 kW
8	Current (I)	134 A
9	Voltage (V)	6000 V (Y)
10	Toleransi Tegangan	$\pm 10 \%$

11	Frequency (Hz)	50 Hz
12	Temperatur	40°
13	Cos ϕ	0,76
14	Weight	15.2 t
15	Standard	VDE0530 / IEC 34
16	Thermal Insulation	Class F (155°)
17	Debit air	3.1 m / s A
18	Momen Inersia	420 kgm ²
19	Speed (n)	421 rpm

B. Fungsi Motor C.W.P (*Circulating Water Pump*)

Circulating Water Pump (CWP) merupakan salah satu komponen penting dalam sistem *Cooling Tower* pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU). Fungsi utama pompa ini adalah memompakan air pendingin utama dari *Cooling Tower* menuju kondensor, di mana air tersebut berperan dalam proses mengembunkan uap hasil ekstraksi turbin agar berubah kembali menjadi air kondensat yang dapat digunakan kembali dalam siklus pembangkitan.

Pada PLTGU, terdapat empat unit pompa CWP yang beroperasi untuk mendukung proses pembangkitan listrik dengan total kapasitas daya mencapai 270 MW. Berikut ini merupakan gambar dari unit CWP yang digunakan di PLTGU.

C. Hasil Pengujian Dan Perhitungan

1. *Insulation Resistance*

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan menggunakan alat uji *insulation resistance test*, diperoleh hasil pengujian yang ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 4. Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

No (Menit)	<i>Insulation Resistace</i>
	<i>Phasa-Ground</i>
1	8,55
2	12,42
3	16,87

4	19,72
5	22,03
6	24,23
7	26,81
8	29,6
9	31,1
10	34,7

2. Polarization Index

Selanjutnya, berdasarkan hasil pengujian tersebut dilakukan perhitungan nilai *Polarization Index* (PI) menggunakan persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya. Adapun hasil perhitungannya ditunjukkan sebagai berikut:

a. Polarisasi Indeks (PI) U1

$$P_i = \frac{\text{Pengukuran IR menit ke 10}}{\text{Pengukuran IR menit ke 1}}$$

$$P_i = \frac{34,7}{8,55} = 4,05$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Nilai *Polarization* (PI)

Waktu (Menit)	Nilai IR	Kondisi
1 (IR)	8,55	Bagus
10 (IR)	34,7	Bagus
PI	4,05	Sangat Bagus

D. Analisis Masalah

1. Penyebab Masalah

Pengukuran *Insulation Resistance* (IR) dan *Polarization Index*(PI) merupakan parameter penting dalam menilai kondisi kesehatan isolasi pada motor listrik. Nilai IR dan PI yang rendah menjadi indikator adanya potensi gangguan pada sistem isolasi yang harus segera diidentifikasi dan ditangani untuk menjaga keandalan operasi serta memperpanjang umur pakai motor.

Beberapa faktor yang dapat menyebabkan penurunan nilai IR dan PI pada motor,

terutama pada kondisi motor yang basah, antara lain:

- i. Kelembaban atau kondensasi di dalam motor. Uap air dari lingkungan dapat masuk ke dalam ruang motor, terutama ketika motor berada dalam kondisi tidak beroperasi dalam waktu lama atau tidak dilengkapi dengan space heater. Akumulasi kelembaban tersebut dapat menurunkan resistansi isolasi.
- ii. Kontaminasi debu/ kotoran yang bersifat higroskopis. Partikel debu atau kotoran yang menempel pada permukaan isolasi mampu menyerap kelembaban dari udara. Kondisi ini memperbesar jalur konduktif sehingga nilai IR dan PI menurun.
- iii. Degradasi lapisan isolasi akibat usia dan pengaruh termal. Penuaan isolasi, siklus pemanasan dan pendinginan yang berulang, serta suhu operasi tinggi yang berlangsung lama dapat menyebabkan terjadinya mikroretakan dan penurunan sifat dielektrik material isolasi.
- iv. Masuknya air melalui seal atau gasket yang tidak kedap. Pada motor dengan tingkat proteksi tertentu (misalnya IP55), kerusakan atau keausan pada seal dapat menyebabkan air masuk, terutama ketika motor terpapar hujan, semprotan air, atau berada pada lingkungan lembap. Infiltrasi air ini berkontribusi langsung terhadap turunnya kualitas isolasi.
- v. Pemanas motor (heater) tidak diaktifkan. Motor yang ditempatkan pada lingkungan dengan kelembaban tinggi namun space heater-nya tidak dioperasikan akan sangat mudah mengalami kondensasi di bagian dalam. Kondisi ini mempercepat penurunan nilai tahanan isolasi.
- vi. Sirkulasi udara yang tidak memadai atau ventilasi tertutup. Sistem ventilasi yang tersumbat atau lingkungan dengan pergerakan udara yang buruk menyebabkan uap air terperangkap di sekitar motor. Akumulasi kelembaban ini menghambat proses pengeringan alami sehingga meningkatkan risiko penurunan kualitas isolasi

2. Dampak Masalah

Penurunan nilai *Insulation Resistance* (IR) dan *Polarization Index* (PI) pada motor dapat menimbulkan berbagai konsekuensi serius yang berdampak pada keandalan, efisiensi, serta keselamatan operasi peralatan. Nilai IR dan PI yang rendah bukan sekadar data pengukuran, tetapi merupakan indikator awal adanya gangguan pada sistem isolasi yang, jika tidak ditangani, dapat berkembang menjadi kerusakan menyeluruh pada motor, gangguan pada

sistem kelistrikan, hingga potensi bahaya keselamatan. Beberapa dampak yang dapat timbul akibat menurunnya nilai IR dan PI pada motor antara lain:

- i. Korsleting (Short Circuit) antar gulungan maupun ke ground.

Penurunan nilai IR mengindikasikan munculnya jalur konduktif antara fase dengan ground atau antar fase. Dampak: kondisi ini dapat menyebabkan kerusakan berat pada lilitan motor, pemutusan rangkaian secara tiba-tiba, hingga potensi terjadinya kebakaran.

- ii. Meningkatnya arus bocor (leakage current).

Melemahnya isolasi memungkinkan arus bocor mengalir keluar dari konduktor utama. Dampak: efisiensi sistem menurun, risiko bahaya bagi personel meningkat, dan peralatan proteksi dapat bekerja sehingga sistem sering mengalami trip.

- iii. Frekuensi trip pada proteksi motor meningkat.

Peralatan proteksi seperti earth fault relay atau overload relay akan mendeteksi peningkatan arus bocor atau ketidakwajaran lainnya. Dampak: motor tidak dapat beroperasi stabil, sering berhenti tiba-tiba, atau gagal hidup karena proteksi terus aktif.

- iv. *Overheating* (kenaikan temperatur berlebih).

Kerusakan isolasi menyebabkan distribusi arus menjadi tidak merata dan meningkatkan rugi-rugi listrik. Dampak: terjadi pemanasan lokal yang mempercepat degradasi isolasi, sehingga memperbesar kemungkinan kegagalan total motor.

- v. Penurunan umur operasional motor.

Nilai IR dan PI yang rendah mempercepat proses penuaan isolasi. Dampak: motor membutuhkan perawatan lebih sering, lebih rentan mengalami kerusakan, dan biaya pemeliharaan maupun penggantian akan meningkat.

- vi. Gangguan Operasional pada Sistem Secara Keseluruhan

Motor merupakan komponen vital dalam berbagai proses industri, seperti pada pompa, conveyor, kompresor, dan peralatan mekanis lainnya. Dampak: apabila motor mengalami kegagalan akibat rendahnya nilai IR dan PI, proses produksi dapat terhenti sehingga menimbulkan downtime signifikan dan berpotensi merugikan operasional secara keseluruhan.

- vii. Risiko Keselamatan Kerja

Penurunan kualitas isolasi dapat menyebabkan arus bocor mengalir menuju bodi atau rangka motor. Dampak: kondisi ini meningkatkan risiko sengatan listrik bagi

operator maupun teknisi, terutama ketika melakukan perawatan atau inspeksi, sehingga membahayakan keselamatan kerja.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa pengukuran IR dan PI mampu menjawab seluruh pertanyaan penelitian mengenai kondisi isolasi motor CWP, dimana nilai PI sebesar 4,05 menunjukkan bahwa isolasi masih sangat baik dan layak beroperasi. Metode pengujian menggunakan megger terbukti efektif dalam mendeteksi kecenderungan penurunan kualitas isolasi serta memberikan dasar evaluasi yang akurat. Berdasarkan hasil tersebut, disarankan kepada pihak pemeliharaan PLTGU agar melakukan pemantauan rutin, memastikan heater motor selalu aktif, serta melaksanakan pengeringan, pembersihan, atau perbaikan ketika nilai IR menurun agar keandalan operasi motor tetap terjaga. Hal ini penting untuk mencegah kerusakan, mengurangi risiko gangguan, dan menjaga keselamatan sistem secara keseluruhan di lapangan

DAFTAR PUSTAKA

- A. Pransisto, “ Analisa Penurunan Isolasi Motor Oleh Pengaruh Kelembaban Udara Pada Motor Induksi yang Berbeban”, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2020.
- H. Prasetyawan, “Analisis Pengaruh Endwinding Vibration terhadap Isolasi Belitan Stator Generator 2. 412 MVA PLTU Tanjung Awar-Awar Dengan Metode Condition Assessment Diagnostics”, Universitas Islam Sultan Agung Semarang, 2024.
- Herven Fernando Sitorus, Armansyah, Raja Harahap,”Pemeliharaan Motor Induksi 3 Fasa Tegangan 380 V Pada GT 2. 1 di Pt. PLN (Persero) Unit Pelaksana Pengendalian Pembangkit Belawan”, JET (Journal Of Electrical technology), vol. 3, 2022.
- M. R. Andrian, “Analisa pengukuran Tahanan Isolasi Motor induksi # Fasa Motor CWP (Circulating Water Pump) 5,9 kV Daya 280 KW PLTGU ULPL Idralayu”, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2020.
- N. Rosyidi AS, I. Baihaqi, “Studi Inspeksi Kelayakan Instalasi dan Instrumen Tenaga Listrik”, Sinusoida, vol. 2, 2023.
- N. Z. Akbar, “Pengkoreksian dan Maintenance Nilai Tahanan Isolasi Stator Pada Motor Induksi 3 Fasa”, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau, 2025
- R. Alfan, R. A. Zhalifunnas, A. Umyati, L. Herlina, R. Fahrizal, “Pengenalan dan

- Implementasi Sistem Proteksi motor Induksi pada Industri Pembangkit listrik di Kota Cilegon”, Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat, vol 1, 2024.
- R. Pangestu, “Pengujian Tahanan Isolasi pada Motor Induksi 3 Phasa Di Pt. Pertamina (Persero) Ru lli Plaju”, Politeknik Negeri Sriwijaya, 2020.
- S. Romdoni, B. D. Cahyono, “Use Of Megger Measuring Tools In Measuring The Insulation Resistance Of CT Cubicle 20 kV Palima Refeiter (ULP Serang), TESLA: Jurnal Teknik Elektro 26, vol. 2, 2024.
- Y. K. Putra, “Pengujian Statis dan Pengujian Dinamis Motor Induksi 500 kW”, e-Proceeding FTI, 2020.