

## **Analisis Tahanan Isolasi dan Indeks Polaritas pada Motor Induksi 3 Fasa FC - PM - 6A di FCCU Maintenance Area 3 PT Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit III Plaju – Sungai Gerong**

**Haikal Septian Hadi Putra<sup>1</sup>, Abdul Azis<sup>2\*</sup>**

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika,  
Universitas PGRI Palembang, Indonesia

e-mail: [haikalseptianhadiputra@gmail.com](mailto:haikalseptianhadiputra@gmail.com)<sup>1</sup>, [azis@univpgri-palembang.ac.id](mailto:azis@univpgri-palembang.ac.id)<sup>2\*</sup>

### **ABSTRAK**

Motor induksi 3 fasa merupakan komponen penting dalam sistem kelistrikan industri yang membutuhkan perawatan berkala guna menjaga keandalan dan keselamatan operasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi isolasi motor induksi 3 fasa tipe LCGO FC-PM-6A melalui pengujian tahanan isolasi, indeks polarisasi (PI), dan perhitungan arus bocor. Pengujian dilakukan menggunakan megger insulation tester dengan tegangan uji sebesar 500 V DC selama 10 menit. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai tahanan isolasi terhadap ground meningkat secara konsisten pada setiap fasa (R, S, dan T), masing-masing mencapai 633 M $\Omega$ , 677 M $\Omega$ , dan 613 M $\Omega$  pada menit ke-10. Nilai PI yang diperoleh adalah 2,75 (R), 2,71 (S), dan 2,99 (T) dengan rata-rata sebesar 2,82, yang dikategorikan normal berdasarkan standar IEEE Std 43™-2013. Perhitungan arus bocor menunjukkan hasil yang sangat kecil dan masih dalam batas aman (<1 mA). Faktor-faktor yang dapat menyebabkan penurunan nilai tahanan isolasi seperti kelembapan, debu, dan panas berlebih juga dianalisis berdasarkan observasi lapangan. Temuan ini menegaskan bahwa kondisi isolasi motor masih layak operasi, namun tetap memerlukan pemantauan berkala untuk mencegah degradasi yang tidak terdeteksi.

**Kata Kunci:** *Motor Induksi, Tahanan Isolasi, Indeks Polarisasi, Arus Bocor*

## ***Analysis of Insulation Resistance and Polarization Index on Three-Phase Induction Motor FC–PM–6A in the FCCU Maintenance Area 3, PT Kilang Pertamina Internasional, Refinery Unit III Plaju–Sungai Gerong***

### **ABSTRACT**

The three-phase induction motor is a critical component in industrial electrical systems, requiring routine maintenance to ensure operational reliability and safety. This study aims to evaluate the insulation condition of a three-phase induction motor (type LCGO FC-PM-6A) through insulation resistance (IR) testing, polarization index (PI) analysis, and leakage current calculation. The testing was conducted using an insulation resistance tester (megger) at 500 V DC for a duration of 10 minutes. The results indicated a consistent increase in insulation resistance values across all three phases (R, S, and T), reaching 633 M $\Omega$ , 677 M $\Omega$ , and 613 M $\Omega$  respectively by the tenth minute. The calculated PI values were 2.75 (R), 2.71 (S), and 2.99 (T), with an average of 2.82, which falls within the normal category according to IEEE Std 43™-2013 standards. The measured leakage currents were below 1 mA, indicating a safe operating condition. Contributing factors to insulation degradation, such as humidity, dust, and excessive heat, were also identified based on field observations. These findings confirm that the motor's insulation system remains in good condition, but routine monitoring is recommended to prevent undetected insulation failure over time.

**Keywords:** *Induction Motor, Insulation Resistance, Polarization Index, Leakage Current*

## I. PENDAHULUAN

Motor induksi tiga fasa merupakan komponen utama dalam sistem penggerak mekanik industri karena efisiensinya yang tinggi, struktur sederhana, dan daya tahan terhadap beban berat serta kondisi lingkungan yang beragam. Namun, keandalan motor sangat bergantung pada kualitas sistem isolasi, khususnya antara belitan dan ground serta antar fasa. Kegagalan sistem isolasi dapat menyebabkan terjadinya hubung singkat, kerusakan mesin, dan bahkan berhentinya proses produksi secara keseluruhan [1].

Salah satu metode yang lazim digunakan untuk menilai kondisi isolasi adalah pengukuran tahanan isolasi menggunakan megger tester serta penghitungan Indeks Polarisasi (Polarization Index/PI). PI merupakan rasio antara nilai tahanan isolasi pada menit ke-10 dan menit ke-1 selama pengujian menggunakan tegangan DC, dan memberikan gambaran menyeluruh mengenai kondisi dielektrik material isolasi. Nilai PI yang rendah umumnya mengindikasikan adanya degradasi isolasi akibat kelembapan, kontaminasi, atau penuaan termal [2,3].

Studi-studi sebelumnya menunjukkan bahwa penurunan nilai tahanan isolasi dan indeks polarisasi dapat ditemukan bahkan pada motor dengan perawatan rutin, terutama jika motor beroperasi di lingkungan ekstrem seperti area pembangkit listrik atau industri petrokimia [4,5]. Oleh karena itu, pemantauan nilai tahanan isolasi dan PI secara berkala menjadi bagian penting dari sistem pemeliharaan prediktif di sektor industri.

Dalam konteks ini, dilakukan pengujian terhadap motor induksi tiga fasa tipe LCGO FC-PM-6A yang beroperasi di lingkungan industri dengan risiko kelembapan tinggi. Pengujian dilakukan melalui pengukuran tahanan isolasi selama 1 menit dan 10 menit, perhitungan indeks polarisasi, serta estimasi arus bocor guna menilai kelayakan operasional motor secara menyeluruh. Studi ini diharapkan memberikan kontribusi dalam pemeliharaan dan pencegahan kerusakan dini motor listrik, khususnya pada fasilitas industri vital [6,7,8].

## II. METODE PENELITIAN

### 2.1. Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian dimulai pada tanggal 1 November 2024 sampai dengan 15 Januari 2025. Tempat penelitian adalah Bagian Maintenance Area 3 – Maintenance Execution PT Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit III. Objek penelitian adalah motor induksi 3 fasa yang digunakan dalam proses pengolahan gas dan minyak bumi (*Light Catalytic Gas Oil*) LCGO FC-PM-6A di area FCCU Sungai Gerong.



Gambar 1. Lokasi penelitian

## 2.2. Metode yang Digunakan

Pengukuran tahanan isolasi pada motor dilakukan untuk mengetahui kualitas isolasi belitan stator. Pengujian ini dilaksanakan dengan mengukur tahanan antara ujung-ujung belitan stator, baik antar fasa maupun antara fasa dan *ground (body)*. Pengukuran menggunakan *insulation resistance meter*, yang dikenal juga sebagai Megger (Mega Ohm Meter). Setelah memperoleh hasil pengukuran, nilai tahanan isolasi tersebut kemudian dibandingkan dengan standar kelayakan menurut IEEE Std 43<sup>TM</sup>-2013, yaitu standar internasional yang digunakan untuk pengujian sistem isolasi pada mesin listrik berputar (*rotating machinery*). Berdasarkan standar ini [2]:

- Untuk peralatan dengan tegangan kerja di bawah 1000 V, nilai tahanan isolasi minimum yang direkomendasikan adalah 1 M $\Omega$  per kilovolt (kV) tegangan kerja ditambah 1 M $\Omega$ .
- Sementara itu, untuk peralatan dengan tegangan kerja di atas 1000 V, evaluasi kondisi isolasi dilakukan lebih lanjut menggunakan analisis Indeks Polarisasi (PI), yaitu rasio antara tahanan isolasi pada menit ke-10 dan menit pertama pengukuran.

### 2.2.1. Pengukuran Tahanan Isolasi

Tahanan isolasi (*Insulation Resistance/IR*) merupakan parameter yang digunakan untuk mengukur sejauh mana bahan isolator mampu menahan atau menghambat aliran arus listrik. Nilai ini dinyatakan dalam satuan ohm ( $\Omega$ ), di mana semakin besar nilainya, maka semakin baik kualitas isolasi tersebut. Sebaliknya, nilai yang rendah menandakan adanya kerusakan atau penurunan fungsi dari bahan isolator, yang berpotensi menyebabkan gangguan kelistrikan [1]. Dalam pelaksanaan pengukuran tahanan isolasi, penting juga untuk memperhatikan besarnya tegangan injeksi (*inject voltage*) yang digunakan selama proses pengujian. IEEE Std 43<sup>TM</sup>-2013 telah menetapkan panduan mengenai level tegangan uji yang disesuaikan dengan spesifikasi motor, sebagaimana tercantum dalam tabel tegangan pengujian untuk motor listrik [1,2,4,5].

**Tabel 1. Tegangan Tes Pengukuran IR Motor**

Tegangan Kerja Motor (V)	Tegangan Tes (V)
<1000	250 - 500
1000 - 2500	500 - 1000
2501 - 5000	1000 - 2500
5001 - 12000	2500 - 5000
>12000	5000 - 10000

Standar minimum hasil pengukuran tahanan isolasi pada motor listrik telah ditetapkan dalam IEEE Std 43<sup>TM</sup>-2013, dan dapat dirujuk melalui tabel acuan yang memuat batas nilai minimum sesuai kategori tegangan dan jenis peralatan [2,8].

**Tabel 2. Standar Minimum IR Berdasarkan IEEE Std 43<sup>TM</sup>-2013**

Minimum Nilai IR (M $\Omega$ )	Spesifikasi motor listrik
IR = kV +1	Untuk semua jenis belitan yang tahun pembuatannya dibawah tahun 1970-an, atau yang tidak disebutkan dibawahnya.
IR = 100	Untuk mayoritas belitan AC dan DC yang tahun pembuatannya diatas tahun 1970-an ( <i>from wound coil</i> ).
IR = 5	Untuk kebanyakan mesin dengan <i>random wound stator coil</i> dan <i>from wound coil rating</i> dibawah 1 kV.

Pengukuran dilakukan menggunakan *insulation resistance meter*, yang dikenal juga dengan sebutan Megger atau Mega Ohm Meter.



**Gambar 2. Megger**

Sebelum melakukan pengukuran tahanan isolasi, beberapa langkah awal wajib dilakukan untuk memastikan keselamatan kerja dan akurasi hasil pengujian, yaitu [1]:

1. Pastikan sumber daya listrik ke motor telah diputus sepenuhnya dengan mematikan breaker switchgear / PDC / MCC, melakukan rack out, dan memasang tagging atau lockout sebagai tanda bahwa sistem dalam kondisi aman.
2. Lakukan pembersihan terminal motor jika terdapat kotoran, debu, atau kelembapan untuk menghindari pengaruh terhadap hasil pengukuran.
3. Siapkan insulation tester (Megger) sesuai dengan spesifikasi pengujian.
4. Periksa kondisi baterai alat insulation tester, pastikan dalam keadaan baik dan penuh.
5. Hubungkan kabel pengujian dari insulation tester ke terminal motor yang akan diuji.
6. Pilih tegangan pengujian sesuai standar, dan atur waktu pengukuran 1 menit untuk uji tahanan isolasi standar (IR).
7. Tekan tombol “TEST” selama beberapa detik hingga lampu indikator “Charge” menyala, kemudian baca nilai yang ditampilkan pada skala alat ukur dan catat hasilnya.
8. Jika pengujian dilakukan pada motor listrik 3 fasa dengan belitan yang terpisah, maka pengukuran dilakukan untuk setiap pasangan antar fasa dan antara fasa ke grounding, seperti pada Tabel 3 berikut.

**Tabel 3. Koneksi Belitan Pengukuran Tahanan Isolasi pada Belitan Motor 3 Fasa**

No.	Koneksi Belitan	Simbol
1.	Fasa 1 – Ground	R – GND
2.	Fasa 2 – Ground	S – GND
3.	Fasa 3 – Ground	T – GND
4.	Fasa 1 – Fasa 2	R – S
5.	Fasa 1 – Fasa 3	R – T
6.	Fasa 2 – Fasa 3	S – T

Tahanan isolasi memiliki peran yang sangat krusial dalam sistem kelistrikan karena menunjukkan sejauh mana suatu bahan isolator mampu menghambat arus bocor yang tidak diinginkan. Tingginya nilai tahanan isolasi mengindikasikan bahwa media isolasi masih dapat menjalankan fungsinya secara efektif dalam mencegah terjadinya kebocoran arus, gangguan sistem kelistrikan, hingga risiko kecelakaan kerja. Sejumlah faktor dapat mempengaruhi besar kecilnya nilai tahanan isolasi suatu peralatan listrik [1,4,7], antara lain:

### 1. Karakteristik Bahan Isolator

Setiap jenis bahan isolasi memiliki kemampuan hantar listrik yang berbeda. Faktor-faktor seperti penuaan alami, kerusakan fisik, serta kontaminasi kimia atau lingkungan dapat mempercepat penurunan kualitas bahan isolator tersebut.

### 2. Pengaruh Suhu Operasi

Kenaikan suhu secara signifikan dapat mengurangi nilai tahanan isolasi. Hal ini disebabkan oleh meningkatnya aktivitas partikel-partikel dalam bahan isolator, yang memperbesar kemungkinan terjadinya loncatan elektron, sehingga memicu peningkatan arus bocor.

### 3. Kondisi Kelembaban Lingkungan

Lingkungan yang memiliki tingkat kelembaban tinggi memungkinkan air terserap oleh bahan isolasi. Kandungan air ini dapat bertindak sebagai penghantar, yang pada akhirnya menurunkan efektivitas bahan isolasi dalam menahan arus bocor.

### 4. Kebersihan dan Keutuhan Permukaan Isolasi

Kotoran, debu, dan kelembaban yang menempel pada permukaan isolator dapat menciptakan jalur konduktif tambahan. Pada sistem dengan tegangan menengah hingga tinggi, kondisi isolasi yang tidak bersih atau mengalami kerusakan fisik akan berdampak besar terhadap penurunan nilai tahanan isolasi secara keseluruhan.

## 2.2.2. Indeks Polarisasi

Indeks Polarisasi (*Polarization Index/PI*) adalah salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kondisi sistem isolasi pada peralatan listrik, terutama motor dan generator. Nilai PI memberikan indikasi awal terhadap adanya degradasi atau kerusakan pada isolasi, sehingga memungkinkan dilakukannya tindakan preventif sebelum terjadi kegagalan fungsi peralatan secara menyeluruh. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan apakah isolasi masih layak digunakan dan aman untuk dioperasikan dalam kondisi lapangan. Secara matematis, besarnya nilai indeks polarisasi dihitung menggunakan persamaan berikut [4,5,8]:

$$PI = \frac{IR_{10}}{IR_1}$$

Keterangan:

$PI$  = Indeks Polarisasi

$IR_1$  = Nilai tahanan isolasi pengujian pada menit pertama ( $M\Omega$ )

$IR_{10}$  = Nilai tahanan isolasi pengujian pada menit kesepuluh ( $M\Omega$ )

Untuk menilai kualitas kondisi isolasi pada mesin listrik, digunakan parameter Indeks Polarisasi (*Polarization Index/PI*) yang dikategorikan ke dalam beberapa tingkat kelayakan berdasarkan nilai resistansi terhadap waktu. Klasifikasi tersebut dapat membantu menentukan apakah suatu sistem isolasi masih layak dioperasikan atau perlu dilakukan tindakan perbaikan. Rincian klasifikasinya disajikan dalam Tabel 4 berikut [5,8].

**Tabel 4. Parameter Nilai Indeks Polarisasi**

Nilai PI	Keterangan
< 1,0	Berbahaya
1,0 - 1,4	Sangat jelek
1,5 - 1,9	Jelek
2,0 - 2,9	Normal
3,0 - 4,0	Baik
> 4,0	Sangat baik

Selain klasifikasi berdasarkan nilai PI secara umum, standar IEEE Std 43<sup>TM</sup>-2013 juga menetapkan nilai minimum PI yang direkomendasikan berdasarkan kelas termal (*thermal class*) dari bahan isolasi belitan. Kelas termal ini menunjukkan batas suhu maksimum di mana bahan isolasi masih dapat berfungsi dengan baik tanpa mengalami kerusakan. Detail nilai minimum PI menurut kelas termal dapat dilihat pada Tabel 5 berikut [2,7].

**Tabel 5. Standar Nilai Minimum Indeks Polarisasi Berdasarkan *Thermal Class Rating***

<i>Thermal Class Rating</i>	Nilai Minimal PI
Class A (105)	1,5
Class B (130) and above	2,0

Nilai PI yang berada di bawah standar tersebut dapat mengindikasikan isolasi mengalami degradasi, lembap, atau terkontaminasi, dan perlu dilakukan tindakan seperti pengeringan, pembersihan, atau penggantian isolasi [2,7].

### 2.2.3. Arus Bocor

Pada dasarnya, pengukuran tahanan isolasi bertujuan untuk mengetahui besar arus bocor (*leakage current*) yang terjadi pada sistem isolasi. Meskipun arus bocor yang menembus lapisan isolasi pada peralatan listrik tidak dapat sepenuhnya dihindari, nilainya harus tetap berada dalam batas aman. Oleh karena itu, pengukuran tahanan isolasi merupakan salah satu metode penting untuk memastikan bahwa motor listrik dalam kondisi layak dan aman untuk dioperasikan. Sebelum melakukan perhitungan arus bocor, terlebih dahulu perlu dihitung nilai rata-rata tahanan isolasi dari semua titik pengukuran. Hal ini dilakukan untuk memperoleh representasi umum dari kondisi isolasi keseluruhan motor, khususnya antar fasa dan antara fasa dengan grounding. Nilai rata-rata tahanan isolasi dapat dihitung menggunakan rumus berikut [5]:

$$IR_{rata-rata} = \frac{\sum IR}{n}$$

Keterangan:

$IR_{rata-rata}$  = Nilai rata-rata tahanan isolasi (M $\Omega$ )

$\sum IR$  = Jumlah seluruh nilai tahanan isolasi dari beberapa titik pengukuran (M $\Omega$ )

$n$  = Jumlah data

Setelah memperoleh nilai rata-rata tahanan isolasi, langkah selanjutnya adalah menghitung besarnya arus bocor yang mungkin terjadi pada sistem isolasi motor. Perhitungan ini penting untuk mengevaluasi apakah arus bocor yang mengalir masih berada dalam batas aman berdasarkan tegangan kerja motor dan standar kelistrikan yang berlaku. Besarnya arus bocor dapat dihitung dari nilai tahanan isolasi menggunakan rumus berikut [5]:

$$I_{is} = \frac{V_{L-L}}{IR_{rata-rata}}$$

Keterangan:

$I_{is}$  = Arus bocor (mA)

$V_{L-L}$  = Tegangan line to line (V)



### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam pengujian ini berasal dari motor induksi 3 fasa yang digunakan dalam proses pengolahan gas dan minyak bumi (*Light Catalytic Gas Oil*) LCGO FC-PM-6A di area FCCU Sungai Gerong. Informasi lengkap mengenai spesifikasi motor dapat dilihat pada nameplate yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Nameplate motor induksi 3 fasa LCGO FC-PM-6A

Berdasarkan nameplate tersebut, detail spesifikasi teknis motor dirangkum dalam Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Nameplate Motor Induksi 3 fasa LCGO FC-PM-6A

No.	Parameter	Nilai
1.	Type	MLA1284B (3 Fasa)
2.	Serial Number	B412B331DS1
3.	Pole	2
4.	Koneksi	Y
5.	Tegangan	380V
6.	Frekuensi	50 Hz
7.	Daya	75 kW
8.	Cos $\theta$	0,90
9.	Arus	134 A
10.	N	2960 Rpm
11.	Insulation Class	B
12.	Weight	675 kg

#### 3.2. Hasil

##### 3.2.1. Pengukuran Tahanan Isolasi

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan pada motor induksi 3 fasa dengan tegangan kerja 380 V menggunakan *insulation tester* (Megger) pada tegangan uji 500 V DC selama 1 menit. Pengujian mencakup dua kategori: antar fasa dan antara fasa terhadap *ground (body)*. Hasil pengukuran disajikan dalam Tabel 7.



Gambar 4. Pengukuran tahanan isolasi motor induksi 3 fasa LCGO FC-PM-6A

Tabel 7. Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi Motor Induksi 3 fasa LCGO FC-PM-6A

No.	Koneksi Belitan	Nilai Tahanan Isolasi (MΩ)
1.	R – GND	230
2.	S – GND	250
3.	T – GND	205
4.	R – S	0,00
5.	R – T	0,00
6.	S – T	0,00

Setelah dilakukan pengukuran tahanan isolasi awal pada Motor FC-PM-6A, pengujian dilanjutkan dengan pengukuran selama 10 menit untuk mendapatkan data lengkap yang diperlukan dalam perhitungan Indeks Polarisasi (*Polarization Index/PI*). Hasil pengukuran tahanan isolasi setiap menit selama periode 10 menit dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi Motor Induksi 3 Fasa LCGO FC-PM-6A Selama 10 Menit

Menit Pengukuran	Nilai Tahanan Isolasi (MΩ)		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T
Menit ke 1	230	250	205
Menit ke 2	299	302	272
Menit ke 3	326	351	301
Menit ke 4	330	367	314
Menit ke 5	337	375	335
Menit ke 6	364	395	376
Menit ke 7	376	504	427
Menit ke 8	460	532	495
Menit ke 9	598	633	571
Menit ke 10	633	677	613

### 3.2.2. Indeks Polarisasi

Dari hasil pengukuran tahanan isolasi motor induksi 3 fasa LCGO FC-PM-6A selama 10 menit di atas dapat dihitung nilai Indeks Polarisasi (PI).



Nilai Indeks Polarisasi (PI) untuk fasa R:

$$PI_{fasa R} = \frac{IR_{10}}{IR_1} = \frac{633}{230} = 2,75$$

Nilai Indeks Polarisasi (PI) untuk fasa S:

$$PI_{fasa S} = \frac{IR_{10}}{IR_1} = \frac{677}{250} = 2,71$$

Nilai Indeks Polarisasi (PI) untuk fasa T:

$$PI_{fasa T} = \frac{IR_{10}}{IR_1} = \frac{613}{205} = 2,99$$

Maka nilai Indeks Polarisasi (PI) rata-rata adalah:

$$PI_{rata-rata} = \frac{PI_{fasa R} + PI_{fasa S} + PI_{fasa T}}{3} = \frac{2,75 + 2,71 + 2,99}{3} = 2,82$$

### 3.2.3. Arus Bocor

Sebelum menghitung besarnya arus bocor pada motor induksi 3 fasa LCGO FC-PM-6A, terlebih dahulu dihitung nilai tahanan isolasi rata-rata dari masing-masing fasa. Nilai tahanan isolasi rata-rata ini diperoleh dari hasil pengukuran selama 10 menit.

Nilai rata-rata tahanan isolasi fasa R:

$$IR_{rata-rata fasa R} = \frac{\sum IR_{fasa R}}{n} = \frac{230+299+326+330+337+364+376+460+598+633}{10} = 395 M\Omega$$

Nilai rata-rata tahanan isolasi fasa S:

$$IR_{rata-rata fasa S} = \frac{\sum IR_{fasa S}}{n} = \frac{250+302+351+367+375+395+504+532+633+677}{10} = 439 M\Omega$$

Nilai rata-rata tahanan isolasi fasa T:

$$IR_{rata-rata fasa T} = \frac{\sum IR_{fasa T}}{n} = \frac{205+272+301+314+335+376+427+495+571+613}{10} = 391$$

Setelah diperoleh nilai rata-rata tahanan isolasi dari hasil pengukuran, langkah selanjutnya adalah menghitung arus bocor dengan menggunakan tegangan kerja motor induksi 3 fasa tipe LCGO FC-PM-6A sebagai variabel input dalam perhitungan.

Arus bocor untuk fasa R:

$$I_{is fasa R} = \frac{V_{L-L}}{IR_{rata-rata fasa R}} = \frac{380}{395} = 0,961 mA$$

Arus bocor untuk fasa S:

$$I_{is fasa S} = \frac{V_{L-L}}{IR_{rata-rata fasa S}} = \frac{380}{439} = 0,866 mA$$

Arus bocor untuk fasa T:

$$I_{is fasa T} = \frac{V_{L-L}}{IR_{rata-rata fasa T}} = \frac{380}{391} = 0,972 mA$$

## 3.3. Pembahasan

### 3.3.1. Tahanan Isolasi

Berdasarkan Tabel 7 hasil pengukuran tahanan isolasi motor induksi 3 fasa LCGO FC-PM-6A

yang dilakukan selama 1 menit dengan tegangan uji 500 V DC, diketahui bahwa nilai tahanan antara masing-masing fasa terhadap ground (R–GND: 230 M $\Omega$ , S–GND: 250 M $\Omega$ , dan T–GND: 205 M $\Omega$ ) berada jauh di atas batas minimum yang disarankan oleh standar IEEE Std 43™-2013, yaitu sebesar 100 M $\Omega$  untuk motor form-wound coil dengan tahun pembuatan setelah 1970. Nilai ini menunjukkan bahwa kondisi isolasi antara belitan dan ground dalam keadaan baik, bebas dari kontaminasi seperti kelembapan, kotoran, atau kerusakan termal.

Namun, hasil pengukuran antar fasa (R–S, R–T, dan S–T) semuanya menunjukkan nilai 0,00 M $\Omega$ . Kondisi ini dapat mengindikasikan dua kemungkinan. Pertama, jika pengukuran dilakukan saat koneksi antar terminal motor masih dalam konfigurasi bintang (star) atau segitiga (delta), maka nilai 0 dapat dianggap normal karena adanya hubungan langsung antar belitan. Kedua, jika terminal motor telah diputus dan dilepas dari koneksi saat pengujian dilakukan, maka nilai 0,00 M $\Omega$  tersebut sangat mengkhawatirkan karena dapat mengindikasikan adanya kerusakan serius pada isolasi antar belitan, bahkan kemungkinan besar telah terjadi hubungan pendek (short circuit).

Dengan demikian, meskipun hasil pengukuran terhadap ground menunjukkan bahwa motor masih dalam kondisi layak operasi, hasil pengukuran antar fasa memerlukan perhatian lebih lanjut. Perlu dilakukan pemeriksaan lanjutan secara visual terhadap kondisi fisik belitan, serta pengujian tambahan seperti winding resistance test atau uji hipot untuk memastikan apakah isolasi antar fasa benar-benar mengalami kegagalan atau tidak. Jika terbukti terjadi kerusakan, maka tindakan perbaikan seperti pengeringan, pembersihan, hingga rewinding belitan motor perlu segera dilakukan sebelum motor dioperasikan kembali.

Berdasarkan Tabel 8 hasil pengukuran selama 10 menit, nilai tahanan isolasi pada ketiga fasa (R, S, dan T) menunjukkan pola kenaikan yang konsisten dari menit ke-1 hingga menit ke-10. Pada fasa R, nilai tahanan meningkat dari 230 M $\Omega$  menjadi 633 M $\Omega$ ; pada fasa S meningkat dari 250 M $\Omega$  menjadi 677 M $\Omega$ ; dan pada fasa T naik dari 205 M $\Omega$  menjadi 613 M $\Omega$ . Kenaikan ini mencerminkan bahwa proses polarisasi dielektrik dalam bahan isolasi berjalan dengan baik. Hal ini mengindikasikan bahwa material isolasi pada ketiga fasa masih dalam kondisi yang baik, kering, dan bebas kontaminasi, karena mampu mempertahankan serta meningkatkan nilai tahanannya selama periode pengujian.

### **3.3.2. Indeks Polarisasi**

Berdasarkan hasil perhitungan Indeks Polarisasi (PI) motor induksi 3 fasa LCGO FC-PM-6A, diperoleh nilai PI sebesar 2,75 untuk fasa R, 2,71 untuk fasa S, dan 2,99 untuk fasa T. Nilai rata-rata dari ketiga fasa tersebut adalah 2,82.

Mengacu pada Tabel Parameter Nilai Indeks Polarisasi dan standar IEEE Std 43™-2013, nilai PI antara 2,0 hingga 2,9 termasuk dalam kategori normal, yang menunjukkan bahwa kondisi isolasi motor masih layak digunakan. Nilai ini juga memenuhi standar minimum Indeks Polarisasi untuk motor dengan thermal class B, yaitu minimal 2,0.

Dengan demikian, isolasi motor dapat dikatakan masih dalam kondisi baik dan tidak menunjukkan tanda-tanda kerusakan serius akibat kontaminasi, kelembapan, atau degradasi material. Namun, karena nilai Indeks Polarisasi belum mencapai kategori baik ( $>3,0$ ), maka disarankan tetap dilakukan pemantauan dan pengujian berkala untuk memastikan tidak terjadi penurunan kualitas isolasi seiring waktu.

### **3.3.3. Arus Bocor**

Berdasarkan hasil perhitungan rata-rata tahanan isolasi dari masing-masing fasa motor induksi 3 fasa LCGO FC-PM-6A selama 10 menit, didapatkan nilai sebagai berikut: fasa R sebesar 395 M $\Omega$ , fasa S sebesar 439 M $\Omega$ , dan fasa T sebesar 391 M $\Omega$ . Dengan menggunakan tegangan kerja

motor sebesar 380 V, dilakukan perhitungan arus bocor (leakage current) pada masing-masing fasa.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa arus bocor pada fasa R sebesar 0,961 mA, fasa S sebesar 0,866 mA, dan fasa T sebesar 0,972 mA. Ketiga nilai ini masih tergolong sangat kecil dan berada jauh di bawah ambang batas berbahaya, yang umumnya diindikasikan jika arus bocor melebihi beberapa miliampere (mA), tergantung pada standar dan aplikasi spesifik.

Arus bocor yang rendah menunjukkan bahwa isolasi pada motor masih dalam kondisi baik dan tidak mengalami kebocoran signifikan terhadap arus. Hal ini memperkuat hasil analisa sebelumnya bahwa material isolasi motor masih bersih, kering, dan bebas dari kontaminasi kelembaban atau kerusakan mekanis.

Dengan demikian, motor LCGO FC-PM-6A layak untuk tetap dioperasikan, namun tetap perlu dilakukan pemantauan berkala guna mencegah degradasi isolasi yang dapat terjadi seiring waktu dan penggunaan.

### **3.3.4. Faktor-Faktor Penyebab Tahanan Isolasi Menurun**

Penurunan tahanan isolasi pada motor listrik merupakan salah satu permasalahan kritis yang dapat berdampak pada keselamatan, keandalan, dan efisiensi operasional sistem. Beberapa faktor utama yang menyebabkan degradasi nilai tahanan isolasi dijelaskan sebagai berikut:

#### **1. Kelembapan (*Moisture Intrusion*)**

Kelembapan merupakan salah satu penyebab utama penurunan nilai tahanan isolasi. Material isolasi bersifat higroskopis, sehingga cenderung menyerap uap air dari udara, terutama jika motor beroperasi di lingkungan dengan kelembapan tinggi seperti area pesisir, ruang tertutup tanpa ventilasi, atau lokasi tropis. Kelembapan yang masuk ke dalam belitan dapat menurunkan nilai resistansi isolasi secara drastis, bahkan hingga di bawah 0,10 MΩ. Di PT Pertamina Kilang Internasional Plaju-Sungai Gerong, kasus penurunan tahanan isolasi akibat kelembapan cukup sering ditemukan, terutama pada motor-motor yang tidak dilengkapi dengan sistem pengering atau pemanas. Kelembapan juga mempercepat korosi pada komponen logam, memperburuk kondisi isolasi secara keseluruhan.

#### **2. Kontaminasi Debu dan Kotoran**

Debu industri yang mengandung partikel konduktif seperti karbon, logam halus, atau uap kimia dapat mengendap di permukaan motor, khususnya pada ventilasi dan terminal. Akumulasi debu ini dapat menciptakan jalur konduksi permukaan, menimbulkan kebocoran arus, bahkan risiko flashover. Selain itu, debu non-konduktif yang menyumbat jalur ventilasi akan meningkatkan suhu kerja motor, mempercepat degradasi material isolasi. Keberadaan kontaminan ini diperparah jika dikombinasikan dengan kelembapan, karena akan membentuk lapisan konduktif yang sangat berbahaya bagi integritas isolasi.

#### **3. Panas Berlebih (*Overheating*)**

Kenaikan suhu pada motor, baik akibat beban berlebih, ventilasi tidak memadai, atau lingkungan kerja yang panas, dapat mempercepat penuaan termal isolasi. Material isolasi seperti enamel, resin, dan epoxy akan mengalami perubahan struktur kimia saat suhu melebihi batas rancangannya. Akibatnya, isolasi menjadi getas, retak, dan kehilangan sifat dielektriknya. Dalam jangka panjang, siklus termal yang berulang akan menimbulkan stres mekanik pada belitan, mengarah pada retakan mikro dan akhirnya kegagalan isolasi.

Ketiga faktor di atas, kelembapan, kontaminasi, dan suhu sering kali saling berkaitan dan memperkuat efek negatif satu sama lain. Oleh karena itu, pengelolaan lingkungan operasional dan penerapan program perawatan prediktif menjadi krusial untuk menjaga nilai tahanan isolasi tetap dalam kondisi aman.

#### IV. KESIMPULAN

##### 1. Tahanan Isolasi

###### - Tahanan Isolasi terhadap Ground

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai tahanan isolasi antara masing-masing fasa terhadap ground berada jauh di atas batas minimum standar IEEE Std 43™-2013, yaitu lebih dari 200 MΩ, sementara batas minimumnya adalah 100 MΩ untuk motor dengan jenis belitan form-wound setelah tahun 1970. Hal ini mengindikasikan bahwa kondisi isolasi terhadap ground masih baik, bebas dari kontaminasi atau kelembapan berlebih.

###### - Tahanan Isolasi antar Fasa

Nilai tahanan isolasi antar fasa menunjukkan angka 0,00 MΩ. Hasil ini dapat diartikan sebagai kondisi normal jika pengukuran dilakukan dalam kondisi belitan masih saling terhubung (konfigurasi bintang/segitiga). Namun, jika pengujian dilakukan setelah terminal dilepas, maka hasil ini patut dicurigai sebagai indikasi hubungan pendek atau kerusakan serius pada isolasi antar belitan.

##### 2. Indeks Polarisasi (PI)

Nilai Indeks Polarisasi untuk ketiga fasa berada di antara 2,71 hingga 2,99 dengan rata-rata PI sebesar 2,82. Berdasarkan standar IEEE, nilai tersebut termasuk dalam kategori “normal” dan memenuhi nilai minimum yang disyaratkan untuk motor dengan thermal class B, F, atau H. Ini menunjukkan bahwa proses polarisasi berlangsung dengan baik dan isolasi masih dalam kondisi layak operasi.

##### 3. Arus Bocor

Hasil perhitungan arus bocor menunjukkan nilai sangat kecil, yaitu kurang dari 1 mA untuk setiap fasa. Nilai ini tergolong aman dan menunjukkan tidak adanya kebocoran signifikan dalam sistem isolasi motor.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdillah, H., 2023. Analisis Pengukuran Tahanan Isolasi dan Indeks Polaritas pada Motor 3 Fasa. *INTRO: Journal Informatika dan Teknik Elektro*, 2(1), pp.37-42.
- [2] IEEE Std 43™-2013. IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery
- [3] Oktavianto, A. and Joko, J., 2025. Analisis Kelayakan Motor Induksi 3 Fasa Berdasarkan Tahanan Isolasi dan Indeks Polaritas Di PT. PLN Indonesia Power Grati PGU. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 14(2), pp.108-113.
- [4] Susilo, S.W., 2025. Identifikasi Kerusakan Motor 3 Kv Pulverizer Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Dengan Pengukuran Tahanan Isolasi Dan Indeks Polarisasi. *ELIJITA: Electrical Engineering and Informatics Journal of UNITA*, 1(01), pp.14-25.
- [5] Prapongga, M.K. and Rahmadewi, R., 2024. SISTEM PEMELIHARAAN MOTOR LISTRIK 3 FASA PADA REAKTOR GA-243 (STUDI KASUS PT SINTAS KURAMA PERDANA). *Aisyah Journal Of Informatics and Electrical Engineering (AJIEE)*, 6(1), pp.95-103.
- [6] Sulastri, D. and Darmawan, I.A., 2022. Pengujian Elektrik Motor Induksi 3 Phase Rotor Sangkar 75 KW Di PT MESINDO TEKNINESIA. *Tesla*, 24(1), pp.47-55.
- [7] AKBAR, N.Z., 2025. *PENGKOREKSIAN DAN MAINTENANCE NILAI TAHANAN ISOLASI STATOR PADA MOTOR INDUKSI 3 PHASA* (Doctoral dissertation, UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU).
- [8] PUTRA, Y.K., 2022. PENGUJIAN STATIS DAN PENGUJIAN DINAMIS MOTOR INDUKSI 500 kW. *e-Proceeding FTI*.