

ANALISIS PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI STATOR DAN ROTOR GENERATOR GT 1.1 PLTG BELAWAN

Dikky Ramansyah¹, Friska Oktavina Nauli Br Tambunan², Rihat Sebayang³

Teknik Konversi Energi^{1,2,3}, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan

dikkyramansyah@students.polmed.ac.id¹, friskaoktavinanaulibratambunan@students.polmed.ac.id²,

rihatsebayang@polmed.ac.id³

ABSTRAK

Tahanan isolasi yang rendah dapat menyebabkan kebocoran arus pada generator dan dapat mengakibatkan kegagalan kerja pada sebuah pembangkit dan dapat membahayakan personil disekitar pembangkit. Maka dari itu generator sebelum dioperasikan dari tidak operasi beberapa waktu perlu dilakukan pengujian tahanan isolasi pada stator dan rotornya untuk mengetahui nilai tahanan isolasinya. Apabila nilai tahanan isolasi tidak sesuai dengan standard minimum yang ditetapkan maka generator tidak layak operasi karena dapat membahayakan pembangkit maupun personil. Lalu dilakukanlah pemeliharaan untuk meningkatkan tahanan isolasi stator dan rotor generator dengan beberapa pemeliharaan yang dilakukan.

Kata Kunci : Tahanan Isolasi, Stator, Rotor

PENDAHULUAN

Generator sinkron merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik karena berperan dalam menyediakan energi listrik yang sangat dibutuhkan oleh masyarakat, sehingga kinerja dan keandalannya adalah suatu hal yang sangat penting. Generator mempunyai konstruksi yang sangat kompleks dan besar sehingga biaya yang harus dikeluarkan untuk pemeliharaan dan perbaikan jika mengalami kerusakan sangat besar.

Lebih kurang 36% kegagalan generator disebabkan oleh kegagalan isolasi. Dimana isolasi merupakan bagian yang memerlukan perhatian khusus pada generator. Karena kegagalan isolasi dipengaruhi oleh faktor usia peralatan yaitu sekitar 18% dan faktor kelembaban sekitar 18%. Karena tingkat kegagalan yang tinggi dipengaruhi oleh gagalnya isolasi, maka perlu dilakukan perawatan khusus pada bagian isolasi. Salah satunya yaitu dengan melakukan pengujian tahanan isolasi.

Mengapa Isolasi harus diukur?, karena nilai Isolasi suatu benda dapat berubah oleh karena pengaruh cuaca luar dan struktur bahan itu sendiri. Pengaruh luar adalah dimana Isolasi itu berada, apakah diruangan lembab atau di tempat yang suhunya tinggi, sehingga seiring dengan jalannya waktu, maka sangat dimungkinkan nilai Resistansi Isolasi tersebut akan berubah atau menurun. Sedangkan faktor struktur bahan Isolasi adalah karena bahan isolator tersebut melapisi/menyekat konduktor yang mengalirkan Arus cukup besar sehingga menimbulkan panas, maka dengan sendirinya struktur bahan Isolasi tersebut menjadi menurun daya sekatnya.

Begitu pentingnya nilai tahanan Isolasi diketahui sampai-sampai hampir setiap pengawasan Keselamatan Kerja atau Inspeksi Keselamatan di Kapal-kapal laut secara periodik yang paling awal diperiksa adalah nilai Tahanan Isolasi Peralatan Listrik dan Instalasinya. Sehingga dengan demikian setiap Teknisi yang dipercaya sebagai Tenaga Maintenance Listrik wajib dapat menggunakan Megger sebagai alat ukur Tahanan Isolasi baik untuk Peralatan Listrik seperti Generator, Transformator maupun Motor-motor Listrik. Demikian juga dengan Tahanan Isolasi Instalasinya baik Instalasi Penerangan maupun Instalasi Tenaga.

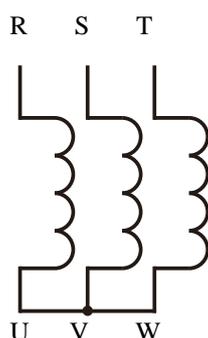
TINJAUAN PUSTAKA

Generator

Generator sinkron sering di sebut juga sebagai Generator AC karena dapat menghasilkan tegangan bolak-balik (AC). Generator dikatakan sinkron apabila jumlah putaran rotor sama dengan jumlah medan magnet pada stator. Kecepatan putar rotor dengan kutub-kutub magnet yang berputar dengan kecepatan yang sama akan menghasilkan kecepatan sinkron.

Ketika kumparan rotor berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang berputar, maka pada kumparan rotor akan timbul fluks. Fluks inilah yang akan menginduksi dan memotong kumparan stator sehingga timbul gaya gerak listrik (GGL).

Generator yang umumnya digunakan dalam pusat listrik adalah generator tiga fasa. Ujung-ujung kumparan stator dari generator sinkron dihubungkan ke penjepit pada generator sehingga ada enam penjepit seperti terlihat pada gambar 1. Penjepit-penjepit ini umumnya diberi kode RST dan U V W. Penjepit R dan U merupakan ujung-ujung kumparan pertama, S dan V dari kumparan kedua, sedangkan dari kumparan ketiga adalah T dan W. Karena umumnya generator sinkron dirangkaikan dalam hubungan W, maka ketiga penjepit UVW dihubungkan jadi satu sebagai titik netral, seperti yang diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Ujung-Ujung Kumparan Generator Sinkron

Konstruksi Generator Sinkron

Generator sinkron terdiri dari tiga bagian utama, yaitu: stator, rotor dan exciter. Stator adalah bagian diam yang mengeluarkan tegangan bolak-balik, dan rotor adalah bagian yang bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator, sedangkan exciter adalah generator arus searah (DC) yang dikopel dalam satu poros, sehingga putaran generator arus searah sama dengan putaran generator sinkron. Tegangan yang dihasilkan oleh generator arus searah ini diberikan ke belitan rotor generator sinkron melalui sikat karbon dan slip ring. Akibatnya arus searah mengalir ke dalam rotor atau kumparan medan dan menimbulkan medan magnet dan diperlukan untuk dapat menghasilkan tegangan arus bolak-balik pada kumparan utama yang terletak pada stator generator sinkron.

1. Rotor

Pada umumnya rotor merupakan tempat dimana medan magnet dibangkitkan. Rotor generator terdiri dari 2 bagian inti rotor dan kumparan rotor. Rotor pada umumnya ditumpu pada kedua ujungnya dengan bantalan (bearing). Perlu diketahui bahwa salah satu atau bahkan kedua bantalan tersebut diisolasi terhadap pondasi (ground). Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya sirkuit yang tertutup antara rotor, bantalan dan pondasi (ground) yang dapat menimbulkan aliran arus liar ini terjadi, maka permukaan bantalan minyak pelumas akan rusak akibat efek elektrokimia (electro chemical).



Gambar 2. Konstruksi Rotor Generator

2. Stator Generator

Stator merupakan lilitan tembaga statis yang terletak mengililingi poros utama. Fungsi stator adalah untuk membangkitkan medan magnet pada di sekitar rotor komponen ini terdiri dari lempengan besi

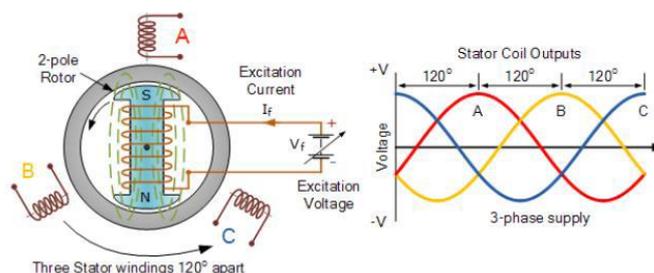
yang dililit oleh tembaga. Tembaga ini dihubungkan dengan sumber arus. Stator terdiri dari pelat - pelat besi yang disusun sama besar dengan rotor dan pada bagian dalam mempunyai banyak alur yang diberi kumparan kawat tembaga yang berisolasi. Jika kumparan stator mendapat suplai arus tiga fasa maka pada kumparan tersebut akan muncul fluks magnet putar. Pada umumnya stator merupakan tempat ggl dibangkitkan dan tempat arus beban mengalir ketika generator berbeban. Stator generator untuk pembangkit listrik umumnya terdiri dari 3 bagian yaitu, rangka stator (stator frame), inti stator (stator core) dan kumparan stator (stator winding).



Gambar 3. Konstruksi Stator Generator

Prinsip Kerja Generator

Prinsip dasar kerja generator adalah berdasarkan hukum Faraday yaitu “apabila lilitan penghantar dengan jumlah N lilitan atau konduktor diputar memotong garis-garis gaya medan magnet yang diam, atau lilitan penghantar diam dipotong oleh garis-garis gaya medan magnet yang berputar, maka pada penghantar tersebut timbul EMF atau GGL (gaya gerak listrik atau tegangan induksi)”. Jadi apabila bagian magnet (rotor) diputar dengan kecepatan konstan, maka akan muncul induksi tegangan sinusoidal pada bagian tersebut.



Gambar 4. Prinsip Kerja Generator

Dari gambar diatas dapat dilihat proses terbentuknya induksi tegangan sinusoidal. Ketika kumparan medan magnet diputar dengan kecepatan konstan, maka kumparan jangkar ABC akan menghasilkan gelombang tegangan. Gelombang tegangan inilah yang nantinya menjadi tegangan keluaran dari suatu generator. (simamora, 2018)

Tahanan Isolasi

Tahanan isolasi adalah tahanan yang terdapat diantara dua kawat saluran (kabel) yang diisolasi satu sama lain atau tahanan antara satu kawat saluran dengan tanah (*ground*) (Andriyanto,2016). Hargi (2017) mendefinisikan tahanan isolasi adalah sebagai suatu yang diukur dari isolasi antara belitan dan inti besi pada trafo. Tahanan isolasi bertujuan agar membatasi aliran arus antara belitan dan inti besi. Nilai yang didapat tahanan isolasi semakin besar indeks polarisasinya maka semakin bagus tahanannya. Tahanan (resistansi) isolasi dari kabel instalasi listrik merupakan salah satu unsur yang menentukan kualitas instalasi listrik, mengingat fungsi utama isolasi sebagai sarana pengamanan instalasi listrik. Tahanan isolasi adalah tahanan yang terdapat diantara dua kawat saluran (kabel) yang diisolasi satu sama lain atau tahanan antara satu kawat saluran dengan netral (N). Sistem insulasi berfungsi untuk menghindari gangguan antar belitan dalam kumparan motor atau generator. Kumparan stator pada umumnya dirancang dapat bekerja penuh selama 20-40 tahun. Tapi hal ini tergantung dari kondisi pengoperasian. Praktisnya, insulasi adalah suatu senyawa organik yang berisi

air sebagai salah satu bahan bakunya. Kenaikan suhu yang berlebihan akan 'mengeringkan' dan mengoksidasi serta membuat bahan insulasi tersebut menjadi rapuh atau getis. Akhirnya insulasi tersebut akan pecah saat dihadapkan pada getaran dan benturan.

Karena umur generator atau motor listrik utamanya tergantung pada keadaan insulasinya, kondisi insulasi harus diperhatikan dan diukur secara teratur. Dalam hal ini, pengukuran IR dan PI adalah dua metode yang secara universal diterima sebagai bentuk diagnosa kondisi insulasi tersebut. Kedua metode ini telah digunakan selama lebih dari 75 tahun. Pengujian IR mengukur tahanan dari insulasi elektrik antara penghantar tembaga dan inti stator atau rotor. Idealnya, nilai tahanan insulasi ini tak terhingga (*infinite*) karena tujuan dari insulasi sendiri adalah menghalangi aliran arus antar penghantar tembaga dengan inti. Tapi pada kenyataannya, hal ini tidak memungkinkan. Untuk itu nilai tahanan insulasi harus bernilai tinggi untuk menghindari arus bocor yang kentara atau besar. Nilai IR yang rendah menunjukkan bahwa bahan insulasi tadi telah menurun kemampuannya atau rusak.

Pengujian *Polarity Index* (PI) adalah variasi dari pengujian IR, yang mana PI adalah perbandingan nilai IR 10 menit dan nilai IR 1 menit, sehingga:

$$PI = \frac{R_{10}}{R_1}$$

Nilai PI yang rendah menandakan bahwa belitan kumparan bisa saja telah terkontaminasi oli, debu koran dan lain-lain atau uap air. Pada pengujian ini, tegangan DC yang relatif tinggi diberikan antara penghantar tembaga belitan dengan inti rotor atau stator, atau gampangnya antara belitan dengan *grounding* karena inti dan bodi mesin dibumikan. Dengan menerapkan Hukum Ohm, IR (R_t) pada waktu t adalah:

$$R_t = \frac{V_0}{I t_1}$$

Dengan V adalah tegangan DC yang diberikan dan I adalah besar arus yang mengalir dalam rangkaian.

Efek Suhu dalam Pengukuran Tahanan Isolasi (IR)

Nilai IR sangat tergantung pada suhu pada saat pengukuran. Peningkatan suhu sebesar 100° Celsius dapat menurunkan nilai IR 5 hingga 10 kali. Ketika pembacaan suhu dan nilai IR digambarkan dalam bentuk kurva maka kurva karakteristik akan didapatkan. Efek suhu berbeda untuk tiap jenis bahan insulasi dan jenis kontaminasinya. Panduan untuk faktor koreksi pengukuran IR terhadap suhu ditulis di Standar IEEE No.43, meskipun panduan ini tidak lagi akurat untuk ekstrapolasi dengan suhu di atas 100 Celsius. (siringo ringo, 2018)

METODE PENELITIAN

Rancangan Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir

Metode Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan berdasarkan data-data hasil pengujian tahanan isolasi stator dan rotor generator yang dibutuhkan dalam analisis kinerja generator. Kegiatan tersebut meliputi studi literature yang berupa mempelajari manual book IEEE 43 2000 dan manual book data pabrikaan Generator GT 1.1 yang menjadi referensi dalam pemahaman mengenai pengujian tahanan isolasi stator dan rotor. Pengumpulan data yang didapatkan berasal dari riwayat pengujian dan pengujian langsung dari lapangan.

Metode Pengujian

Pengukuran nilai IR & PI akan dilakukan bersamaan. Jika suhu belitan berada di bawah titik embun, belitan mungkin harus dipanaskan terlebih dahulu untuk mengeringkan uap air yang mengembun pada belitan. Prosedurnya adalah sebagai berikut:

1. Pedoman tegangan langsung yang akan diterapkan selama uji tahanan isolasi

Tabel 1. Tabel Pedoman Tegangan

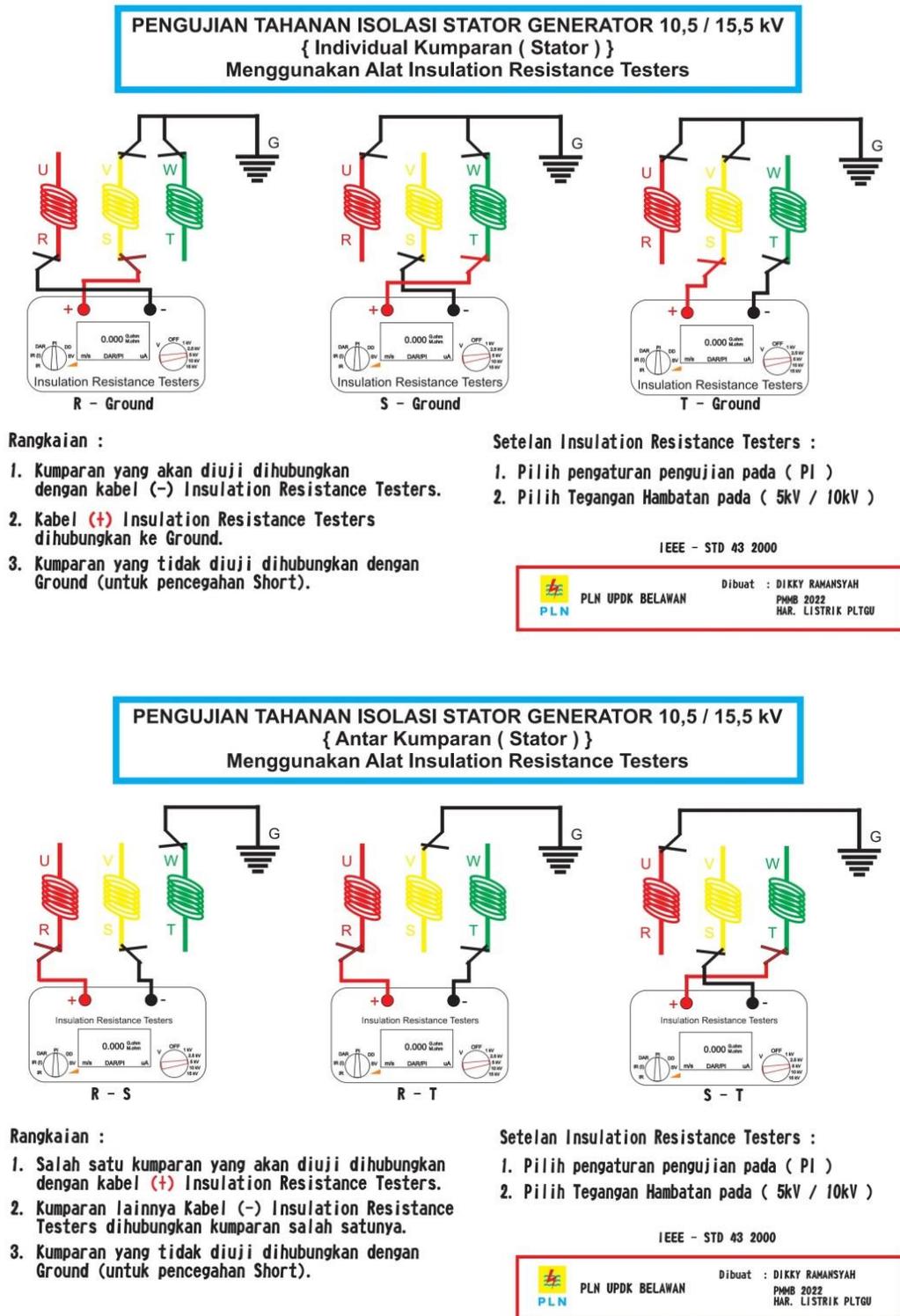
Tegangan Kerja Generator (V)	Tegangan Input Insulation Resistance Tester (V)
<1000	500
1000 – 2500	500 – 1000
2501 – 5000	1000 – 2500
5001 – 12 000	2500 – 5000
> 12 000	5000 – 10 000

Tegangan line-to-line terukur untuk mesin ac tiga fase, line-to-ground tegangan untuk mesin fase tunggal, dan pengenal langsung tegangan untuk mesin dc atau belitan medan.

2. Pengujian Tahanan Isolasi Stator Generator

Langkah – langkah pengujian :

- a. Lepaskan semua koneksi eksternal ke terminal kumparan stator generator dan lepaskan muatan belitan ke *body* yang sudah ditanahkan.
- b. Hubungkan tegangan DC antara belitan dan pembumian dengan menggunakan megger hingga 10 menit.
- c. Ukur tahanan insulasi setelah 1 menit dan 10 menit. Matikan catu daya ke alat ukur dan lepaskan muatan belitan ke *body* yang telah dibumikan.
- d. Hitung *polarization index* dengan cara membagikan hasil pengukuran tahan insulasi 10 menit dengan hasil pengukuran tahanan insulasi 1 menit.
- e. Tuliskan suhu belitan.
- f. Jika pengujian dilakukan hanya pada salah satu fasa dari peralatan tiga fasa, maka belitan yang lain harus dibumikan selama pengujian.



Gambar 6. Rangkaian Pengujian Tahanan Isolasi Stator

3. Pengujian Tahanan Isolasi Rotor Generator

Tabel 3. Interpretasi dari Nilai PI

Nilai PI	Keterangan	Tindakan
<1.0	Berbahaya	Keringkan Belitan
1 – 1.5	Buruk	Keringkat Belitan
1.5 – 2.0	Diragukan	Direkomendasikan untuk mengeringkan belitan
2.0 – 3.0	Cukup	
3.0 – 4.0	Baik	
< 4.0	Sangat Baik	

Sumber : IEEE STD 43 2000

Jika nilai IR yang terukur sangat besar ($< 5G\Omega$), maka nilai PI tidak perlu diukur, sehingga setelah 1 menit pengukuran dapat dihentikan untuk menghemat waktu. Jika nilai yang diperoleh terlalu rendah, ada kemungkinan insulasi pada belitan telah rusak akibat panas selama operasi. Hal ini terjadi karena pada dasarnya panas akan merubah sifat insulasi yang berakibat pada aliran arus polarisasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Tahanan Isolasi (Sebelum dilakukan pemeliharaan)

Tabel 4. Tabel Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Stator

Kumparan	Insulation Resistance (IR)	Polarisasi Index (PI)
R – S	2,11 (M Ω)	1,9
R – T	1,70 (M Ω)	1,5
S – T	2,9 (M Ω)	1,89
R – Ground	2,01 (M Ω)	1,8
S – Ground	1,9 (M Ω)	1,78
T - Ground	1,98 (M Ω)	1,80
Rotor - Ground	2,20 (M Ω)	1,99

Berdasarkan hasil pengujian tahanan isolasi, penulis mengambil data hasil pengujian langsung dari Insulation Resistance Tester (Megger MIT 1525). Hasil pengujian diatas didapat pada kondisi diragukan. Diperlukan pemeliharaan kembali untuk meningkatkan tahanan isolasi pada stator dan rotor generator GT 1.1 PLTG Belawan. Dan dapat dilakukan beberapa langkah pemeliharaan untuk meningkatkan tahanan isolasi stator dan rotor generator, yaitu :

1. Memanaskan kumparan – kumparan generator (Menghilangkan kelembaban).
2. Membersihkan kumparan – kumparan dari oli yang ada didalam generator.
3. Memeriksa lapisan – lapisan isolasi pada kumparan – kumparan generator apabila ada yang mengalami kerusakan segera diperbaiki.

Pembahasan

Dari pengujian yang dilakukan pada stator dan rotor generator. Data menunjukkan penurunan tahanan isolasi pada stator dan rotor generator. Maka dari itu perlu perhatian khusus pada tahanan isolasi pada stator dan rotor generator GT 1.1 PLTG Belawan. Dari hasil analisa yang dilakukan terdapat beberapa penyebab yang mengakibatkan penurunan tahanan isolasi pada stator dan rotor generator GT 1.1 PLTG Belawan. Untuk meningkatkan kembali tahanan isolasi perlu dilakukan pemeliharaan untuk meningkatkan tahanan isolasi stator dan rotor generator GT 1.1 PLTG Belawan. Pemeliharaan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Membersihkan rembesan oli yang terjangkau oleh personil, yang ada didalam generator.
2. Memeriksa kembali lapisan isolasi yang ada pada stator dan rotor, dan apabila terdapat kerusakan pada lapisan isolasi akan dilakukan perbaikan dengan menambahkan lapisan isolasi pada kumparan.
3. Memberi heater tambahan didalam casing generator yang dekat dengan stator dan rotor generator dengan suhu $> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dengan kondisi unit sedang *turning gear*.

Setelah dilakukan pemeliharaan dilakukan pengujian kembali, dan hasil pengujian menunjukkan peningkatan pada nilai tahanan isolasi stator dan rotor generator GT 1.1 PLTG Belawan.

Hasil Pengujian Tahanan Isolasi (Sesudah dilakukan Pemeliharaan)**Tabel 5.** Tabel Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Stator

Kumparan	Insulation Resistance (IR)	Polarisasi Index (PI)
R – S	2,32 (GΩ)	2,72
R – T	4,37 (GΩ)	2,15
S – T	6,5 (GΩ)	2,80
R – Ground	8,29 (GΩ)	3,06
S – Ground	6,24 (GΩ)	2,86
T - Ground	1,392 (GΩ)	1,67
Rotor - Ground	2,1 (GΩ)	1,67

Dari hasil pengujian setelah dilakukan pemeliharaan, tahanan isolasi pada stator dan rotor meningkat, dan telah memenuhi standard operasi yang ditetapkan pada IEEE std 43-2000. Maka dari itu generator GT 1.1 PLTG Belawan siap untuk dioperasikan.

SIMPULAN

Dari hasil penyusunan laporan tugas akhir mengenai analisa pengujian tahanan isolasi stator dan rotor generator GT 1.1 PLTG Belawan dapat disimpulkan, sebagai berikut :

1. Pengujian Tahanan Isolasi pada stator dan rotor generator GT 1.1 PLTG Belawan mengikuti pedoman pada IEEE std 43-2000.
2. Pengaruh pemanasan pada stator dan rotor generator pada GT 1.1 PLTG Belawan, Untuk Menurunkan tingkat kelembaban yang ada didalam generator. Karena didalam generator terdapat rembesan oli yang menyebabkan meningkatnya kelembaban didalam generator, sehingga tahanan isolasi stator dan rotor generator rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur karena berkat dan rahmat Yang Maha Kuasa penulis dapat menyelesaikan artikel ini, serta terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Medan, yang telah membantu partisipasi dalam kemudahan dalam menyelesaikan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- ASSOCIATION, I. S. (2013). *IEEE Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery*. New York, USA: IEEE STANDARDS ASSOCIATION.
- Nusantara Power, P. (1988). *Manual Book MKA 1.1*. PT PLN (Persero).
- Simamora, w. y. (2018). *analisis gangguan tanah pada generatortanah pada generator 1x 33 MW unit 1 dengan menggunakan rele gangguan tanah di PLTA sipansihoparas*. Medan: Politeknik Negeri Medan.
- Siringo ringo, f. f. (2018, Desember 19). *Pentingnya pengujian tahanan isulasi dan pengujian polarity index pada generator dan motor listrik*. Retrieved from Electrical engineering: <https://id.linkedin.com/pulse/pentingnya-pengujian-tahanan-insulasi-dan-polarity-siringoringo>.
- Teknik, B. U. (2021). Pengukuran resistensi isolasi instalasi penerangan basement pada gedung rumah sakit grend mitra medika medan. *Resistensi Isolasi*, 240 - 247.