

**ANALISIS HASIL PENGUJIAN TAN DELTA
STATOR GENERATOR SETELAH OVERHAUL
MENGUNAKAN OMICRON CPC 100 DAN CP-TD1
DI PLTU SUMBER ALAM SEKURAU TANJUNG
SELOR**

LAPORAN TUGAS AKHIR

**Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar S1 pada Prodi Teknik Elektro Fakultas
Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang**



Disusun Oleh:

ADI GUNAWAN

NIM. 30602300044

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

SEMARANG

2024

***ANALYSIS OF TAN DELTA STATOR GENERATOR
TESTING RESULTS AFTER OVERHAUL USING OMICRON
CPC 100 AND CP-TD1 AT PLTU SUMBER ALAM SEKURAU
TANJUNG SELOR***

***Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree
(S1) at Departement of Electrical Engineering, Faculty of Industrial
Technology, Universitas Islam Sultan Agung***



Compiled By :

ADI GUNAWAN

NIM. 30602300044

**DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2024

SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Adi Gunawan
NIM : 30602300044
Jurusan : Teknik Elektro
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“ANALISIS HASIL PENGUJIAN TAN DELTA STATOR GENERATOR SETELAH OVERHAUL MENGGUNAKAN OMICRON CPC 100 DAN CP-TD1 DI PLTU SUMBER ALAM SEKURAU TANJUNG SELOR”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 3 Maret 2025

Yang Menyatakan



Adi Gunawan

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

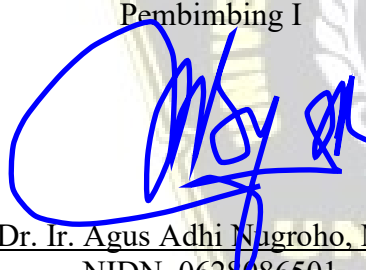
Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS HASIL PENGUJIAN TAN DELTA STATOR GENERATOR SETELAH OVERHAUL MENGGUNAKAN OMICRON CPC 100 DAN CP-TD1 DI PLTU SUMBER ALAM SEKURAU TANJUNG SELOR” ini disusun oleh:

Nama : ADI GUNAWAN
NIM : 30602300044
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

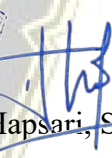
Hari : Jum'at
Tanggal : 17 Januari 2025

Pembimbing I


Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T.
NIDN. 0628086501

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro


Hapsari, S.T., M.T
NIDN : 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS HASIL PENGUJIAN TAN DELTA STATOR GENERATOR SETELAH OVERHAUL MENGGUNAKAN OMICRON CPC 100 DAN CP-TD1 DI PLTU SUMBER ALAM SEKURAU TANJUNG SELOR” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Senin
Tanggal : 3 Maret 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

Ir. Suryani Alifah, M.T., Ph.D.

NIDN. 0615036901

Ketua

Dedi Nugroho, S.T., M.T.

NIDN : 0617126602

Penguji I

Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T.,

IPM.

NIDN 0628086501

Penguji II

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penayang. Sholawat serta salam saya haturkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW, keluarganya, dan para sahabatnya.

Pertama-tama, saya persembahkan Tugas Akhir ini untuk teman satu pekerjaan, teman satu angkatan, dan teman satu kuliah yang setelah semester awal masuk kuliah sampai selesai masa perkuliahan.

Kedua, saya persembahkan kepada bapak dan ibu dosen yang selalu membimbing dan memberikan motivasi agar saya tetap semangat dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terima kasih banyak, bapak dan ibu dosen. Mungkin, tanpa dorongan semangat dari bapak dan ibu sekalian, Tugas Akhir ini belum tentu bisa saya selesaikan.

Ketiga, saya persembahkan kepada ayah dan ibu yang selalu memberikan cinta, dukungan, doa, dan pengorbanan yang tiada henti. Terima kasih atas semua nasihat dan kasih sayang yang tulus, serta kepercayaan yang telah diberikan kepada saya.

Keempat, saya persembahkan kepada diri saya sendiri, yang telah bersemangat luar biasa dalam mengerjakan Tugas Akhir ini, terutama di tahap-tahap akhir. Terima kasih kepada diriku sendiri atas segala usaha fisik, pikiran, dan perasaan yang telah dicurahkan hingga Tugas Akhir ini selesai.

HALAMAN MOTO

"Jika kamu menolong (agama) Allah, niscaya Dia akan menolongmu dan meneguhkan kedudukanmu."

QS Muhammad ayat 7

"Tidak ada keberuntungan, tanpa kesempatan dan persiapan. Keberuntungan adalah apa yang terjadi ketika persiapan bertemu dengan kesempatan"

Seneca, seorang filsuf Romawi.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul "**ANALISIS HASIL PENGUJIAN TAN DELTA STATOR GENERATOR SETELAH OVERHAUL MENGGUNAKAN OMICRON CPC 100 DAN CP-TD1 DI PLTU SUMBER ALAM SEKURAU TANJUNG SELOR**". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat pendidikan sarjana pada Studi Program Teknik Elektro Fakultas Teknik Industri Unissula (Universitas Islam Sultan Agung Semarang).

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, M.T., selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberi koreksi dan bimbingan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Orang tuaku yang selalu memberi motivasi, doa, dukungan, dan kasih sayang yang tiada henti serta dorongan dalam penulisan Tugas Akhir ini.
5. Teman – teman Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Dan semua kalangan yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan

kontribusi positif bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang Sistem Kelistrikan.

Demikian kata pengantar ini disusun. Semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa melimpahkan berkah dan rahmat-Nya kepada kita semua.

Jakarta, 23 November 2024



Adi Gunawan



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	iv
SURAT PERNYATAAN.....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
HALAMAN MOTO	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
ABSTRAKSI	xviii
ABSTRACT.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	20
1.1 Latar Belakang	20
1.2 Perumusan Masalah.....	22
1.3 Pembatasan Masalah	22
1.4 Tujuan.....	23
1.5 Manfaat.....	23
1.6 Sistematika Penulisan.....	24
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	26
2.1 Tinjauan Pustaka	26

2.1.1	Pengujian Tan Delta	26
2.1.2	Peran Pengujian Tan Delta pada Generator	26
2.1.3	Teknologi Pengujian Tan Delta dengan Omicron CPC100 dan CP-TD1	27
2.1.4	Pengaruh Overhaul terhadap Isolasi Generator.....	27
2.2	Landasan Teori.....	28
2.2.1	Stator Generator	28
2.2.2	Pengujian Elektrikal pada Isolasi Stator Genertaor	29
2.2.3	Pengaruh Tan Delta Terhadap Rugi-Rugi Daya Dielektrik	33
2.2.4	Penggunaan Omicron CPC100 dan CP-TD1	35
2.2.5	Overhaul Generator.....	37
2.2.6	Rugi-Rugi Daya	38
2.2.7	Kriteria Bahan Isolasi Winding Stator	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		41
3.1	Model Penelitian	41
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	42
3.3	Studi Literatur	42
3.4	Sumber Data.....	42
3.5	Prosedur Penelitian.....	42
3.6	<i>Flow Chart</i> Penelitian	46
BAB IV DATA DAN ANALISA		50
4.1	Data Generator PLTU Sumber Alam Sekurau	50
4.2	Data Hasil Pengujian Tan Delta Sebelum Overhaul	51
4.3	Data Pengujian Tan Delta Setelah Overhaul.....	55
4.4	Analisa Data Pengujian Tan Delta Sebelum dan Sesudah Overhaul .	60

4.5	Analisa Data Hubungan Tan Delta dengan Rugi-Rugi Daya Dielektrik	63
4.6	Analisa Perbandingan Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Overhaul ..	69
BAB V PENUTUP.....		73
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	74
DAFTAR PUSTAKA		75
LAMPIRAN.....		76



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar Kriteria Insulation Resistance dan Polarisasi Index	30
Tabel 2. 2 Dissipation Factor Acceptance Criteria for Stator Winding Insulation	31
Tabel 2. 3 Tingkat Ketahanan Bahan Isolasi	40
Tabel 3. 1 Dissipation Factor Acceptance Criteria for Stator Winding Insulation	46
Tabel 4. 1 Technical Data Generator	51
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Tan Delta Terminal R Sebelum Overhaul	51
Tabel 4. 3 Analisa Tan Delta Terminal R Sebelum Overhaul Berdasarkan Kriteria IEC 60034-27-3.....	52
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Tan Delta Terminal S Sebelum Overhaul.....	53
Tabel 4. 5 Analisa Tan Delta Terminal S Sebelum Overhaul Berdasarkan Kriteria IEC 60034-27-3.....	53
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Tan Delta Terminal T Sebelum Overhaul	54
Tabel 4. 7 Analisa Tan Delta Terminal T Sebelum Overhaul Berdasarkan Kriteria IEC 60034-27-3.....	55
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Tan Delta Terminal R Setelah Overhaul	55
Tabel 4. 9 Analisa Tan Delta Terminal R Setelah Overhaul Berdasarkan Kriteria IEC 60034-27-3.....	56
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Tan Delta Terminal S Setelah Overhaul.....	57
Tabel 4. 11 Analisa Tan Delta Terminal S Setelah Overhaul Berdasarkan Kriteria IEC 60034-27-3.....	57
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Tan Delta Terminal T Setelah Overhaul.....	58
Tabel 4. 13 Analisa Tan Delta Terminal T Setelah Overhaul Berdasarkan Kriteria IEC 60034-27-3.....	59
Tabel 4. 14 Perbandingan Tan Delta Terminal R Sebelum dan Setelah Overhaul	60
Tabel 4. 15 Perbandingan Tan Delta Terminal S Sebelum dan Setelah Overhaul	60
Tabel 4. 16 Perbandingan Tan Delta Terminal T Sebelum dan Setelah Overhaul	62
Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik Terminal R Sebelum Overhaul.....	63

Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik Terminal S Sebelum Overhaul.....	64
Tabel 4. 19 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik Terminal T Sebelum Overhaul.....	65
Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik Terminal R Setelah Overhaul.....	67
Tabel 4. 21 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik Terminal S	68
Tabel 4. 22 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik Terminal T	69
Tabel 4. 23 Perbandingan Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Overhaul Terminal R	70
Tabel 4. 24 Perbandingan Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Overhaul Terminal S	70
Tabel 4. 25 Perbandingan Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Overhaul Terminal R	71



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Stator Generator	28
Gambar 2. 2 Standard Pattern Partial Discharge by Omicron	32
Gambar 2.3 Rangkaian Parallel dan Vector Diagram (Internasional Electrotechnical Commission, 2015)	33
Gambar 2. 4 Omicron CPC 100	36
Gambar 2. 5 Omicron CPTD 1	36
Gambar 2. 6 Overhaul Generator	37
Gambar 3. 1 Flowchart Pengujian Tan Delta.....	43
Gambar 3. 2 Gambar Koneksi CPC dan CPTD Generator	45
Gambar 3. 3 Flowchart Pengujian Tan Delta.....	49
Gambar 4. 1 Nameplate Generator.....	50
Gambar 4. 2 Kurva Hasil tan Delta Terminal R Sebelum Overhaul.....	52
Gambar 4. 3 Kurva Hasil tan Delta Terminal S Sebelum Overhaul.....	53
Gambar 4. 4 Kurva Hasil tan Delta Terminal T Sebelum Overhaul.....	54
Gambar 4. 5 Kurva Hasil tan Delta Terminal R Setelah Overhaul.....	56
Gambar 4. 6 Kurva Hasil tan Delta Terminal S Setelah Overhaul	57
Gambar 4. 7 Kurva Hasil tan Delta Terminal T Setelah Overhaul	59
Gambar 4. 8 Kurva Perbandingan Hasil Tan Delta Terminal R Sebelum dan Sesudah Overhaul.....	60
Gambar 4. 9 Kurva Perbandingan Hasil Tan Delta Terminal S Sebelum dan Sesudah Overhaul.....	61
Gambar 4. 10 Kurva Perbandingan Hasil Tan Delta Terminal T Sebelum dan Sesudah Overhaul.....	62
Gambar 4. 11 Kurva Rugi Daya Terminal R Sebelum Overhaul	64
Gambar 4. 12 Kurva Rugi Daya Terminal S Sebelum Overhaul	65
Gambar 4. 13 Kurva Rugi Daya Terminal T Sebelum Overhaul.....	66
Gambar 4. 14 Kurva Rugi Daya Terminal R Setelah Overhaul.....	67
Gambar 4. 15 Kurva Rugi Daya Terminal S Setelah Overhaul	68
Gambar 4. 16 Kurva Rugi Daya Terminal T Setelah Overhaul.....	69

Gambar 4. 17 Perbandingan Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Overhaul Terminal R.....	70
Gambar 4. 18 Perbandingan Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Overhaul Terminal T	72



ABSTRAKSI

Tan delta merupakan salah satu parameter penting dalam pengujian kualitas isolasi pada stator generator, yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi dan performa sistem isolasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa setelah proses overhaul, nilai tan delta pada stator generator mengalami perubahan signifikan dan berada dalam rentang batas aman sesuai standar IEC 60034-27-3. Penggunaan perangkat Omicron CPC 100 dan CP-TD1 menghasilkan data yang akurat, memungkinkan evaluasi kondisi isolasi secara menyeluruh. Pengujian tan delta adalah langkah penting untuk memastikan keandalan operasi generator pasca-overhaul. Hasil analisis ini merekomendasikan perawatan dan pengujian berkala untuk meminimalkan risiko kerusakan isolasi serta meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem pembangkitan di PLTU. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hasil pengujian tan delta pada stator generator setelah proses overhaul, menggunakan perangkat Omicron CPC 100 dan CP-TD1 di PLTU Sumber Alam Sekurau, Tanjung Selor. Proses pengujian melibatkan pengukuran nilai tan delta pada berbagai level tegangan, sesuai dengan standar pengujian internasional, untuk menentukan tingkat degradasi atau kerusakan pada material isolasi. Data hasil pengujian dianalisis untuk mengidentifikasi perubahan nilai tan delta sebelum dan sesudah overhaul, serta mengevaluasi efisiensi proses perawatan terhadap kualitas isolasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tan delta pada stator generator mengalami perubahan signifikan setelah overhaul, di mana nilai tan delta berada dalam rentang batas aman yang ditetapkan oleh standar IEC 60034-27-3: *Dissipation Factor Acceptance Criteria for Stator Winding Insulation*. Penggunaan perangkat Omicron CPC 100 dan CP-TD1 terbukti memberikan hasil pengujian yang akurat dan dapat diandalkan, sehingga mempermudah evaluasi kondisi isolasi secara komprehensif.

Kata Kunci: Tan delta, stator generator, overhaul, Omicron CPC 100, CP-TD1, PLTU.

ABSTRACT

Tan delta is one of the important parameters in testing the insulation quality of generator stators, used to evaluate the condition and performance of the insulation system. This research shows that after the overhaul process, the tan delta value of the generator stator experienced significant changes and remained within the safe limits according to the IEC 60034-27-3 standard. The use of the Omicron CPC 100 and CP-TD1 devices resulted in accurate data, allowing for a comprehensive evaluation of the insulation condition. Tan delta testing is an important step to ensure the reliability of generator operation post-overhaul. The results of this analysis recommend regular maintenance and testing to minimize the risk of insulation damage and improve the efficiency and reliability of the power generation system at the PLTU. This research aims to analyze the results of the tan delta testing on the generator stator after the overhaul process, using the Omicron CPC 100 and CP-TD1 devices at the Sumber Alam Sekurau PLTU in Tanjung Selor. The testing process involved measuring tan delta values at various voltage levels, in accordance with international testing standards, to determine the level of degradation or damage to the insulation material. The test data were analyzed to identify changes in tan delta values before and after the overhaul, as well as to evaluate the efficiency of the maintenance process regarding insulation quality. The results showed that the tan delta values of the generator stator underwent significant changes after the overhaul, where the tan delta values remained within the safe limits set by the IEC 60034-27-3 standard: Dissipation Factor Acceptance Criteria for Stator Winding Insulation. The use of the Omicron CPC 100 and CP-TD1 devices proved to provide accurate and reliable testing results, thereby facilitating a comprehensive evaluation of the insulation condition.

Keywords: Tan delta, generator stator, overhaul, Omicron CPC 100, CP-TD1, power plant.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) Sumber Alam Sekurau Tanjung Selor terletak di Kabupaten Bulungan, Kalimantan Utara, Indonesia. PLTU ini merupakan salah satu sumber daya energi penting yang mendukung kebutuhan listrik di wilayah tersebut, yang juga berperan dalam meningkatkan ketersediaan pasokan energi untuk kawasan sekitarnya. PLTU ini memiliki kapasitas terpasang sebesar 1 x 7,5 MW, yang dioperasikan menggunakan teknologi pembangkit tenaga uap. Unit-unit pembangkit tersebut terdiri dari generator yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin uap menjadi energi listrik. Sebagai bagian dari sistem pembangkit, generator memiliki peran penting dalam memastikan stabilitas dan keandalan pasokan listrik.

Generator sinkron merupakan salah satu komponen vital dalam sistem pembangkit tenaga listrik yang bertugas mengonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Keandalan generator sangat bergantung pada kualitas isolasi lilitan stator dan rotor, yang berfungsi sebagai penghalang antara bagian yang dialiri arus listrik dan bagian yang tidak dialiri arus. Seiring berjalannya waktu, kondisi isolasi pada generator dapat menurun akibat pengaruh faktor lingkungan seperti panas berlebih, kelembaban, polusi, getaran mekanik, serta tegangan tinggi yang terus-menerus diterapkan.

Seiring dengan usia operasional dan tuntutan beban yang semakin besar, pemeliharaan dan perawatan unit pembangkit menjadi hal yang sangat penting untuk memastikan kinerja optimal. Salah satu tindakan pemeliharaan yang rutin dilakukan pada generator adalah overhaul atau perbaikan menyeluruh yang dilakukan untuk menjaga agar generator tetap beroperasi dengan baik.

Pada generator, salah satu komponen utama yang sangat krusial adalah kumparan stator. Kumparan stator berfungsi untuk menghasilkan medan magnet yang berinteraksi dengan rotor untuk menghasilkan arus listrik. Namun, kumparan stator juga rentan terhadap kerusakan akibat faktor-faktor seperti kelebihan beban, umur operasional yang panjang, atau gangguan lain selama proses pengoperasian.

Salah satu masalah yang sering terjadi pada kumparan stator generator adalah kerusakan pada isolator yang terdapat di antara gulungan kawat kumparan. Isolator ini memiliki peran penting dalam mencegah terjadinya arus pendek antar kumparan, sehingga kestabilan kinerja generator tetap terjaga.

Kerusakan pada isolator kumparan stator sangat berisiko, karena dapat menyebabkan gangguan arus bocor, yang pada gilirannya dapat berakibat pada penurunan efisiensi generator, pemadaman mendadak, atau bahkan kerusakan fatal pada komponen-komponen penting generator.

Untuk mendeteksi masalah pada isolator kumparan stator, terutama setelah overhaul ada banyak pengujian seperti, *insulation resistance test*, *polarization index test*, *winding resistance test*, *bump test*, *tan delta test*, dan *partial discharge test* salah satu metode yang paling efektif adalah melakukan pengujian tangen delta (Tan Delta). Pengujian ini mengukur kualitas isolasi dengan menganalisis perubahan resistansi pada material isolator di bawah tegangan tinggi.

Pengujian Tan Delta sangat penting untuk mendeteksi kerusakan yang terjadi pada isolasi stator generator setelah overhaul. Isolator yang rusak atau menurun kualitasnya akan menunjukkan nilai Tan Delta yang lebih tinggi, yang mengindikasikan peningkatan konduktivitas dan hilangnya kemampuan isolasi. Dengan mengetahui kondisi isolator secara lebih akurat, perbaikan dapat dilakukan lebih awal sebelum masalah yang lebih besar terjadi, seperti terjadinya hubung singkat atau kerusakan fatal pada generator. Ini akan membantu mencegah pemadaman listrik mendadak yang dapat mengganggu pasokan listrik kepada konsumen. Melakukan pengujian secara berkala membantu dalam pemeliharaan preventif, yang lebih efektif daripada menunggu terjadinya kerusakan besar.

Pengujian Tan Delta memungkinkan untuk memonitor kondisi isolasi secara terus-menerus dan melakukan perawatan yang diperlukan sebelum kerusakan terjadi. Mengidentifikasi masalah pada isolasi stator akan membantu meningkatkan keandalan dan efisiensi generator dalam jangka panjang, yang sangat penting bagi operasional PLTU yang harus selalu dalam kondisi siap untuk memberikan listrik secara stabil. Menjaga kualitas isolasi juga berperan besar dalam keselamatan operasional. Isolasi yang baik mencegah terjadinya arus bocor atau gangguan yang bisa membahayakan personel yang bekerja di sekitar generator atau merusak komponen lainnya.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana hasil pengukuran Tan Delta menggambarkan kondisi kualitas isolasi generator setelah proses overhaul?
- b. Bagaimana perubahan nilai pengujian Tan Delta dan kondisi degradasi atau kerusakan pada sistem isolasi generator sebelum dan setelah overhaul?
- c. Apakah hasil pengujian Tan Delta pada generator tersebut memenuhi standar kualitas isolasi yang ditetapkan untuk operasi yang aman dan efisien?

1.3 Pembatasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus, beberapa batasan masalah yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian hanya akan dilakukan pada generator yang terdapat di PLTU Sumber Alam Sekurau, Tanjung Selor.
- b. Penelitian hanya berfokus pada pengujian Tan Delta sebagai metode utama untuk menilai kualitas isolasi. Teknik pengujian isolasi lainnya, seperti pengujian partial discharge atau pengujian megger, tidak akan menjadi bagian dari penelitian ini.
- c. Parameter utama yang dianalisis adalah nilai Tan Delta dari hasil pengujian.

Faktor-faktor lain yang mempengaruhi kondisi isolasi, seperti pengaruh suhu atau kelembaban, hanya akan dibahas dalam kaitannya dengan hasil pengujian Tan Delta, namun tidak menjadi fokus pengujian.

1.4 Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini mengacu pada rumusan masalah yang telah dijabarkan sebagai berikut:

- a. Mengetahui metode pengujian Tan Delta yang tepat untuk generator sinkron.
- b. Menganalisis hasil pengujian Tan Delta untuk mengevaluasi kondisi kualitas isolasi generator setelah proses overhaul.
- c. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi nilai Tan Delta pada sistem isolasi generator, termasuk degradasi material isolasi, kelembaban, dan kontaminasi.
- d. Mengevaluasi apakah hasil pengujian Tan Delta memenuhi standar yang berlaku untuk memastikan keamanan dan keandalan operasional generator.

1.5 Manfaat

Dari Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

- a. Membantu pihak operator dan teknisi di PLTU dalam memahami kondisi kualitas isolasi generator secara lebih mendalam, sehingga dapat mengoptimalkan perawatan dan pengoperasian. Memberikan analisis yang dapat membantu teknisi pemeliharaan dalam mendiagnosis kondisi isolasi generator.
- b. Mengurangi risiko kegagalan generator dengan memberikan rekomendasi tindakan perbaikan berdasarkan hasil analisis Tan Delta.
- c. Memberikan panduan kepada perusahaan pembangkit listrik dalam menerapkan metode pengujian Tan Delta secara rutin untuk pemantauan kondisi isolasi generator di masa depan.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan tugas akhir ini memiliki sistematika penulisan sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan latar belakang penelitian yang mencakup konteks dan alasan di balik pemilihan topik, rumusan masalah akan diuraikan untuk mengidentifikasi isu-isu utama yang akan diteliti, tujuan penelitian, batasan masalah akan ditetapkan untuk menentukan lingkup penelitian, sehingga fokus dapat diarahkan pada aspek-aspek tertentu, manfaat, dan sistematika penulisan akan disajikan untuk memberikan gambaran umum mengenai struktur dan organisasi dari proposal ini.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini menyajikan tinjauan literatur yang mencakup teori-teori dan penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian. Teori penunjang yang mendasari penelitian mengenai pengujian tan delta pada generator menggunakan omicron CPC 100 dan CP-TD1.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan metode yang akan digunakan dalam penelitian, dimulai dengan menjelaskan model penelitian. Informasi tentang alat dan bahan yang digunakan, studi Literatur, sumber pengumpulan data. Prosedur penelitian yang menunjukkan bagaimana data yang dikumpulkan akan diolah dan dianalisis untuk menjawab rumusan masalah, serta tahapan-tahapan yang akan dilaksanakan dalam penelitian ini.

BAB IV : DATA DAN ANALISA

Bab ini mempresentasikan hasil penelitian yang diperoleh dari data pengukuran dan analisis data. Hasil dari data pengukuran akan disajikan dalam bentuk data dan

grafik yang relevan untuk memberikan gambaran visual tentang temuan penelitian. Pembahasan akan difokuskan pada analisis hasil yang diperoleh, dengan mengaitkannya kembali pada rumusan masalah yang telah ditetapkan.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir ini menyajikan kesimpulan dari penelitian yang akan menyajikan gambaran keseluruhan dari hasil penelitian dan kontribusi yang diberikan. Saran akan diberikan berdasarkan hasil penelitian, mencakup rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut atau penerapan praktis dari temuan penelitian ini, dengan tujuan untuk memperbaiki atau mengembangkan bidang studi ini lebih lanjut.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka yang digunakan sebagai materi pendukung dengan melampirkan abstrak berupa penelitian yang pernah dilakukan para peneliti terdahulu antara lain:

2.1.1 Pengujian Tan Delta

Pengujian Tan Delta adalah metode yang digunakan untuk menilai kondisi isolasi suatu peralatan listrik, seperti generator, transformator, atau kabel. Tan Delta, atau dikenal juga sebagai "loss angle," adalah perbandingan antara komponen resistif dan kapasitif dari arus yang melewati isolasi. Dalam idealnya, arus yang melewati sistem isolasi murni bersifat kapasitif. Namun, adanya kebocoran arus akibat degradasi isolasi menyebabkan munculnya komponen resistif. (Febrijanto & Hidayat, 2022)

Nilai Tan Delta yang lebih tinggi menunjukkan bahwa lebih banyak energi hilang dalam bentuk panas akibat kerusakan atau penurunan kualitas isolasi. Pengujian Tan Delta sering digunakan karena memberikan data kuantitatif yang berguna dalam program pemeliharaan prediktif, membantu mencegah kegagalan peralatan di masa mendatang. (Morsalin et al., 2019)

2.1.2 Peran Pengujian Tan Delta pada Generator

Isolasi pada generator sinkron berperan penting dalam menjaga integritas operasi mesin. Isolasi melindungi lilitan stator dan rotor dari hubungan pendek, kebocoran arus, dan kerusakan mekanik akibat medan listrik yang kuat. Seiring waktu, isolasi pada generator dapat terdegradasi akibat paparan panas, kelembaban, polusi, serta tegangan tinggi yang terus menerus. Kerusakan pada isolasi ini berpotensi menyebabkan arus bocor yang dapat berujung pada kegagalan total sistem generator. (Bolorunduro et al., 2022)

Pengujian Tan Delta pada generator menjadi salah satu cara yang paling efektif untuk memeriksa kondisi isolasi secara berkala. Pengujian Tan Delta memberikan indikasi awal tentang perubahan atau degradasi dalam material isolasi, yang memungkinkan operator melakukan pemeliharaan sebelum terjadi kegagalan besar. Selain itu, pengujian ini dapat digunakan untuk mendeteksi kerusakan akibat aging (penuaan) serta faktor lingkungan lain yang berdampak pada performa isolasi.

2.1.3 Teknologi Pengujian Tan Delta dengan Omicron CPC100 dan CP-TD1

Omicron CPC 100 dan CP-TD1 adalah perangkat yang umum digunakan dalam pengujian Tan Delta. Omicron CPC 100 adalah alat uji multifungsi yang dapat melakukan berbagai jenis pengujian pada peralatan listrik, termasuk pengujian Tan Delta. Sementara itu, CP-TD1 merupakan modul tambahan yang secara khusus dirancang untuk melakukan pengujian Tan Delta dengan presisi tinggi.

Dalam pengujian Tan Delta menggunakan Omicron CPC 100 dan CP-TD1, tegangan AC diberikan pada sistem isolasi generator, dan arus yang melewati isolasi diukur untuk menentukan komponen resistif dan kapasitif dari isolasi tersebut. Hasil pengukuran berupa nilai Tan Delta yang memberikan gambaran tentang seberapa besar degradasi yang telah terjadi pada isolasi. Hasil ini kemudian dibandingkan dengan nilai standar atau data historis untuk menentukan apakah isolasi masih dalam kondisi baik atau memerlukan tindakan pemeliharaan.

Perangkat ini memiliki beberapa keunggulan, termasuk keandalan tinggi dalam pengukuran, fleksibilitas dalam pengujian di berbagai peralatan, serta kemudahan dalam pengoperasian. Teknologi Omicron ini memungkinkan pengujian isolasi dengan presisi tinggi, yang sangat diperlukan dalam lingkungan industri kelistrikan di mana ketelitian pengujian sangat menentukan keberhasilan program pemeliharaan.

2.1.4 Pengaruh Overhaul terhadap Isolasi Generator

Proses overhaul memiliki dampak langsung pada kondisi fisik dan kualitas isolasi generator. Setelah overhaul, ada risiko kontaminasi atau kerusakan isolasi

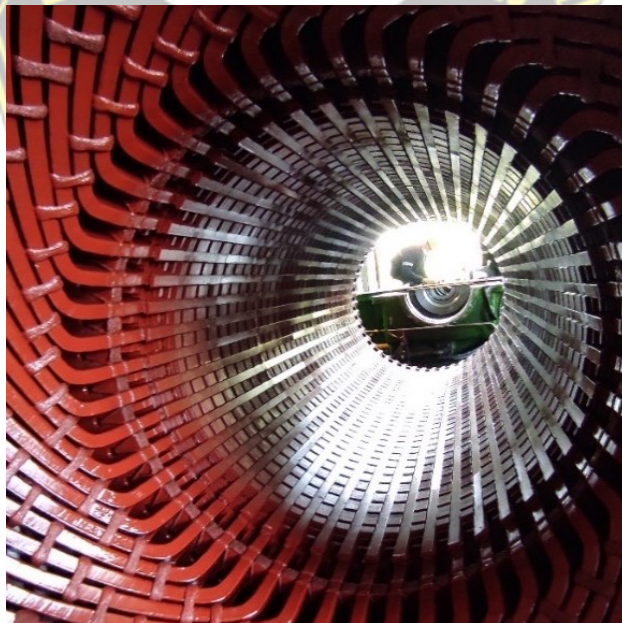
akibat prosedur bongkar pasang, sehingga pengujian pasca-overhaul sangat penting. Evaluasi kualitas isolasi setelah overhaul harus menjadi prioritas untuk memastikan bahwa tidak ada komponen yang mengalami degradasi atau kerusakan akibat perawatan.

2.2 Landasan Teori

Dasar teori dalam penelitian ini membahas prinsip-prinsip yang mendasari pengujian Tan Delta, karakteristik isolasi pada generator sinkron, serta perangkat yang digunakan dalam pengujian. Penjelasan ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih dalam mengenai pentingnya pengujian Tan Delta dalam menilai kualitas isolasi generator

2.2.1 Stator Generator

Sistem Stator dalam generator adalah komponen tetap yang memiliki peran penting dalam menghasilkan listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik. Stator berfungsi untuk mendukung dan membangkitkan medan magnet yang akan berinteraksi dengan komponen bergerak, yaitu rotor, untuk menghasilkan arus listrik. (Muhammad et al., 2021)



Gambar 2. 1 Stator Generator

Prinsip dasar operasi stator generator berdasarkan hukum induksi Faraday, ketika fluks magnetik yang melewati sebuah penghantar berubah, akan diinduksi gaya gerak listrik (GGL) dalam penghantar tersebut. yang menyatakan bahwa perubahan medan magnet di sekitar konduktor akan menghasilkan tegangan listrik dalam konduktor tersebut. Dalam generator, stator menciptakan medan magnet yang akan berinteraksi dengan rotor yang berputar. (Dwi Putri et al., 2022)

Pada generator AC, stator terdiri dari kumpulan kumparan atau lilitan kawat tembaga yang dililitkan di sekitar inti besi atau baja. Ketika rotor berputar di dalam stator, medan magnet yang dihasilkan oleh stator akan dipotong oleh lilitan kawat pada rotor, menghasilkan arus listrik. Medan magnet yang kuat diperlukan agar induksi elektromagnetik terjadi secara efektif, dan ini dihasilkan dengan menggunakan magnet permanen atau kumparan elektromagnetik pada stator.

2.2.2 Pengujian Elektrikal pada Isolasi Stator Genertaor

Ada beberapa cara pengujian untuk mendiagnosa penurunan atau degradasi isolasi pada stator generator. Berikut adalah beberapa pengujian elektrikal pada isolasi stator generator.

a. Insulation Resistance dan Polarization Index Test

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui kondisi isolasi pada stator. Metode yang umum dilakukan adalah dengan memberikan tegangan DC dan merepresentasikan kondisi isolasi dengan satuan megohm.

Insulation resistance yang diukur merupakan fungsi dari arus bocor yang menembus melewati isolasi atau melalui jalur bocor pada permukaan eksternal. Pengujian insulation resistance dapat dipengaruhi suhu, kelembaban dan jalur bocor pada permukaan eksternal seperti kotoran pada bushing atau isolator.

Pengujian *insulation resistance* menggunakan *insulation resistance* meter dengan range tegangan test sampai dengan 10 kVdc dan pembacaan insulation resistance hingga 2teraohm

Polarization index merupakan rasio insulation resistance saat menit ke-10 dengan menit ke-1 dengan tegangan yang konstant. tujuan dari

pengujian polarization index adalah untuk memastikan peralatan tersebut layak dioperasikan dan juga sebagai syarat yang harus dipenuhi sebelum melakukan *overvoltage test*. Selain itu, pengujian *polarization index* juga bertujuan untuk mengetahui apakah belitan dalam keadaan kering atau lembab. Berikut adalah standar kriteria Insulation Resistance dan Polarisasi Index menurut IEEE Std 43-2000, *Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Rotating Machine*. NETA ATS-2017 Table 100.1. *for Insulation Resistance and Standard IEEE std C57.125-2015 for Polarization Index*

Tabel 2. 1 Standar Kriteria Insulation Resistance dan Polarisasi Index

Nominal Rating of Equipment in Volt	Minimum Test Voltage, DC	Recommended Minimum Insulation Resistance in MΩ	Polarization Index (PI)	Insulation Condition
250	500	25	< 1.0	Dangerous
600	1000	100	1.0 - 1.1	Bad
1000	1000	100	1.1 - 1.25	Acceptable
2500	1000	500	1.25 - 2.00	Fair
5000	2500	1000	> 2.00	Good
8000	2500	2000		
15000	2500	5000		
25000	5000	20000		
34500 and Above	15000	100000		

b. *Winding Resistance Test*

Pengukuran *winding resistance* bertujuan untuk menganalisa terkait kelayakan dari koneksi fasa generator stator, kemungkinan adanya kerusakan pada belitan, kemungkinan adanya resistansi kontak yang tinggi pada winding serta memperkirakan adanya kemungkinan hubung singkat pada belitan generator stator. Standar IEC 60076-1, mensyaratkan winding resistance transformator yang terukur harus memenuhi persyaratan berikut

- Perbedaan nilai winding resistance yang terukur dengan data factory test / pabrikan tidak lebih dari 5%.
- Perbedaan nilai winding resistance antar fasa yang terukur tidak lebih dari 3%

c. Tan Delta Test

Tan delta adalah metode diagnosa secara elektikal untuk mengetahui kondisi isolasi dengan cara menghitung besarnya faktor disipasi akibat berubahnya sudut arus yang melalui celah antara belitan ke ground dan belitan ke belitan.

Nilai Tan Delta diukur pada saat pengujian isolasi generator. Umumnya, nilai Tan Delta dinyatakan dalam persentase (%). Berikut adalah kriteria acceptance menurut IEC 60034-27-3.

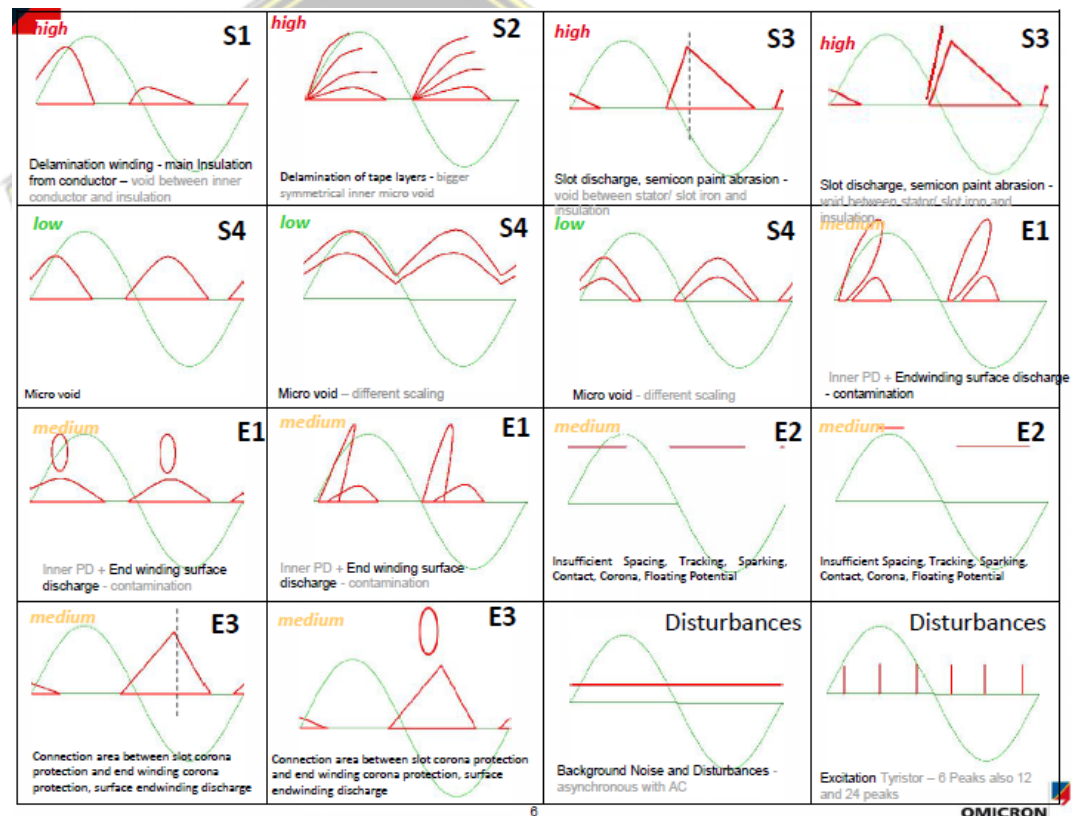
Tabel 2. 2 *Dissipation Factor Acceptance Criteria for Stator Winding Insulation*

	Parameter	Standard Criteria	Condition
IEC 60034-27-3: <i>Dissipation Factor Acceptance Criteria for Stator Winding Insulation</i>	<i>Tan Delta at 0.2 Un</i>	$\leq 2 \%$	Good
	<i>Delta Tan Delta / 0.2 Un Tip Up</i>	$\leq 0.5 \%$	Good
	<i>Delta Tan Delta = $DF (0.6Un) - DF (0.2Un)$</i>	$\leq 0.5 \%$	Good

e. Partial Discharge Test

Partial Discharge (Puluahan Partial) adalah pelepasan atau percikan listrik yang menjembatani sebagian kecil insulasi antara dua elektroda. Aktivitas *partial discharge* dapat terjadi pada setiap titik dalam sistem insulasi, di mana kekuatan medan listrik melebihi kekuatan tembus dari bagian bahan insulasi tersebut. Secara umum *partial discharge* merupakan

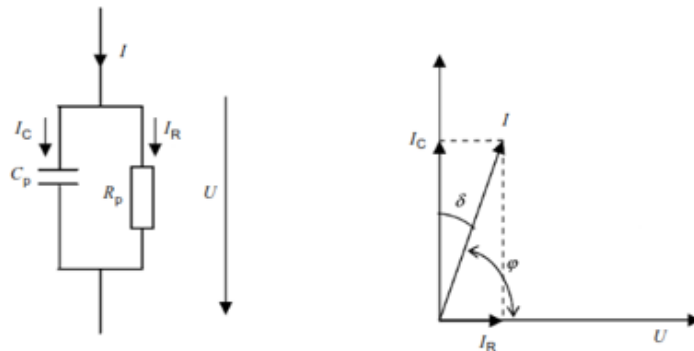
akibat yang timbul dari konsentrasi *electrical stress* pada titik tertentu baik itu didalam ataupun dipermukaan suatu isolasi. Salah satu contoh efek yang ditimbulkan adalah timbulnya korona, dimana korona merupakan salah satu bentuk *partial discharge* yang terjadi didalam media gas (udara) disekitar konduktor. Pada kondisinya, *partial discharge* biasanya menimbulkan beberapa efek diantaranya suara desis, cahaya, panas dan reaksi kimia. *Partial discharge* merupakan arcing (lompatan) listrik yang sangat cepat sekali dan yang terjadi pada lapisan suatu bidang berisolasi sering memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Waktu impuls dari PD biasanya lebih kecil dari 10 nano detik.



Gambar 2. 2 Standard Pattern Partial Discharge by Omicron

2.2.3 Pengaruh Tan Delta Terhadap Rugi-Rugi Daya Dielektrik

Tujuan Tan Delta ($\tan \delta$) adalah rasio antara komponen resistif dan kapasitif dari arus listrik yang melewati material isolasi ketika diberikan tegangan AC. Tan δ dapat dinyatakan dengan rumus:



Gambar 2. 3 Rangkaian Parallel dan Vector Diagram (Internasional Electrotechnical Commission, 2015)

Mekanisme kerja ketika arus AC diterapkan pada sistem isolasi, isolasi berperilaku seperti kapasitor yang memiliki karakteristik resistif. Ketika isolasi mengalami degradasi, komponen resistif meningkat, sehingga nilai Tan Delta juga meningkat. Pengukuran nilai Tan Delta memberikan informasi tentang kondisi isolasi; semakin tinggi nilai Tan Delta, semakin buruk kualitas isolasi. (Wawoh et al., 2024)

Nilai sudut Tan δ berubah seiring dengan perubahan nilai arus resistif (I_r) terhadap arus kapasitif (I_c). Pada Persamaan 2.1 dapat dijelaskan dengan menghitung hubungan arus resistif dan kapasitif. selanjutnya diperoleh nilai Tan δ . jika bahan isolasi dalam kondisi sempurna, tan δ akan menjadi nol. Sudut besar yang disebabkan oleh Tan δ menunjukkan bahwa arus resistif melalui isolator meningkat, yang menunjukkan bahwa ada kontaminasi.

$$\tan \delta = \frac{I_r}{I_c} \quad (2.1)$$

Nilai faktor disipasi bahan isolasi pada generator arus dapat ditentukan dengan melakukan uji tan delta ini. Kualitas isolasi generator arus menurun seiring dengan meningkatnya nilai tan δ . Oleh karena itu persamaan 2.2 berikut dapat digunakan untuk memastikan arus resistif.

$$Ir = \frac{V}{R} \quad (2.2)$$

Dimana Tegangan (V) dibagi dengan Resistansi (R). Untuk mendapatkan arus kapasitif (I_c) maka, menggunakan persamaan 2.3.

$$I_c = \omega \cdot C \cdot V \quad (2.3)$$

Dimana ω adalah ($2\pi f$) frekuensi sudut dalam radian per detik dikali dengan Kapasitansi (C) dan Tegangan (V). Arus total (I) yang diberikan sumber tegangan, ditunjukkan persamaan 2.4.

$$I = \sqrt{I_c^2 + I_r^2} \quad (2.4)$$

Resistansi resistor yang terkait menyebabkan hilangnya daya akibat arus resistif (I_r). Kerugian dielektrik (P_d) adalah salah satu nama untuk ini. Untuk menghitung rugi-rugi dielektrik, tegangan harus dikalikan dengan arus resistif I_c . Ditunjukkan pada persamaan 2.5

$$P_d = V \cdot I_r$$

Atau

$$P_d = V \cdot I_r \cdot \sin \delta \quad (2.5)$$

Persamaan berikut menggambarkan arus sumber ketika persamaan sebelumnya dipertimbangkan persamaan 2.6.

$$I_r = \frac{I_c}{\cos \delta} \quad (2.6)$$

Substitusi persamaan 2.3 ke persamaan 2.6, diperoleh persamaan 2.7.

$$I_r = \frac{\omega \cdot C \cdot V}{\cos \delta} \quad (2.7)$$

Persamaan 2.5 diganti dengan persamaan 2.7 dan hasilnya diperoleh persamaan 2.8.

$$Pd = \frac{\omega \cdot C \cdot V}{\cos \delta} \cdot V \cdot \sin \delta$$

$$Pd = \omega \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta \quad (2.8)$$

C : Kapasitansi Parallel

R : Resistor Parallel

ω : $2 \pi f$ (frekuensi sudut)

I_c : Arus Kapasitif

I_r : Arus Resistif

V : Tegangan Sistem Insulasi

I : Total Arus pada Sistem Insulasi

Pd : Rugi-Rugi Daya Dielektrik dielektrik

Semakin besar nilai $\tan \delta$ maka daya yang dihaburkan (Rugi-Rugi Daya Dielektrik dielektrik) juga semakin besar, hal ini menunjukkan adanya penurunan kualitas insulasi. (Febrijanto & Hidayat, 2022).

2.2.4 Penggunaan Omicron CPC100 dan CP-TD1

Pengujian tan delta pada stator generator dapat menggunakan alat dari berbagai merk, pada pengujian ini alat yang di gunakan adalah Omicron CPC 100 dan CP-TD-1.

a. Omicron CPC 100

Omicron CPC 100 adalah alat uji multifungsi yang dirancang untuk melakukan berbagai pengujian pada sistem kelistrikan, termasuk pengujian Tan Delta. Perangkat ini dilengkapi dengan teknologi canggih untuk memudahkan pengukuran isolasi dengan akurasi tinggi. Alat ini dapat

mengukur Tan Delta secara langsung dan menampilkan hasilnya dalam format yang mudah dipahami.



Gambar 2. 4 Omicron CPC 100

b. Omicron CP-TD1

CP-TD1 adalah modul tambahan untuk Omicron CPC 100 yang secara khusus dirancang untuk pengujian Tan Delta. Modul ini menyediakan pengukuran yang akurat dan *real time*, serta fitur untuk analisis data yang mendalam. Dengan menggunakan CP-TD1, teknisi dapat melakukan pengujian Tan Delta dengan cepat dan efektif, sehingga mendukung pemeliharaan prediktif pada generator



Gambar 2. 5 Omicron CPTD 1

2.2.5 Overhaul Generator

Isolasi pada generator sinkron berfungsi untuk mencegah arus bocor antara lilitan stator dan rotor, serta antara bagian yang dialiri arus dan bagian yang tidak dialiri arus. Kualitas isolasi yang baik sangat penting untuk menjaga kestabilan dan keandalan operasi generator. Degradasi isolasi dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti:

- a. Peningkatan suhu dapat menyebabkan penurunan resistansi isolasi, yang berujung pada peningkatan arus bocor.
- b. Kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan isolasi menyerap air, yang memperburuk kondisi isolasi.
- c. Debu dan kontaminan dapat menempel pada permukaan isolasi dan mengurangi kemampuannya untuk menahan arus.



Gambar 2. 6 Overhaul Generator

Overhaul merupakan istilah yang digunakan dalam industri untuk merujuk pada proses perawatan dan perbaikan komprehensif terhadap mesin, termasuk generator. Proses ini bertujuan untuk mengembalikan performa optimal mesin setelah periode operasi tertentu. Pada generator, overhaul melibatkan pemeriksaan menyeluruh, pembersihan, penggantian komponen yang aus atau rusak, serta pengujian ulang untuk memastikan bahwa mesin siap beroperasi kembali dengan efisiensi yang maksimal. (Kartiko et al., 2023)

Proses overhaul memiliki beberapa tujuan utama, di antaranya:

- a. Memperpanjang umur operasional: Dengan mengganti komponen yang aus dan membersihkan sistem, generator dapat beroperasi lebih

lama dengan risiko kegagalan yang lebih rendah.

- b. Mengembalikan performa: Generator yang mengalami degradasi performa akibat penggunaan dalam waktu lama dapat dikembalikan ke kondisi mendekati performa awal.
- c. Mencegah kerusakan serius: Pemeriksaan komprehensif selama overhaul memungkinkan deteksi dini terhadap masalah yang mungkin tidak terdeteksi selama perawatan rutin. Hal ini dapat menghindari kerusakan yang lebih besar atau kegagalan total mesin.

Memastikan keamanan operasi: Generator yang dioperasikan di lingkungan yang berat, seperti pembangkit listrik, rentan terhadap masalah keamanan. Overhaul membantu memastikan bahwa generator tetap beroperasi dengan aman sesuai standar industri.

2.2.6 Rugi-Rugi Daya

Rugi-rugi daya adalah energi listrik yang hilang selama proses transmisi, distribusi, atau konversi daya listrik akibat berbagai faktor seperti hambatan konduktor, efek magnetisasi, dan disipasi panas. Rugi-rugi daya ini mengurangi efisiensi sistem tenaga listrik dan perlu diminimalkan untuk meningkatkan kinerja sistem. Berikut adalah jenis-jenis rugi daya listrik.

1. Rugi-Rugi Resistif : Terjadi karena hambatan listrik (resistansi) pada konduktor dan peralatan listrik. Semakin besar arus listrik yang mengalir, semakin besar rugi daya yang terjadi
2. Rugi-Rugi Induktif : Disebabkan oleh induktansi pada kabel dan peralatan listrik yang menyerap daya reaktif. Umumnya terjadi dalam motor listrik, trafo, dan saluran transmisi.
3. Rugi-Rugi Kapasitif : Disebabkan oleh kapasitansi kabel dalam sistem tenaga listrik, terutama pada saluran tegangan tinggi. Menyebabkan aliran arus kapasitif yang membebani sistem.
4. Rugi-Rugi Korona : Terjadi akibat ionisasi udara di sekitar konduktor bertegangan tinggi, menyebabkan pelepasan energi dalam bentuk cahaya dan suara. Lebih sering terjadi pada sistem transmisi tegangan ekstra tinggi (EHV).

5. Rugi-Rugi Arus Bocor : Disebabkan oleh isolasi yang rusak atau lembab, menyebabkan kebocoran arus listrik ke tanah. Umumnya terjadi pada kabel, isolator, dan peralatan listrik dengan isolasi buruk.
6. Rugi-Rugi Harmonik : Disebabkan oleh distorsi gelombang sinusoidal listrik akibat beban nonlinear seperti inverter, motor VSD (Variable Speed Drive), atau perangkat elektronik.
7. Rugi-Rugi Dielektrik : Terjadi dalam bahan isolasi listrik akibat polaritas molekul yang berubah-ubah dalam medan listrik. Umumnya terjadi pada minyak trafo, isolator, dan bahan isolasi lainnya.
8. Rugi-Rugi Eddy : Disebabkan oleh arus pusar (*eddy current*) yang diinduksi dalam inti besi motor, trafo, atau peralatan listrik lainnya. Menghasilkan panas dan mengurangi efisiensi perangkat.

2.2.7 Kriteria Bahan Isolasi Winding Stator

Bahan isolasi adalah material yang digunakan untuk menghambat aliran arus listrik guna mencegah hubungan singkat (short circuit) serta melindungi komponen listrik dari kerusakan akibat tegangan tinggi atau kondisi lingkungan yang ekstrem. Dalam mesin listrik, terutama pada motor dan generator, bahan isolasi sangat penting dalam melindungi winding stator dari gangguan listrik, panas, dan faktor lingkungan lainnya. Pemilihan bahan isolasi winding stator harus mempertimbangkan beberapa faktor berikut.

b. Ketahanan Termal

Bahan isolasi harus mampu menahan suhu operasi tanpa mengalami degradasi signifikan.

c. Ketahanan Terhadap Tegangan Listrik

Isolasi harus memiliki kekuatan dielektrik tinggi untuk menahan tegangan listrik tanpa mengalami kerusakan.

d. Ketahanan Mekanik

Harus mampu menahan tekanan dan getaran yang dihasilkan oleh medan elektromagnetik di dalam stator.

e. Ketahanan terhadap Kelembaban dan Kontaminasi

Bahan harus tahan terhadap kelembaban, minyak, debu, dan zat kimia untuk mencegah penurunan kualitas isolasi.

f. Sifat Dielektrik yang Baik

Memiliki resistivitas tinggi untuk mengurangi kebocoran arus dan menjaga efisiensi isolasi.

g. Ketahanan Terhadap Penuaan

Isolasi harus tahan terhadap degradasi akibat pemanasan berulang dan pengaruh lingkungan dalam jangka panjang.

h. Kemudahan Aplikasi dan Pemeliharaan

Isolasi harus mudah diaplikasikan, baik dalam bentuk pernis, resin, atau pita isolasi, serta mudah diperbaiki jika terjadi kerusakan.

Bahan isolasi pada winding stator memiliki ketahanan yang berbeda terhadap tegangan listrik, suhu, kelembaban, dan faktor lingkungan lainnya. Berikut adalah beberapa bahan isolasi yang umum digunakan beserta tingkat ketahanan isolasinya menurut NEMA (National Electrical Manufacturers Association) Standards – Spesifikasi bahan isolasi listrik.

Tabel 2. 3 Tingkat Ketahanan Bahan Isolasi

Bahan Isolasi	Kelas Thermal (°C)	Kekuatan Dielektrik (kV/mm)	Ketahanan Kelembapan dan Kimia	Ketahanan Mekanik
Mika	H (180°C) – C (>180°C)	15 - 30	Sangat Baik	Sangat Baik
Resin Epoksi	F (155°C) – H (180°C)	15 - 25	Sangat Baik	Tinggi
Nomex	H (180°C)	10 - 15	Baik	Baik
Kertas Impregnasi	B (130°C) – F (155°C)	8 - 12	Cukup Baik	Sedang
Film Poliester	B (130°C)	7 - 10	Baik	Cukup Baik

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Model penelitian ini dirancang untuk menginvestigasi pengujian Tan Delta pada generator sinkron dengan menggunakan perangkat Omicron CPC 100 dan CP-TD1. Model penelitian ini mencakup berbagai aspek, mulai dari latar belakang, tujuan, hingga langkah-langkah metodologis yang akan dilakukan. Berikut adalah gambaran umum mengenai model penelitian yang akan diterapkan:

a. **Perencanaan Penelitian**

Perencanaan penelitian ini mencakup langkah-langkah sistematis yang akan dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian, yaitu menganalisis hasil pengujian tan delta pada stator generator setelah overhaul di PLTU Sumber Alam Sekurau Tanjung Selor.

b. **Observasi Lapangan**

Observasi lapangan dilakukan di stasiun pembangkit listrik di mana generator sinkron beroperasi yaitu PLTU Sumber Alam Sekurau.

c. **Pengumpulan Data**

Pengumpulan data teknis dilapangan hasil pengujian Tan Delta pada generator sebelum dan sesudah overhaul.

d. **Analisis dan Kesimpulan hasil Analisa**

Analisis dari hasil pengumpulan data di lapangan yang kemudian di Tarik Kesimpulan untuk mengetahui hasil pengujian pada isolasi stator generator.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini terdapat beberapa peralatan pengujian seperti.

- a. CPC 100
- b. CP-TD 1
- c. Laptop
- d. Rol Kabel
- e. Multitester

3.3 Studi Literatur

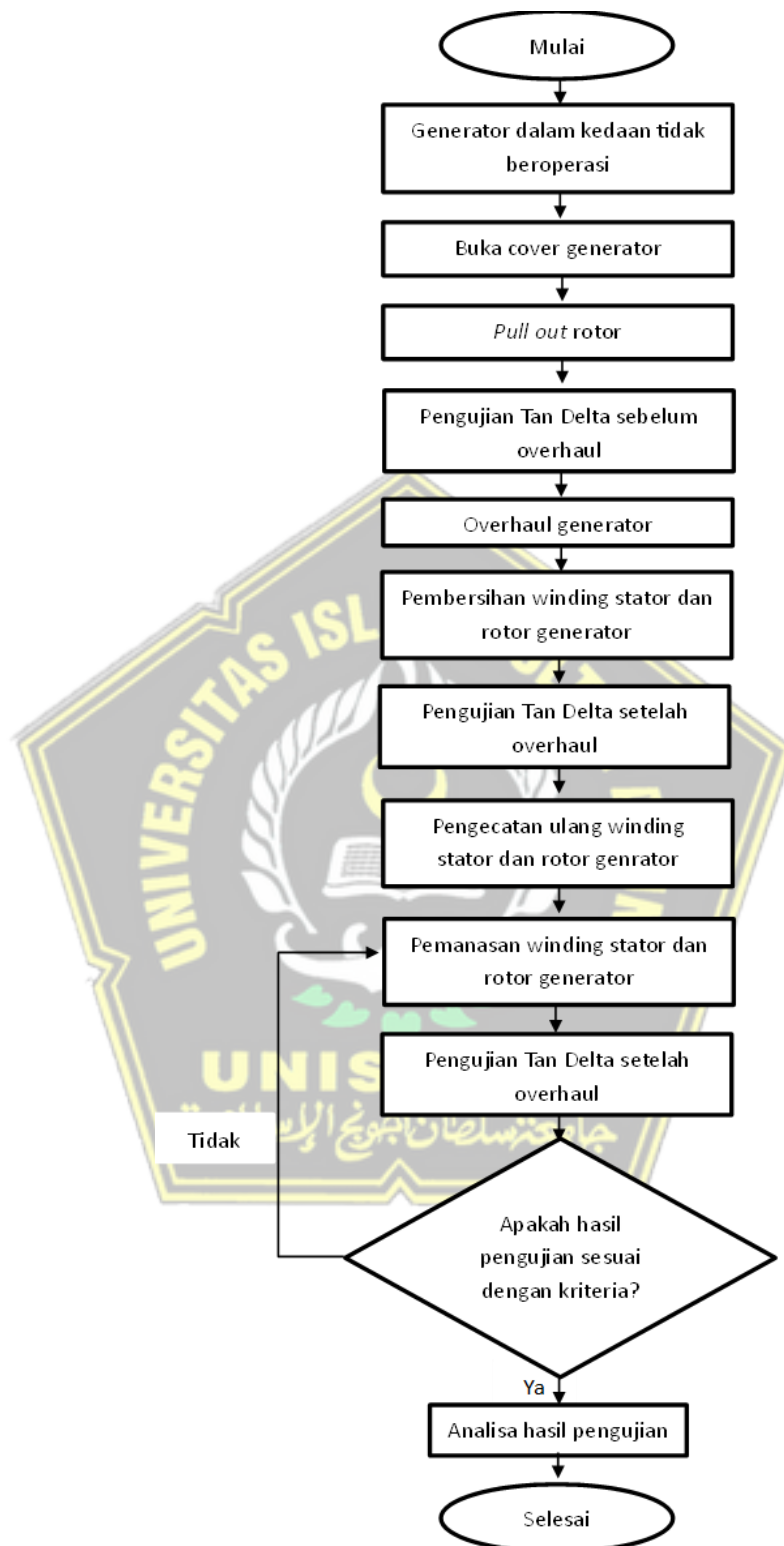
Studi literatur adalah pengumpulan data-data sekunder dan teori-teori yang terkait dengan tujuan penelitian, melalui manual book, jurnal dan situs lainnya mengenai Tan Delta, karakteristik isolasi generator sinkron, dan teknik pemeliharaan prediktif. Dalam penelitian yang bertujuan untuk memahami konsep, teori, metode, dan hasil penelitian sebelumnya yang relevan dengan topik yang sedang dikaji. Dalam konteks penelitian ini, fokus studi literatur adalah analisis pengujian tan delta pada stator generator, peran proses overhaul, dan penggunaan perangkat seperti Omicron CPC 100 dan CP-TD1.

3.4 Sumber Data

Data yang digunakan dalam analisis diperoleh dari laporan hasil pekerjaan overhaul generator yang dilakukan di stasiun pembangkit listrik di PLTU Sumber Alam Sekurau. Lokasi ini dipilih karena fasilitas yang ada memungkinkan untuk melakukan pengujian Tan Delta secara langsung pada generator yang sedang dalam kondisi akan di overhaul.

3.5 Prosedur Penelitian

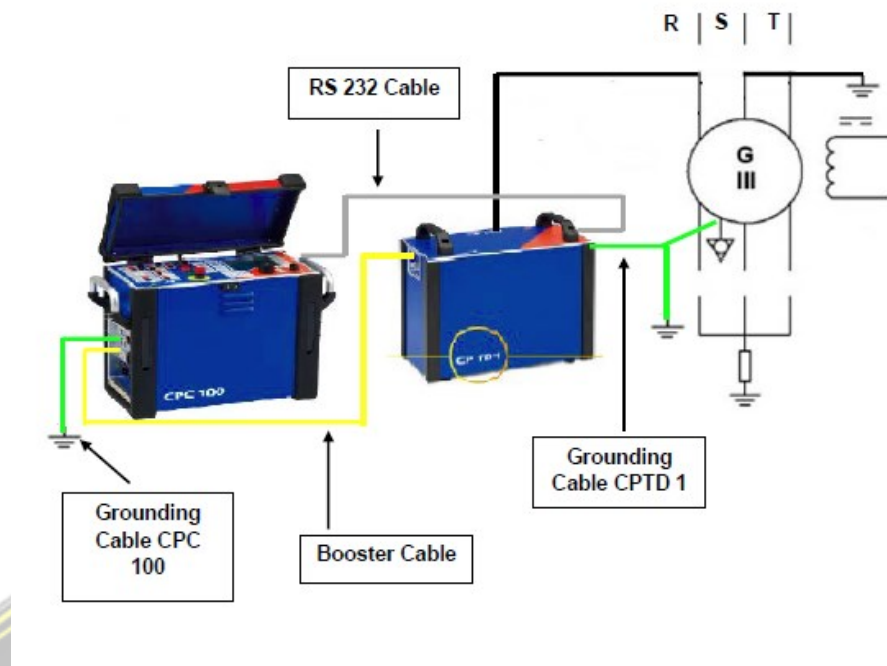
Sebelum melakukan pengujian Tan Delta belitan stator generator, ada hal-hal yang harus diperhatikan yaitu sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Flowchart Pengujian Tan Delta

- a. Pengujian Tan Delta dilakukan pada saat stator generator dalam keadaan padam (bersifat Offline Test) saat overhaul.
- Overhaul yang dilakukan adalah dengan mesin atau peralatan dibongkar secara menyeluruh, dan setiap komponen dilepas, semua komponen dibersihkan dari kotoran, oli, karbon, atau sisa bahan bakar, pengecatan ulang pada winding stator dan rotor generator, dan melakukan pemasangan pada generator setelah dilakukan overhaul.
 - Lepas koneksi pada terminal stator baik untuk terminal sisi phasa dan terminal sisi neutral
 - Pengujian tandelta dilakukan melalui pengujian perphasa, yaitu dengan menginjeksi tegangan AC ke salah satu terminal fasanya, kemudian dua terminal fasa yang tidak diuji/diukur di short kemudian dihubungkan ke ground.
 - Pengujian tam delta dilakukan pada sebelum overhaul dan setelah diakukan overhaul.
- b. Pengujian tandelta menggunakan alat OMICRON CPC-100 dan OMICRON CP-TD1 dengan fungsi sebagai berikut:
- Omicron CPC-100
Berfungsi sebagai Master Unit untuk mengontrol dan mengoperasikan Omicron CP-TD1 serta menampilkan hasil pengukuran Tan Delta belitan stator generator.
 - Omicron CP-TD1
Berfungsi sebagai keluaran (Output) tegangan AC untuk injeksi dan pengukuran pada pengujian Tan Delta belitan stator generator dan digunakan juga sebagai sumber keluaran (Output) tegangan AC untuk injeksi pada saat pengujian Peluahaan Parsial (Partial

Discharge)



Gambar 3. 2 Gambar Koneksi CPC dan CPTD Generator

Mode Pengujian : GSTg(Grounding Spicement Test With Guard)

Tegangan Uji : $0.2 \cdot U_n$; $0.4 \cdot U_n$; $0.6 \cdot U_n$; $0.8 \cdot U_n$; U_n ; $(0.8 \cdot U_n) - 1$; $(0.6 \cdot U_n) - 1$; $(0.4 \cdot U_n) - 1$; $(0.2 \cdot U_n) - 1$;

dengan U_n = Tegangan nominal generator/ $\sqrt{3}$ (6,3 kV/ $\sqrt{3}$).

c. Cara Kerja CPC 100 dan CP-TD1

CPC digunakan untuk mengukur kapasitansi dan faktor daya (power factor) dari bahan isolasi, sedangkan CP-TD 1 digunakan booster untuk menginjeksikan tegangan dengan maksimal tegangan di 11 kV. Cara Kerja CPC 100 dan CP-TD 1 adalah sebagai berikut.

- Alat ini menginjeksikan tegangan AC ke sistem isolasi winding stator melalui CP-TD1.
- Mengukur arus kapasitif dan arus resistif dalam bahan isolasi yang di olah langsung oleh CPC.
- Dari hasil pengukuran, CPC menghitung power factor dan tan delta.

- Semakin besar tan delta, semakin besar kehilangan daya akibat resistansi dalam isolasi, yang mengindikasikan degradasi isolasi.
- CPTD menginjeksikan tegangan AC tinggi (hingga kV) ke sistem isolasi.
- Mengukur arus kapasitif dan arus resistif yang mengalir melalui isolasi.
- Langsung menghitung nilai tan delta (δ) berdasarkan arus dan tegangan yang diukur.

d. Kriteria Kondisi

Nilai Tan Delta diukur pada saat pengujian isolasi generator. Umumnya, nilai Tan Delta dinyatakan dalam persentase (%). Berikut adalah kriteria acceptance menurut IEC 60034-27-3.

Tabel 3. 1 *Dissipation Factor Acceptance Criteria for Stator Winding Insulation*

	Parameter	Standard Criteria	Condition
IEC 60034-27-3: <i>Dissipation Factor Acceptance Criteria for Stator Winding Insulation</i>	<i>Tan Delta at 0.2 Un</i>	$\leq 2 \%$	<i>Good</i>
	<i>Delta Tan Delta / 0.2 Un Tip Up</i>	$\leq 0.5 \%$	<i>Good</i>
	<i>Delta Tan Delta = DF (0.6Un) – DF (0.2Un)</i>	$\leq 0.5 \%$	<i>Good</i>

3.6 Flow Chart Penelitian

Setelah diketahui metode penelitian, alur penelitian menggambarkan langkah-langkah sistematis yang akan diambil untuk mencapai tujuan penelitian. Berikut adalah alur penelitian yang terdiri dari tahapan-tahapan yang terorganisir.

a. Penentuan Judul

Penentuan judul dalam penelitian adalah langkah awal yang sangat penting karena judul akan memberikan gambaran umum tentang fokus dan tujuan dari penelitian

b. Studi Literatur

Studi literatur dalam penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai topik yang diteliti, yaitu pengujian Tan Delta pada stator generator setelah overhaul, dengan menggunakan alat pengujian Omicron CPC 100 dan CP-TD1 di PLTU Sumber Alam Sekurau Tanjung Selor. Pemilihan Sampel Generator

c. Pengambilan Data Sebelum Overhaul

Pengambilan data sebelum overhaul merupakan langkah penting dalam proses pemeliharaan dan perbaikan generator di PLTU Sumber Alam Sekurau Tanjung Selor. Tujuan dari pengambilan data ini adalah untuk memperoleh kondisi *baseline* (awal) dari generator, sehingga bisa dilakukan perbandingan dengan kondisi setelah overhaul dan pengujian Tan Delta. Data yang diambil pada tahap ini akan memberikan informasi yang berguna untuk mendeteksi masalah atau kerusakan yang ada pada sistem sebelum dilakukan perbaikan.

d. Pengambilan Data Setelah Overhaul

Setelah proses overhaul dilakukan pada stator generator di PLTU Sumber Alam Sekurau Tanjung Selor, langkah selanjutnya adalah melakukan pengambilan data pasca-overhaul. Pengambilan data setelah overhaul bertujuan untuk memastikan bahwa generator telah diperbaiki dengan benar, komponen-komponen berfungsi dengan baik, dan kualitas isolasi stator sudah kembali ke kondisi yang optimal. Hasil dari pengujian dan pengukuran pasca-overhaul akan dibandingkan dengan data sebelum overhaul untuk mengevaluasi efektivitas perbaikan dan untuk menilai apakah generator sudah siap untuk beroperasi kembali.

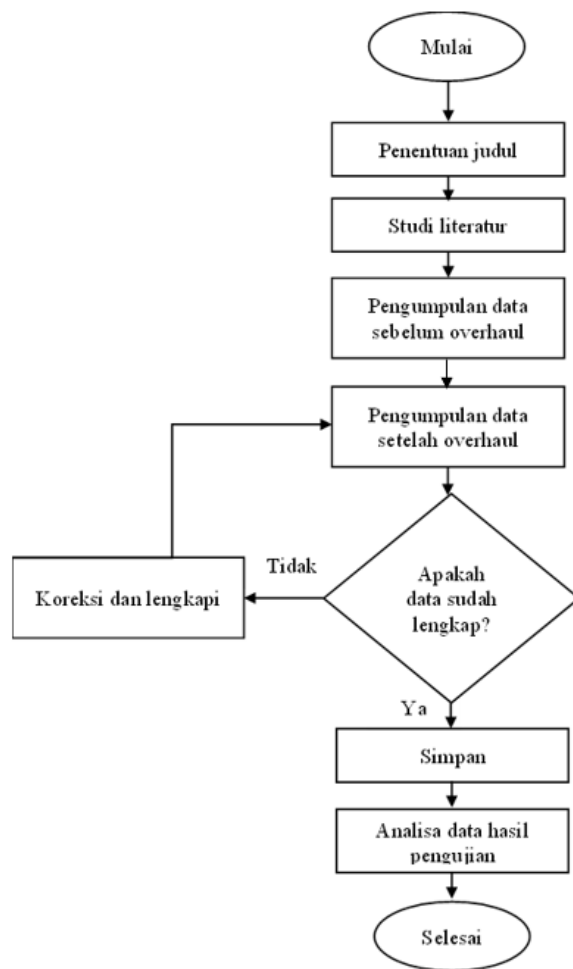
e. Analisa Hasil Pengujian

Setelah melakukan pengujian Tan Delta dan pengukuran lainnya pada stator generator sebelum dan setelah proses overhaul di PLTU Sumber Alam Sekurau Tanjung Selor, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis data hasil pengujian. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah proses overhaul telah berhasil memperbaiki kualitas isolasi stator generator dan untuk memastikan bahwa generator siap beroperasi kembali dengan aman dan efisien.

f. Pembuatan Laporan

Laporan pengujian Tan Delta stator generator setelah overhaul di PLTU Sumber Alam Sekurau Tanjung Selor bertujuan untuk memberikan gambaran komprehensif tentang proses pengujian yang telah dilakukan, hasil yang diperoleh, serta analisis dan kesimpulan dari hasil pengujian tersebut.





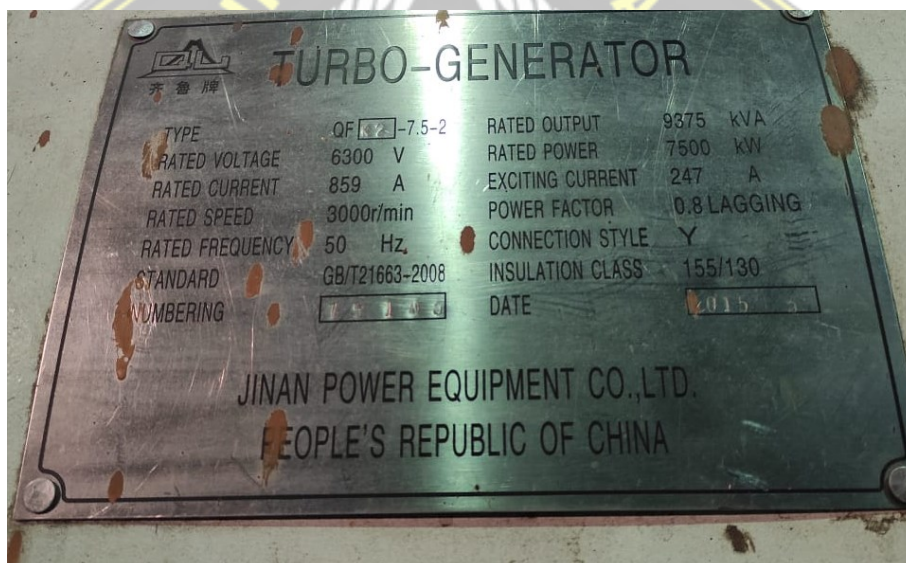
Gambar 3. 3 *Flowchart* Pengujian Tan Delta

BAB IV

DATA DAN ANALISA

4.1 Data Generator PLTU Sumber Alam Sekurau

Pada bab ini, akan dijelaskan mengenai spesifikasi teknis, karakteristik operasional, serta performa generator yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sumber Alam Sekurau. Data yang disajikan mencakup parameter utama seperti kapasitas daya, tegangan keluaran, efisiensi, faktor daya, serta kondisi operasional generator dalam berbagai beban kerja. Generator yang digunakan pada PLTU Sumber Alam Sekurau memiliki spesifikasi teknis sebagai berikut.



Gambar 4. 1 Nameplate Generator

Tabel 4. 1 Technical Data Generator

TECHNICAL DATA GENERATOR					
Merk	<i>Ideal Electric</i>		Nomor Seri		
Frekuensi	<i>Hz</i>	50	Power Factor	0.8	
Rate Kapasitas	<i>kVA</i>	9375	Tahun Pembuatan	2015	
Rate Tegangan	<i>V</i>	6300	Tahun Assessment	2024	
Rate Arus	<i>A</i>	859	Umur	<i>thn</i>	9
RPM		3000			

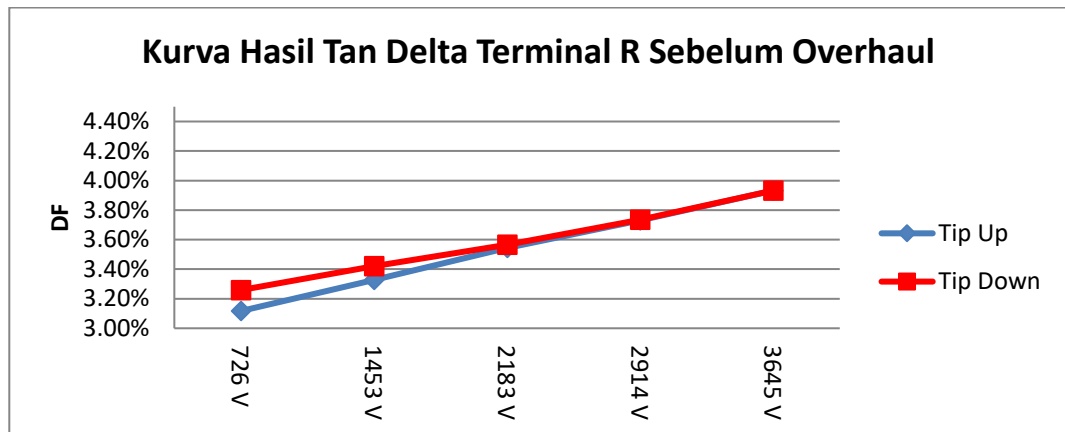
Gambar 4.1 dan tabel 3.1 di atas merupakan data nameplate generator yang sedang dilakukan overhaul, salah satu pengujian elektrik yang dilakukan adalah pengujian Tan Delta. Pengujian Tan Delta dilakukan pada saat kondisi sebelum overhaul dimulai dan setelah overhaul selesai, pengujian dilakukan saat kondisi generator tidak beroperasi.

4.2 Data Hasil Pengujian Tan Delta Sebelum Overhaul

Sebelum dilakukan overhaul generator, pengujian elektrik dilakukan untuk mengetahui kondisi stator secara elektrik untuk mengetahui apakah stator masih dalam kondisi normal atau tidak. Pengujian Tan Delta dilakukan pada masing-masing fasa stator. Berikut adalah hasil pengujian Tan Delta stator.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Tan Delta Terminal R Sebelum Overhaul

V Test	Terminal R - Ground			
	V Meas (V)	I Meas (mA)	CP (nF)	DF (%)
0.2 Un	726 V	13.565 mA	59.449 nF	3.1168 %
0.4 Un	1453 V	27.234 mA	59.607 nF	3.3283 %
0.6 Un	2183 V	41.023 mA	59.771 nF	3.5444 %
0.8 Un	2914 V	54.904 mA	59.927 nF	3.7299 %
1 Un	3645 V	68.868 mA	60.074 nF	3.9326 %
0.8 Un -1	2910 V	54.831 mA	59.924 nF	3.7349 %
0.6 Un -1	2174 V	40.872 mA	59.798 nF	3.5654 %
0.4 Un -1	1451 V	27.224 mA	59.689 nF	3.4208 %
0.2 Un -1	720 V	13.488 mA	59.573 nF	3.2587 %



Gambar 4. 2 Kurva Hasil tan Delta Terminal R Sebelum Overhaul

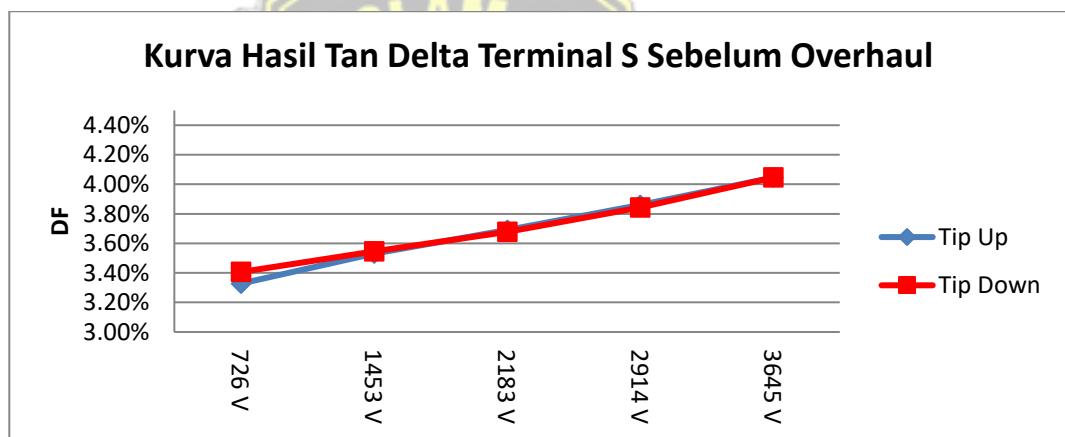
Tabel 4. 3 Analisa Tan Delta Terminal R Sebelum Overhaul Berdasarkan Kriteria IEC 60034-27-3

Parameter	Standard Criteria [10 ⁻³]	Actual Data [10 ⁻³]	Condition [10 ⁻³]
Tan Delta at 0.2 Un	≤ 2 %	3,1168 %	INVESTIGATE

Hasil pengujian Tan Delta pada 0,2 Un tegangan nominal per fasa Terminal R pada sebelum overhaul yang ditunjukkan tabel 4.2 dan tabel 4.3 menunjukkan hasil 3,1168 % yang mana pada tabel 3.1 hasil tersebut menunjukkan kondisi di atas ambang batas kriteria, dari hasil tersebut menunjukkan kemungkinan adanya proses deteriorasi pada isolasi winding stator generator, deteriorasi biasanya mengacu pada kondisi winding stator yang kotor atau bahkan kerusakan material atau komponen akibat berbagai faktor, seperti usia, keausan, paparan lingkungan, atau beban operasional . Nilai Tan Delta berbanding lurus dengan tegangan uji, semakin tinggi tegangan uji yang di *inject* nilai tan delta menunjukkan kenaikan terlihat pada gambar 4.2.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Tan Delta Terminal S Sebelum Overhaul

V Test	Terminal S - Ground			
	V Meas (V)	I Meas (mA)	CP (nF)	DF (%)
0.2 Un	726 V	13.655 mA	59.796 nF	3.3277 %
0.4 Un	1449 V	27.304 mA	59.945 nF	3.5297 %
0.6 Un	2181 V	41.206 mA	60.072 nF	3.6904 %
0.8 Un	2917 V	55.221 mA	60.199 nF	3.8597 %
1 Un	3645 V	69.174 mA	60.336 nF	4.0460 %
0.8 Un -1	2907 V	55.022 mA	60.188 nF	3.8430 %
0.6 Un -1	2173 V	41.042 mA	60.062 nF	3.6787 %
0.4 Un -1	1448 V	27.296 mA	59.956 nF	3.5457 %
0.2 Un -1	721 V	13.573 mA	59.840 nF	3.4061 %



Gambar 4. 3 Kurva Hasil tan Delta Terminal S Sebelum Overhaul

Tabel 4. 5 Analisa Tan Delta Terminal S Sebelum Overhaul Berdasarkan Kriteria IEC 60034-27-3

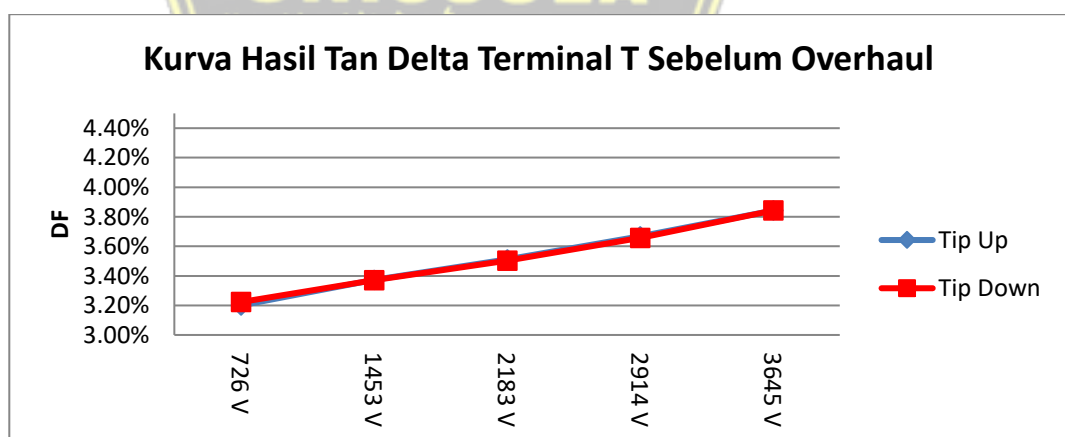
Parameter	Standard Criteria [10 ⁻³]	Actual Data [10 ⁻³]	Condition [10 ⁻³]
Tan Delta at 0.2 Un	≤ 2 %	3,3277 %	<i>INVESTIGATE</i>

Hasil pengujian Tan Delta pada 0,2 Un tegangan nominal per fasa Terminal S pada sebelum overhaul yang ditunjukkan tabel 4.4 dan tabel 4.5 menunjukkan hasil

3,3277 % yang mana pada tabel 3.1 hasil tersebut menunjukkan kondisi di atas ambang batas kriteria, dari hasil tersebut menunjukkan kemungkinan adanya proses deteriorasi pada isolasi winding stator generator, deteriorasi biasanya mengacu pada kondisi winding stator yang kotor atau bahkan kerusakan material atau komponen akibat berbagai faktor, seperti usia, keausan, paparan lingkungan, atau beban operasional . Nilai Tan Delta berbanding lurus dengan tegangan uji, semakin tinggi tegangan uji yang di *inject* nilai tan delta menunjukkan kenaikan terlihat pada gambar 4.3.

Tabel 4. 6 Hasil Pengujian Tan Delta Terminal T Sebelum Overhaul

V Test	Terminal T - Ground			
	V Meas (V)	I Meas (mA)	CP (nF)	DF (%)
0.2 Un	726 V	13.616 mA	59.655 nF	3.2002 %
0.4 Un	1448 V	27.220 mA	59.779 nF	3.3727 %
0.6 Un	2173 V	40.906 mA	59.881 nF	3.5110 %
0.8 Un	2905 V	54.814 mA	59.997 nF	3.6685 %
1 Un	3627 V	68.582 mA	60.121 nF	3.8426 %
0.8 Un -1	2900 V	54.698 mA	59.985 nF	3.6573 %
0.6 Un -1	2167 V	40.788 mA	59.863 nF	3.5021 %
0.4 Un -1	1446 V	27.176 mA	59.761 nF	3.3718 %
0.2 Un -1	718 V	13.469 mA	59.656 nF	3.2226 %



Gambar 4. 4 Kurva Hasil tan Delta Terminal T Sebelum Overhaul

Tabel 4. 7 Analisa Tan Delta Terminal T Sebelum Overhaul Berdasarkan Kriteria IEC 60034-27-3

Parameter	Standard Criteria [10 ⁻³]	Actual Data [10 ⁻³]	Condition [10 ⁻³]
Tan Delta at 0.2 Un	≤ 2 %	3,2002 %	<i>INVESTIGATE</i>

Hasil pengujian Tan Delta pada 0,2 Un tegangan nominal per fasa Terminal T pada sebelum overhaul yang ditunjukkan tabel 4.6 dan tabel 4.7 menunjukkan hasil 3,2002 % yang mana pada tabel 3.1 hasil tersebut menunjukkan kondisi di atas ambang batas kriteria, dari hasil tersebut menunjukkan kemungkinan adanya proses deteriorasi pada isolasi winding stator generator, deteriorasi biasanya mengacu pada kondisi winding stator yang kotor atau bahkan kerusakan material atau komponen akibat berbagai faktor, seperti usia, keausan, paparan lingkungan, atau beban operasional. Nilai Tan Delta berbanding lurus dengan tegangan uji, semakin tinggi tegangan uji yang di *inject* nilai tan delta menunjukkan kenaikan terlihat pada gambar 4.4.

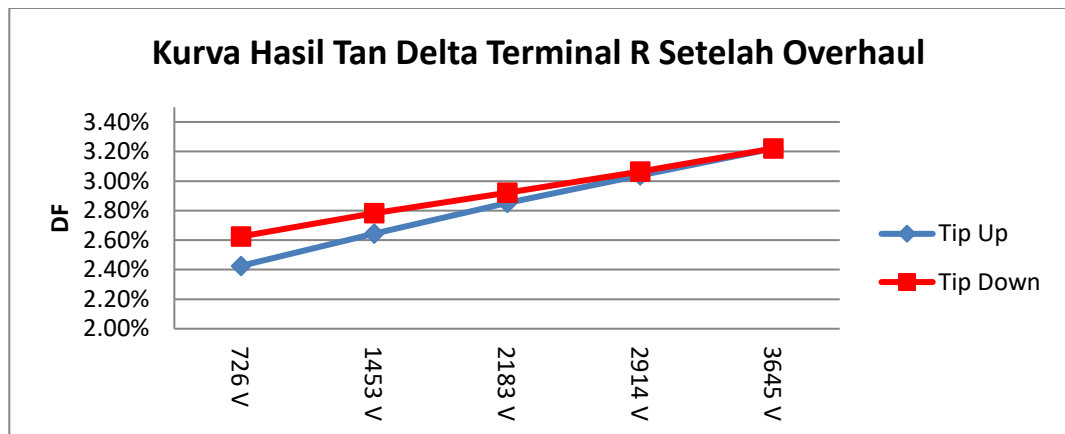
4.3 Data Pengujian Tan Delta Setelah Overhaul

Setelah dilakukan overhaul generator, pengujian elektrik dilakukan untuk mengetahui kondisi stator secara elektrik untuk mengetahui apakah stator mengalami perubahan kondisi atau tidak. Pengujian Tan Delta dilakukan pada masing-masing fasa stator. Berikut adalah hasil pengujian Tan Delta stator.

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Tan Delta Terminal R Setelah Overhaul

V Test	Terminal R - Ground			
	V Meas (V)	I Meas (mA)	CP (nF)	DF (%)
0.2 Un	727 V	13.482 mA	59.015 nF	2.4255 %
0.4 Un	1454 V	27.036 mA	59.165 nF	2.6443 %
0.6 Un	2187 V	40.773 mA	59.302 nF	2.8520 %
0.8 Un	2911 V	54.396 mA	59.441 nF	3.0373 %
1 Un	3646 V	68.288 mA	59.565 nF	3.2205 %

0.8 U_n -1	2910 V	54.405 mA	59.459 nF	3.0640 %
0.6 U_n -1	2174 V	40.568 mA	59.354 nF	2.9219 %
0.4 U_n -1	1442 V	26.860 mA	59.252 nF	2.7827 %
0.2 U_n -1	718 V	13.341 mA	59.128 nF	2.6246 %



Gambar 4. 5 Kurva Hasil tan Delta Terminal R Setelah Overhaul

Tabel 4. 9 Analisa Tan Delta Terminal R Setelah Overhaul Berdasarkan Kriteria IEC 60034-27-3

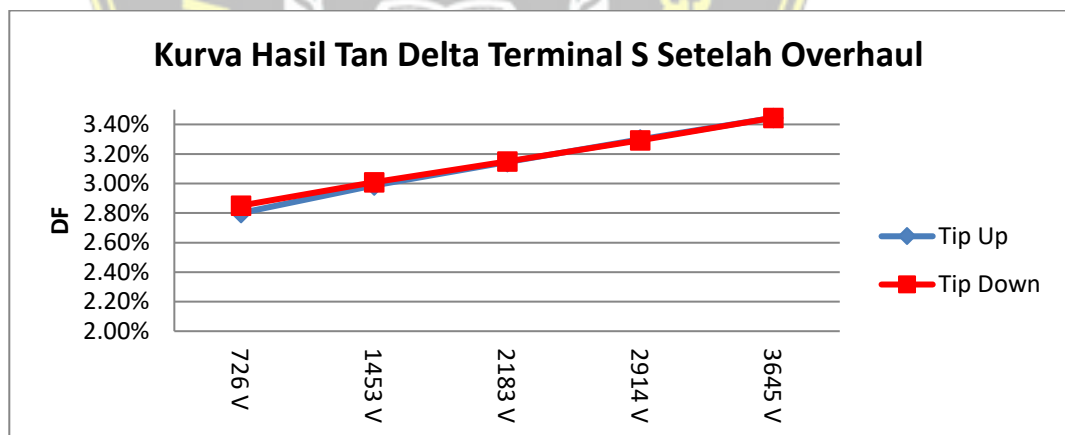
Parameter	Standard Criteria [10 ⁻³]	Actual Data [10 ⁻³]	Condition [10 ⁻³]
Tan Delta at 0.2 U_n	$\leq 2 \%$	2,4255 %	<i>INVESTIGATE</i>

Hasil pengujian Tan Delta pada 0,2 U_n tegangan nominal per fasa Terminal R pada setelah overhaul yang ditunjukkan tabel 4.8 dan tabel 4.9 mengalami penurunan dibanding hasil Tan Delta sebelum overhaul, menunjukkan hasil 2,4255 % yang mana pada tabel 3.1 hasil tersebut menunjukkan kondisi di atas ambang batas kriteria, dari hasil tersebut menunjukkan kemungkinan masih adanya proses deteriorasi pada isolasi winding stator generator, deteriorasi biasanya mengacu pada kondisi winding stator yang kotor atau bahkan kerusakan material atau komponen akibat berbagai faktor, seperti usia, keausan, paparan lingkungan, atau

beban operasional . Nilai Tan Delta berbanding lurus dengan tegangan uji, semakin tinggi tegangan uji yang di *inject* nilai tan delta menunjukkan kenaikan terlihat pada gambar 4.5.

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Tan Delta Terminal S Setelah Overhaul

V Test	Terminal S - Ground			
	V Meas (V)	I Meas (mA)	CP (nF)	DF (%)
0.2 Un	726 V	13.556 mA	59.425 nF	2.8001 %
0.4 Un	1451 V	27.163 mA	59.567 nF	2.9870 %
0.6 Un	2186 V	41.015 mA	59.686 nF	3.1459 %
0.8 Un	2914 V	54.788 mA	59.807 nF	3.2982 %
1 Un	3641 V	68.603 mA	59.926 nF	3.4450 %
0.8 Un -1	2903 V	54.580 mA	59.807 nF	3.2925 %
0.6 Un -1	2172 V	40.762 mA	59.694 nF	3.1491 %
0.4 Un -1	1446 V	27.083 mA	59.586 nF	3.0096 %
0.2 Un -1	721 V	13.479 mA	59.454 nF	2.8504 %



Gambar 4. 6 Kurva Hasil tan Delta Terminal S Setelah Overhaul

Tabel 4. 11 Analisa Tan Delta Terminal S Setelah Overhaul Berdasarkan Kriteria IEC 60034-27-3

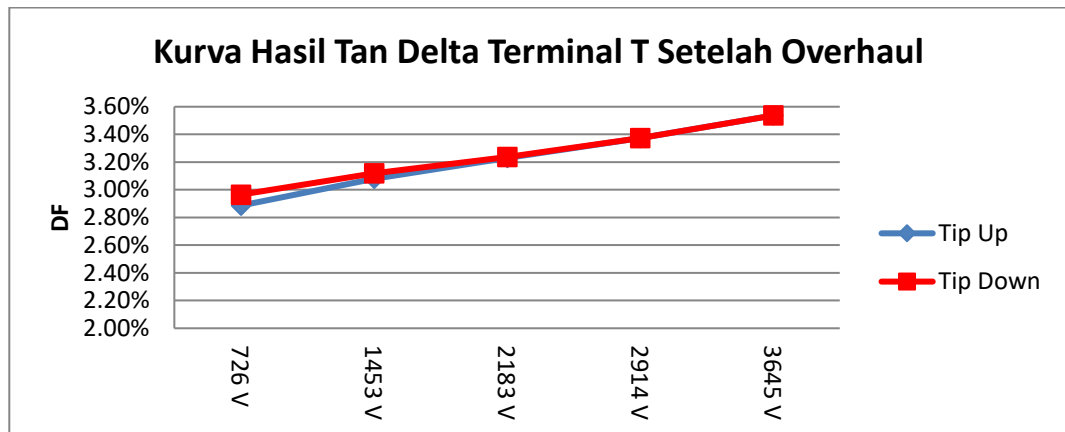
Parameter	Standard Criteria [10 ⁻³]	Actual Data [10 ⁻³]	Condition [10 ⁻³]

Tan Delta at 0.2 Un	$\leq 2 \%$	2,8001 %	INVESTIGATE
---------------------	-------------	----------	-------------

Hasil pengujian Tan Delta pada 0,2 Un tegangan nominal per fasa Terminal S pada setelah overhaul yang ditunjukkan tabel 4.10 dan tabel 4.11 mengalami penurunan dibanding hasil Tan Delta sebelum overhaul, menunjukkan hasil 2,8001 % yang mana pada tabel 3.1 hasil tersebut menunjukkan kondisi di atas ambang batas kriteria, dari hasil tersebut menunjukkan kemungkinan masih adanya proses deteriorasi pada isolasi winding stator generator, deteriorasi biasanya mengacu pada kondisi winding stator yang kotor atau bahkan kerusakan material atau komponen akibat berbagai faktor, seperti usia, keausan, paparan lingkungan, atau beban operasional. Nilai Tan Delta berbanding lurus dengan tegangan uji, semakin tinggi tegangan uji yang di *inject* nilai tan delta menunjukkan kenaikan terlihat pada gambar 4.6.

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Tan Delta Terminal T Setelah Overhaul

V Test	Terminal T - Ground			
	V Meas (V)	I Meas (mA)	CP (nF)	DF (%)
0.2 Un	726 V	13.530 mA	59.287 nF	2.8863 %
0.4 Un	1449 V	27.079 mA	59.427 nF	3.0790 %
0.6 Un	2182 V	40.846 mA	59.540 nF	3.2310 %
0.8 Un	2910 V	54.565 mA	59.638 nF	3.3723 %
1 Un	3641 V	68.410 mA	59.749 nF	3.5366 %
0.8 Un -1	2909 V	54.551 mA	59.641 nF	3.3736 %
0.6 Un -1	2171 V	40.638 mA	59.538 nF	3.2376 %
0.4 Un -1	1449 V	27.071 mA	59.442 nF	3.1181 %
0.2 Un -1	723 V	13.484 mA	59.318 nF	2.9652 %



Gambar 4. 7 Kurva Hasil tan Delta Terminal T Setelah Overhaul

Tabel 4. 13 Analisa Tan Delta Terminal T Setelah Overhaul Berdasarkan Kriteria IEC 60034-27-3

Parameter	Standard Criteria [10 ⁻³]	Actual Data [10 ⁻³]	Condition [10 ⁻³]
Tan Delta at 0.2 Un	≤ 2 %	2,8863 %	INVESTIGATE

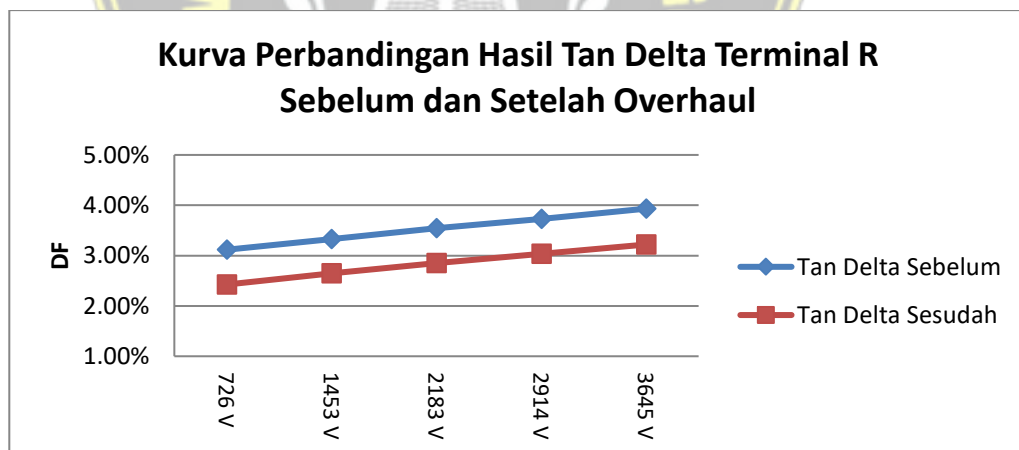
Hasil pengujian Tan Delta pada 0,2 Un tegangan nominal per fasa Terminal T pada setelah overhaul yang di tunjukan tabel 4.12 dan tabel 4.13 mengalami penurunan dibanding hasil Tan Delta sebelum overhaul, menunjukkan hasil 2,8863 % yang mana pada tabel 3.1 hasil tersebut menunjukkan kondisi di atas ambang batas kriteria, dari hasil tersebut menunjukkan kemungkinan masih adanya proses deteriorasi pada isolasi winding stator generator, deteriorasi biasanya mengacu pada kondisi winding stator yang kotor atau bahkan kerusakan material atau komponen akibat berbagai faktor, seperti usia, keausan, paparan lingkungan, atau beban operasional . Nilai Tan Delta berbanding lurus dengan tegangan uji, semakin tinggi tegangan uji yang di *inject* nilai tan delta menunjukkan kenaikan terlihat pada gambar 4.7.

4.4 Analisa Data Pengujian Tan Delta Sebelum dan Sesudah Overhaul

Data hasil pengujian Tan Delta sebelum dan sesudah overhaul kemudian diolah kembali untuk dibandingkan. Berikut adalah tabel data perbandingan Tan Delta sebelum dan sesudah overhaul.

Tabel 4. 14 Perbandingan Tan Delta Terminal R Sebelum dan Setelah Overhaul

V Test	Terminal R - Ground		
	V Meas (V)	DF Sebelum (%)	DF Sesudah (%)
0.2 Un	726 V	3.1168 %	2.4255 %
0.4 Un	1449 V	3.3283 %	2.6443 %
0.6 Un	2182 V	3.5444 %	2.8520 %
0.8 Un	2910 V	3.7299 %	3.0373 %
1 Un	3641 V	3.9326 %	3.2205 %
0.8 Un -1	2909 V	3.7349 %	3.0640 %
0.6 Un -1	2171 V	3.5654 %	2.9219 %
0.4 Un -1	1449 V	3.4208 %	2.7827 %
0.2 Un -1	723 V	3.2587 %	2.6246 %

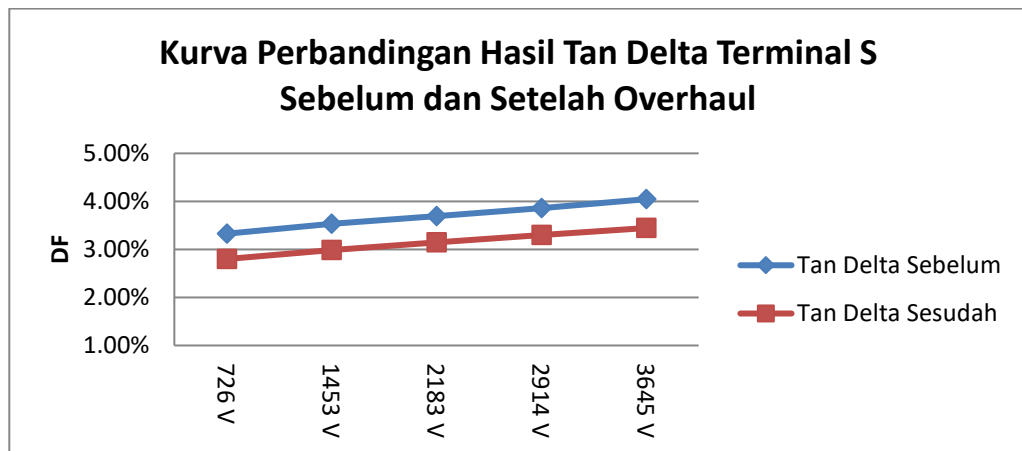


Gambar 4. 8 Kurva Perbandingan Hasil Tan Delta Terminal R Sebelum dan Sesudah Overhaul

Tabel 4. 15 Perbandingan Tan Delta Terminal S Sebelum dan Setelah Overhaul

V Test	Terminal S - Ground		
	V Meas (V)	DF Sebelum (%)	DF Sesudah (%)
0.2 Un	726 V	3.3277 %	2.8001 %

0.4 Un	1449 V	3.5297 %	2.9870 %
0.6 Un	2182 V	3.6904 %	3.1459 %
0.8 Un	2910 V	3.8597 %	3.2982 %
1 Un	3641 V	4.0460 %	3.4450 %
0.8 Un -1	2909 V	3.8430 %	3.2925 %
0.6 Un -1	2171 V	3.6787 %	3.1491 %
0.4 Un -1	1449 V	3.5457 %	3.0096 %
0.2 Un -1	723 V	3.4061 %	2.8504 %

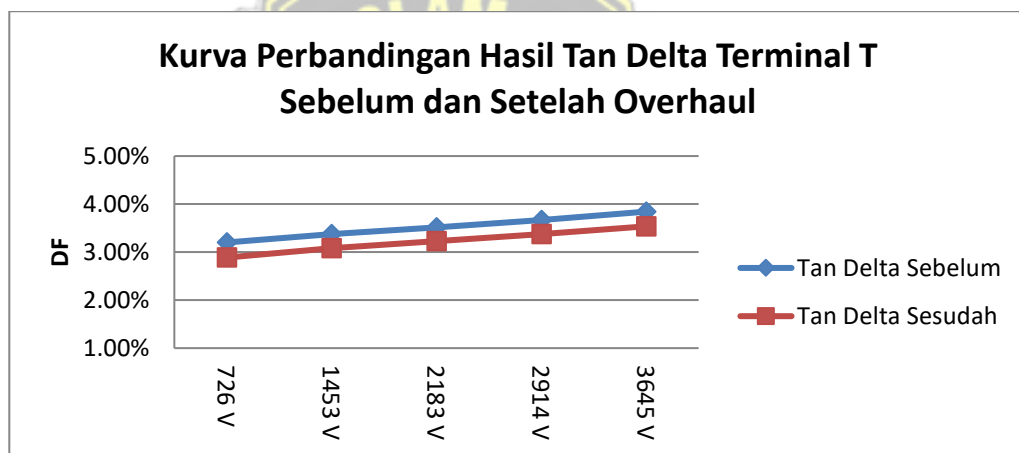


Gambar 4. 9 Kurva Perbandingan Hasil Tan Delta Terminal S Sebelum dan Sesudah Overhaul



Tabel 4. 16 Perbandingan Tan Delta Terminal T Sebelum dan Setelah Overhaul

V Test	Terminal T - Ground		
	V Meas (V)	DF Sebelum (%)	DF Sesudah (%)
0.2 Un	726 V	3.2002 %	2.8863 %
0.4 Un	1449 V	3.3727 %	3.0790 %
0.6 Un	2182 V	3.5110 %	3.2310 %
0.8 Un	2910 V	3.6685 %	3.3723 %
1 Un	3641 V	3.8426 %	3.5366 %
0.8 Un -1	2909 V	3.6573 %	3.3736 %
0.6 Un -1	2171 V	3.5021 %	3.2376 %
0.4 Un -1	1449 V	3.3718 %	3.1181 %
0.2 Un -1	723 V	3.2226 %	2.9652 %



Gambar 4. 10 Kurva Perbandingan Hasil Tan Delta Terminal T Sebelum dan Sesudah Overhaul

Dari data hasil perbandingan kurva pada gambar 4.8, gambar 4.9 dan gambar 4.10 menunjukkan bahwa nilai tan delta setelah dilakukan overhaul mengalami penurunan dan lebih kecil di banding nilai tan delta sebelum overhaul. Hal ini menunjukkan bahwa dengan dilakukan overhaul dapat menurunkan nilai tan delta, overhaul yang mencakup pembersihan, pengecatan, dan pemanasan dapat menurunkan nilai tan delta pada generator winding, namun pada jika merujuk pada standar kriteria tabel 3.1 nilai tan delta masih dalam kondisi di atas ambang batas

menunjukkan proses deteorisasi kemungkinan masih ada karena berbagai faktor, seperti usia, keausan, paparan lingkungan, atau beban operasional.

4.5 Analisa Data Hubungan Tan Delta dengan Rugi-Rugi Daya Dielektrik

Dari data hasil pengujian Tan Delta sebelum dan setelah overhaul, parameter yang dihasilkan dapat digunakan untuk menghitung seberapa besar nilai Rugi-Rugi Daya Dielektrik (Pd) menggunakan persamaan 2.8. Berikut adalah hasil perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik (Pd) dari hasil pengujian Tan Delta sebelum dan sesudah overhaul. Berikut adalah sampel perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik pada stator generator.

- a. Rugi-Rugi Daya Dielektrik 0,2 Un sebelum Overhaul Terminal R

$$Pd = \omega \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

$$Pd = 2\pi f \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

$$Pd = 2 \times 3,14 \times 50 \times 59,449 \times 10^{-9} \times 726^2 \times 0,031168$$

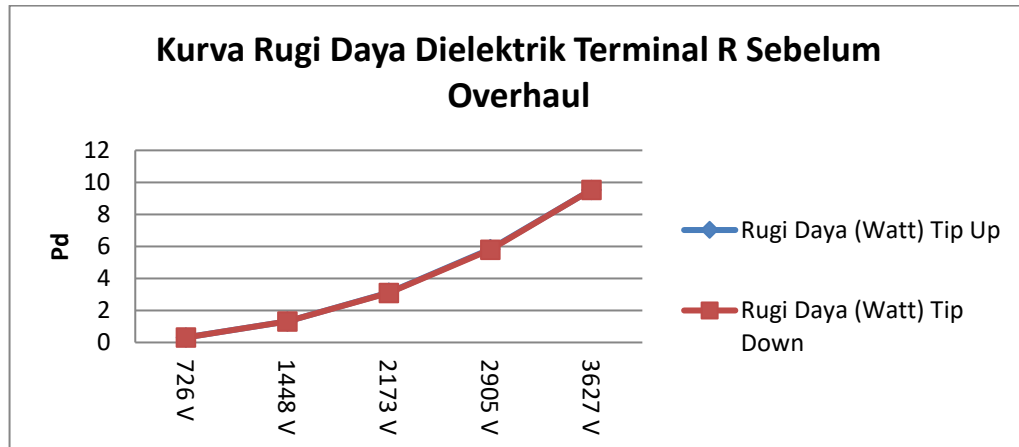
$$Pd = 0,306659468 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan di atas kemudian diuraikan hasil perhitungan rugi-rugi daya dielektrik pada tabel 4.17 di bawah ini dan dilakukan pembuatan kurva gambar 4.11 yang menunjukkan kenaikan rugi-rugi daya dielektrik yang berbanding lurus dengan nilai tan delta dan menunjukan kurva eksponensial.

Tabel 4. 17 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik Terminal R Sebelum Overhaul

V Test	Terminal R - Ground			
	V Meas (V)	CP (nF)	DF (%)	Pd (Watt)
0.2 Un	726 V	59.449 nF	3.1168%	0.306659468
0.4 Un	1454 V	59.607 nF	3.3283%	1.315166101
0.6 Un	2187 V	59.771 nF	3.5444%	3.170081073
0.8 Un	2911 V	59.927 nF	3.7299%	5.959755847
1 Un	3646 V	60.074 nF	3.9326%	9.855780859
0.8 Un -1	2910 V	59.924 nF	3.7349%	5.951074672
0.6 Un -1	2174 V	59.798 nF	3.5654%	3.164052249
0.4 Un -1	1442 V	59.689 nF	3.4208%	1.349852948

0.2 Un -1	718 V	59.573 nF	3.2587%	0.316001026
-----------	-------	-----------	---------	-------------



Gambar 4. 11 Kurva Rugi Daya Dielektrik Terminal R Sebelum Overhaul

b. Rugi-Rugi Daya Dielektrik 0,2 Un sebelum Overhaul Terminal S

$$Pd = \omega \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

$$Pd = 2\pi f \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

$$Pd = 2 \times 3,14 \times 50 \times 59,796 \times 10^{-9} \times 726^2 \times 0,033277$$

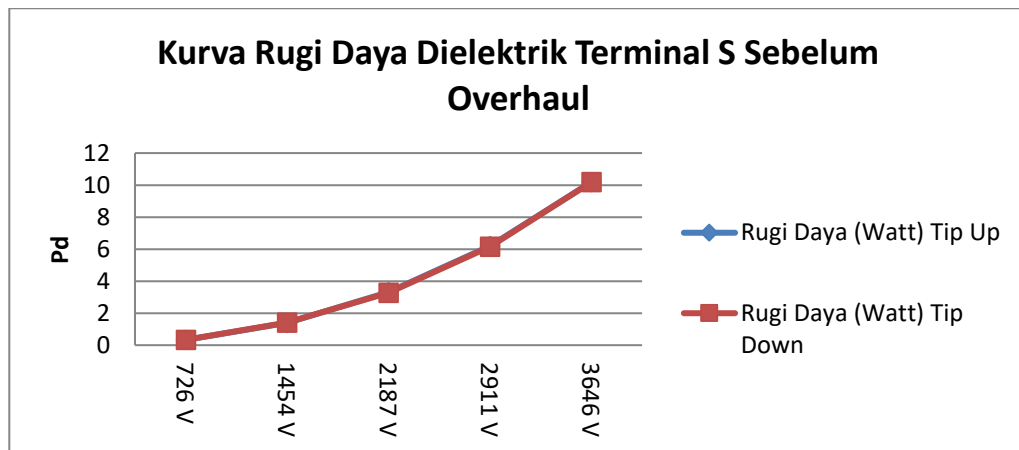
$$Pd = 0.329320821 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan di atas kemudian diuraikan hasil perhitungan rugi-rugi daya dielektrik pada tabel 4.18 di bawah ini dan dilakukan pembuatan kurva gambar 4.12 yang menunjukkan kenaikan rugi-rugi daya dielektrik yang berbanding lurus dengan nilai tan delta dan menunjukan kurva eksponensial.

Tabel 4. 18 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik Terminal S Sebelum Overhaul

V Test	Terminal S - Ground			
	V Meas (V)	CP (nF)	DF (%)	Pd (Watt)
0.2 Un	726 V	59.796 nF	3.3277 %	0.329320821
0.4 Un	1449 V	59.945 nF	3.5297 %	1.402657493
0.6 Un	2181 V	60.072 nF	3.6904 %	3.317283988

0.8 Un	2917 V	60.199 nF	3.8597 %	6.195146343
1 Un	3645 V	60.336 nF	4.0460 %	10.18420439
0.8 Un -1	2907 V	60.188 nF	3.8430 %	6.150294653
0.6 Un -1	2173 V	60.062 nF	3.6787 %	3.27901112
0.4 Un -1	1448 V	59.956 nF	3.5457 %	1.405397288
0.2 Un -1	721 V	59.840 nF	3.4061 %	0.331774971



Gambar 4. 12 Kurva Rugi Daya Dielektrik Terminal S Sebelum Overhaul

c. Rugi-Rugi Daya Dielektrik 0,2 Un Sebelum Overhaul Terminal T

$$Pd = \omega \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

$$Pd = 2\pi f \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

$$Pd = 2 \times 3,14 \times 50 \times 59,655 \times 10^{-9} \times 726^2 \times 0,032002$$

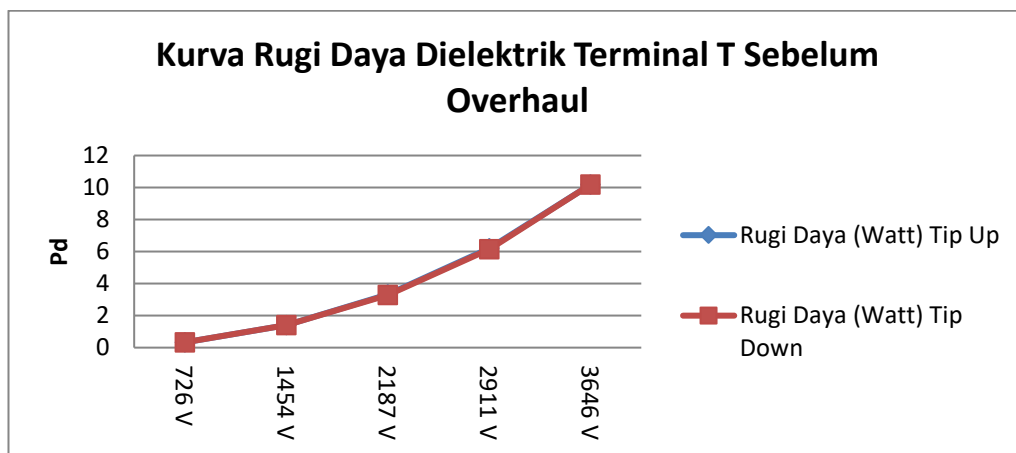
$$Pd = 0.315956184 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan di atas kemudian diuraikan hasil perhitungan rugi-rugi daya dielektrik pada tabel 4.19 di bawah ini dan dilakukan pembuatan kurva gambar 4.13 yang menunjukkan kenaikan rugi-rugi daya dielektrik yang berbanding lurus dengan nilai tan delta dan menunjukan kurva eksponensial.

Tabel 4. 19 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik Terminal T Sebelum Overhaul

V Test	Terminal T - Ground			
	V Meas (V)	CP (nF)	DF (%)	Pd (Watt)

0.2 Un	726 V	59.655 nF	3.2002 %	0.315956184
0.4 Un	1448 V	59.779 nF	3.3727 %	1.327373461
0.6 Un	2173 V	59.881 nF	3.5110 %	3.117230914
0.8 Un	2905 V	59.997 nF	3.6685 %	5.83230168
1 Un	3627 V	60.121 nF	3.8426 %	9.542806843
0.8 Un -1	2900 V	59.985 nF	3.6573 %	5.793338344
0.6 Un -1	2167 V	59.863 nF	3.5021 %	3.091252575
0.4 Un -1	1446 V	59.761 nF	3.3718 %	1.322957511
0.2 Un -1	718 V	59.656 nF	3.2226 %	0.311199628



Gambar 4. 13 Kurva Rugi Daya Terminal T Sebelum Overhaul

d. Rugi-Rugi Daya Dielektrik 0,2 Un Setelah Overhaul Terminal R

$$Pd = \omega \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

$$Pd = 2\pi f \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

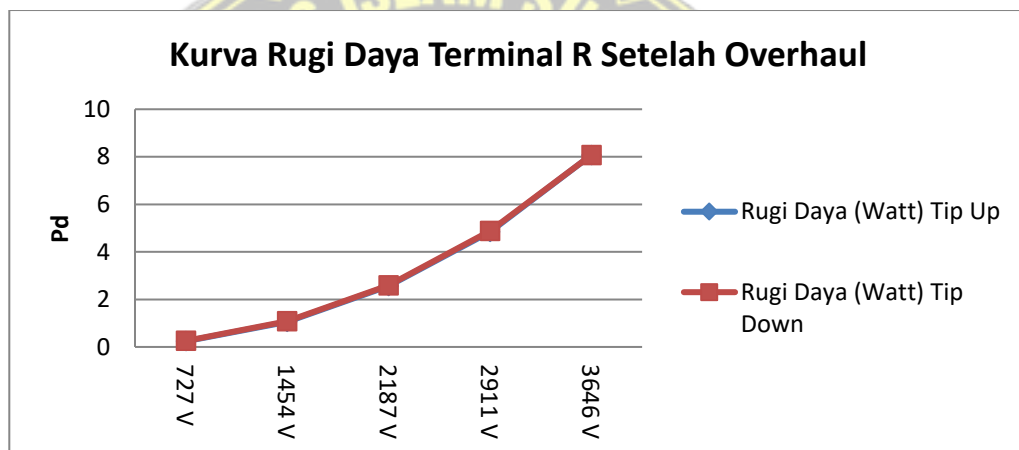
$$Pd = 2 \times 3,14 \times 50 \times 59,015 \times 10^{-9} \times 727^2 \times 0,024255$$

$$Pd = 0.239300884 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan di atas kemudian diuraikan hasil perhitungan rugi-rugi daya dielektrik pada tabel 4.20 di bawah ini dan dilakukan pembuatan kurva gambar 4.14 yang menunjukkan kenaikan rugi-rugi daya dielektrik yang berbanding lurus dengan nilai tan delta dan menunjukan kurva eksponensial.

Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik Terminal R Setelah Overhaul

V Test	Terminal R - Ground			
	V Meas (V)	CP (nF)	DF (%)	Pd (Watt)
0.2 Un	727 V	59.015 nF	2.4255 %	0.239300884
0.4 Un	1454 V	59.165 nF	2.6443 %	1.046324635
0.6 Un	2187 V	59.302 nF	2.8520 %	2.56016088
0.8 Un	2911 V	59.441 nF	3.0373 %	4.843109476
1 Un	3646 V	59.565 nF	3.2205 %	8.075563388
0.8 Un -1	2910 V	59.459 nF	3.0640 %	4.882083267
0.6 Un -1	2174 V	59.354 nF	2.9219 %	2.592989361
0.4 Un -1	1442 V	59.252 nF	2.7827 %	1.084478284
0.2 Un -1	718 V	59.128 nF	2.6246 %	0.25309941



Gambar 4. 14 Kurva Rugi Daya Dielektrik Terminal R Setelah Overhaul

e. Rugi-Rugi Daya Dielektrik 0,2 Un Setelah Overhaul Terminal S

$$Pd = \omega \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

$$Pd = 2 \times 3,14 \times 50 \times 59,425 \times 10^{-9} \times 727^2 \times 0,028001$$

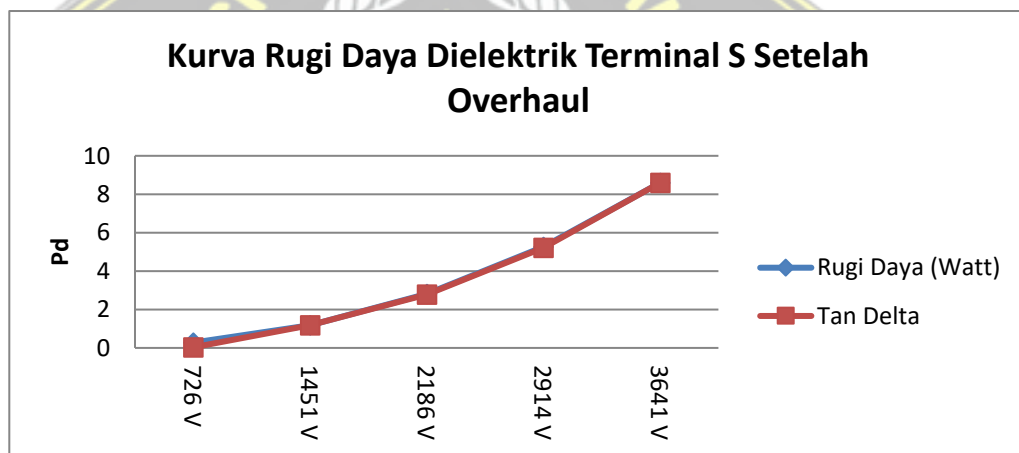
$$Pd = 0.275388386 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan di atas kemudian diuraikan hasil perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik pada tabel 4.21 di bawah ini dan dilakukan pembuatan kurva gambar

4.15 yang menunjukkan kenaikan Rugi-Rugi Daya Dielektrik yang berbanding lurus dengan nilai tan delta dan menunjukan kurva eksponensial.

Tabel 4. 21 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik Terminal S

V Test	Terminal S - Ground			
	V Meas (V)	CP (nF)	DF (%)	Pd (Watt)
0.2 Un	726 V	59.425 nF	2.8001 %	0.275388386
0.4 Un	1451 V	59.567 nF	2.9870 %	1.176265674
0.6 Un	2186 V	59.686 nF	3.1459 %	2.817392481
0.8 Un	2914 V	59.807 nF	3.2982 %	5.259418727
1 Un	3641 V	59.926 nF	3.4450 %	8.59360766
0.8 Un -1	2903 V	59.807 nF	3.2925 %	5.21076541
0.6 Un -1	2172 V	59.694 nF	3.1491 %	2.78462311
0.4 Un -1	1446 V	59.586 nF	3.0096 %	1.177387022
0.2 Un -1	721 V	59.454 nF	2.8504 %	0.276622222



Gambar 4. 15 Kurva Rugi Daya Dielektrik Terminal S Setelah Overhaul

f. Rugi-Rugi Daya Dielektrik 0,2 Un Setelah Overhaul Terminal T

$$Pd = \omega \cdot C \cdot V^2 \cdot \tan \delta$$

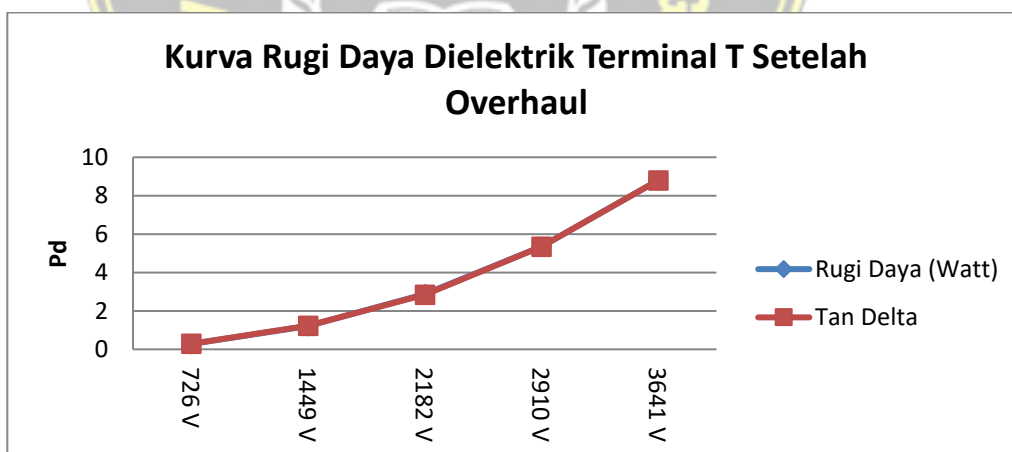
$$Pd = 2 \times 3,14 \times 50 \times 59,287 \times 10^{-9} \times 726^2 \times 0,028863$$

$$Pd = 0.283206902 \text{ Watt}$$

Dari hasil perhitungan di atas kemudian diuraikan hasil perhitungan rugi-rugi daya dielektrik pada tabel 4.22 di bawah ini dan dilakukan pembuatan kurva gambar 4.16 yang menunjukkan kenaikan rugi-rugi daya dielektrik yang berbanding lurus dengan nilai tan delta dan menunjukan kurva eksponensial.

Tabel 4. 22 Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Daya Dielektrik Terminal T

V Test	Terminal T - Ground			
	V Meas (V)	CP (nF)	DF (%)	Pd (Watt)
0.2 Un	726 V	59.287 nF	2.8863 %	0.283206902
0.4 Un	1449 V	59.427 nF	3.0790 %	1.20631274
0.6 Un	2182 V	59.540 nF	3.2310 %	2.875973824
0.8 Un	2910 V	59.638 nF	3.3723 %	5.347673691
1 Un	3641 V	59.749 nF	3.5366 %	8.796047978
0.8 Un -1	2909 V	59.641 nF	3.3736 %	5.346327948
0.6 Un -1	2171 V	59.538 nF	3.2376 %	2.852769799
0.4 Un -1	1449 V	59.442 nF	3.1181 %	1.221939972
0.2 Un -1	723 V	59.318 nF	2.9652 %	0.288699967



Gambar 4. 16 Kurva Rugi Daya Dielektrik Terminal T Setelah Overhaul

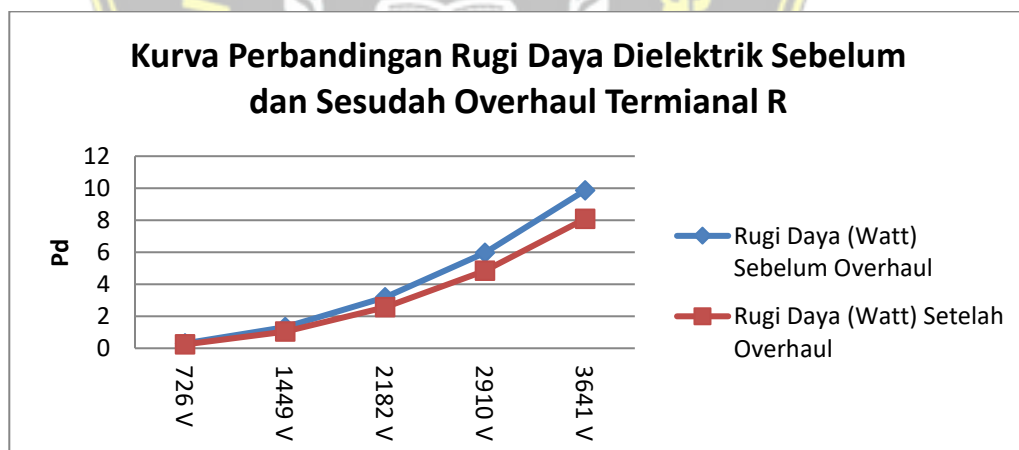
4.6 Analisa Perbandingan Rugi Daya Sebelum dan Sesudah Overhaul

Dari hasil perhitungan rugi-rugi daya dielektrik pada setiap terminal winding stator sebelum dan sesudah overhaul pada point 4.5 kita juga mendapatkan nilai

perbandingan rugi-rugi daya dielektrik sebelum dan sesudah overhaul. Berikut adalah perbandingan rugi-rugi daya dielektrik sebelum dan sesudah overhaul.

Tabel 4. 23 Perbandingan Rugi Daya Dielektrik Sebelum dan Sesudah Overhaul Terminal R

V Test	Terminal R - Ground		
	V Meas (V)	Sebelum Overhaul Pd (Watt)	Setelah Overhaul Pd (Watt)
0.2 Un	726 V	0.306659468	0.239300884
0.4 Un	1451 V	1.315166101	1.046324635
0.6 Un	2186 V	3.170081073	2.56016088
0.8 Un	2914 V	5.959755847	4.843109476
1 Un	3641 V	9.855780859	8.075563388
0.8 Un -1	2903 V	5.951074672	4.882083267
0.6 Un -1	2172 V	3.164052249	2.592989361
0.4 Un -1	1446 V	1.349852948	1.084478284
0.2 Un -1	721 V	0.316001026	0.25309941

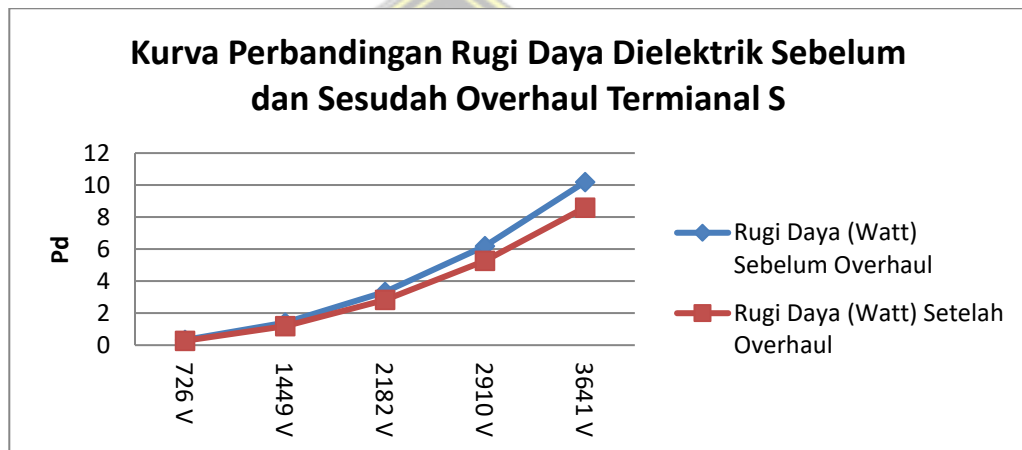


Gambar 4. 17 Perbandingan Rugi Daya Dielektrik Sebelum dan Sesudah Overhaul Terminal R

Tabel 4. 24 Perbandingan Rugi Daya Dielektrik Sebelum dan Sesudah Overhaul Terminal S

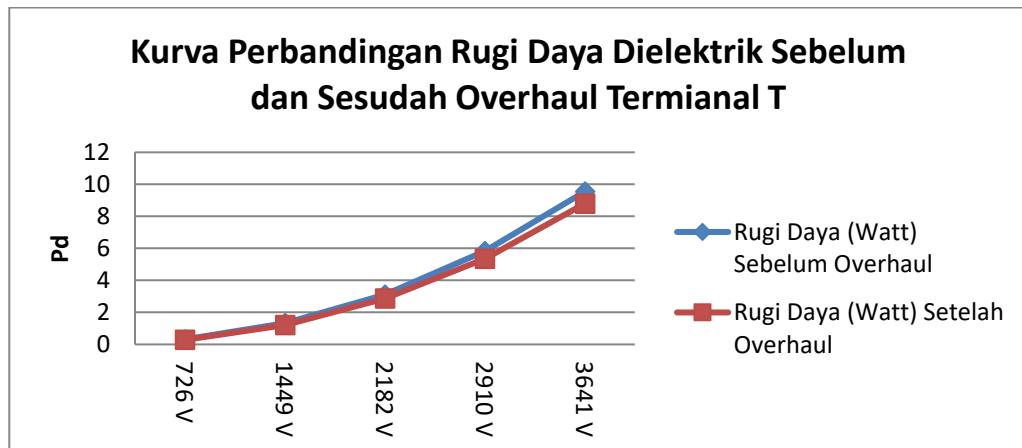
V Test	Terminal S - Ground		
	V Meas (V)	Sebelum Overhaul Pd (Watt)	Setelah Overhaul Pd (Watt)

0.2 Un	726 V	0.329320821	0.275388386
0.4 Un	1451 V	1.402657493	1.176265674
0.6 Un	2186 V	3.317283988	2.817392481
0.8 Un	2914 V	6.195146343	5.259418727
1 Un	3641 V	10.18420439	8.59360766
0.8 Un -1	2903 V	6.150294653	5.21076541
0.6 Un -1	2172 V	3.27901112	2.78462311
0.4 Un -1	1446 V	1.405397288	1.177387022
0.2 Un -1	721 V	0.331774971	0.276622222



Tabel 4. 25 Perbandingan Rugi Daya Dielektrik Sebelum dan Sesudah Overhaul Terminal R

V Test	Terminal T - Ground		
	V Meas (V)	Sebelum Overhaul Pd (Watt)	Setelah Overhaul Pd (Watt)
0.2 Un	726 V	0.315956184	0.283206902
0.4 Un	1451 V	1.327373461	1.20631274
0.6 Un	2186 V	3.117230914	2.875973824
0.8 Un	2914 V	5.83230168	5.347673691
1 Un	3641 V	9.542806843	8.796047978
0.8 Un -1	2903 V	5.793338344	5.346327948
0.6 Un -1	2172 V	3.091252575	2.852769799
0.4 Un -1	1446 V	1.322957511	1.221939972
0.2 Un -1	721 V	0.311199628	0.288699967



Gambar 4. 18 Perbandingan Rugi Daya Dielektrik Sebelum dan Sesudah Overhaul Terminal T

Dari perbandingan hasil perhitungan rugi -rugi daya sebelum dan sesudah overhaul di atas pada Gambar 4.16, 4.17, dan 4.18 menunjukkan bahwa nilai rugi-rugi daya dielektrik setelah overhaul mengalami penurunan seperti hal nya penurunan pada nilai tan delta. Hal itu menunjukkan bahwa nilai rugi-rugi daya dielektrik berbanding lurus dengan tan delta dan membentuk kurba eksponensial.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data pengujian yang telah disajikan berikut adalah kesimpulan dari hasil analisa.

1. Berdasarkan hasil pengujian tan delta sebelum dan sesudah overhaul, di dapatkan nilai tan delta mengalami penurunan pada setiap terminal winding stator, nilai tan delta pada 0,2 tegangan nominal (726 V) terminal R menurun dari 3.1168 % menjadi 2.4255 %, terminal S menurun dari 3.3277% menjadi 2.8001%, terminal T menurun dari 3.2002 % menjadi 2.886 % .
2. Berdasarkan hasil pengujian sebelum dan setelah overhaul pada 0,2 tegangan nominal (726 V) terminal R menurun dari 3.1168 % menjadi 2.4255 %, terminal S menurun dari 3.3277% menjadi 2.8001%, terminal T menurun dari 3.2002 % menjadi 2.886 % , nilai tan delta masih diatas ambang batas kriteria ≤ 2 % menurut IEC 60034-27-3, hal ini menunjukan terjadi deteroisasi atau penurunan kualitas isolasi winding stator.
3. Tan delta adalah salah satu pengujian elektrikl isolasi winding stator yang cukup efisien digunakan untuk dapat mengetahui deteroisasi atau penurunan kualitas isolasi winding stator pada saat overhaul dilakukan.
4. Tan delta adalah indikator langsung dari rugi-rugi daya dielektrik dalam sistem isolasi. Semakin tinggi tan delta, semakin besar Rugi-Rugi Daya Dielektrik ditunjukkan pada tabel 4.23, tabel 4.24, dan tabel 4.25, yang dapat mengurangi efisiensi sistem dan meningkatkan risiko kerusakan.

5.2 Saran

Dari hasil pembahasan tugas akhir diatas berikut adalah saran yang dapat di ambil.

1. Menjaga tingkat kebersihan lingkungan sekitar generator, dengan menjaga tingkat kebersihan lingkungan generator, dapat menekan tingkat laju deterioration isolasi winding stator generator.
2. Menjaga beban kerja generator tidak lebih dari 80%, dengan menjaga tingkat beban kerja generator, dapat menekan tingkat laju deterioration isolasi winding stator generator.



DAFTAR PUSTAKA

1. Bolorunduro, G. A., Mohammed, A., Uche, U. E., Ibrahim, B. G., & Audu, S. T. (2022). Analysis and remedies for factors responsible for time between overhaul: a case study of Do-228 aircraft starter generator. *Nigerian Journal of Technology*, 41(4), 767–777. <https://doi.org/10.4314/njt.v41i4.14>
2. Dwi Putri, N., Perawati, M., Ginting, B., Burhanuddin Tarigan, I., Konversi Energi, T., Mesin, T., & Medan, P. N. (2022). *Menganalisis Pemeliharaan Exciter Di Pltd Titi Kuning*. 1029–1038.
3. Febrijanto, H. R., & Hidayat, R. (2022). Analisis Pengujian Tan Delta Pada Transformator Arus Di Gitet Tasikmalaya Bay Penghantar Bandung Selatan-1. *Teknom*, 6(2), 86–95. <https://doi.org/10.31943/teknokom.v6i2.143>
4. International Electrotechnical Commission. (2015). Rotating electrical machines-Part 27-3: Dielectric dissipation factor measurement on stator winding insulation of rotating electrical machines. *Iec 60034-27-3*.
5. Kartiko, B. M., Kusuma, T. C., & Silaen, Y. C. (2023). *Preventive Maintenance of Diesel Power Generators in Indonesia's Manufacturing Industries*. 594–605. <https://doi.org/10.46254/an12.20220105>
6. Morsalin, S., Phung, T. B., Danikas, M., & Mawad, D. (2019). Diagnostic challenges in dielectric loss assessment and interpretation: A review. *IET Science, Measurement and Technology*, 13(6), 767–782. <https://doi.org/10.1049/iet-smt.2018.5597>
7. Muhammad, A. F., Latifa, U., & Bangsa, I. A. (2021). Analisis Isolasi Pada Generator Pembangkit Listrik Tenaga Air Saguling. *Power Elektronik : Jurnal Orang Elektro*, 10(2), 48. <https://doi.org/10.30591/polektro.v10i2.2584>
8. Omicron. (2005). *CPC-100 Reference Manual*.
9. Omicron Electronics Corp. (2007). *CP TD1 Reference Manual*. 158.
10. Wawoh, D. P., Mangindaan, G. M. C., & Patras, L. S. (2024). *Calculate Insulation*. 13(1), 19–26.