

**ANALISIS UJI KELAYAKAN TAHANAN ISOLASI
BERBASIS INDEKS POLARISASI DAN TANGEN DELTA
PADA TRAF0 GI 150/20 KV PT. APF**

TUGAS AKHIR

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar S1
Pada Program Studi Teknik Elektrik
Universitas Islam Sultan Agung Semarang**



Di susun oleh :

ADE PANJI NUGRAHA

NIM : 30601900045

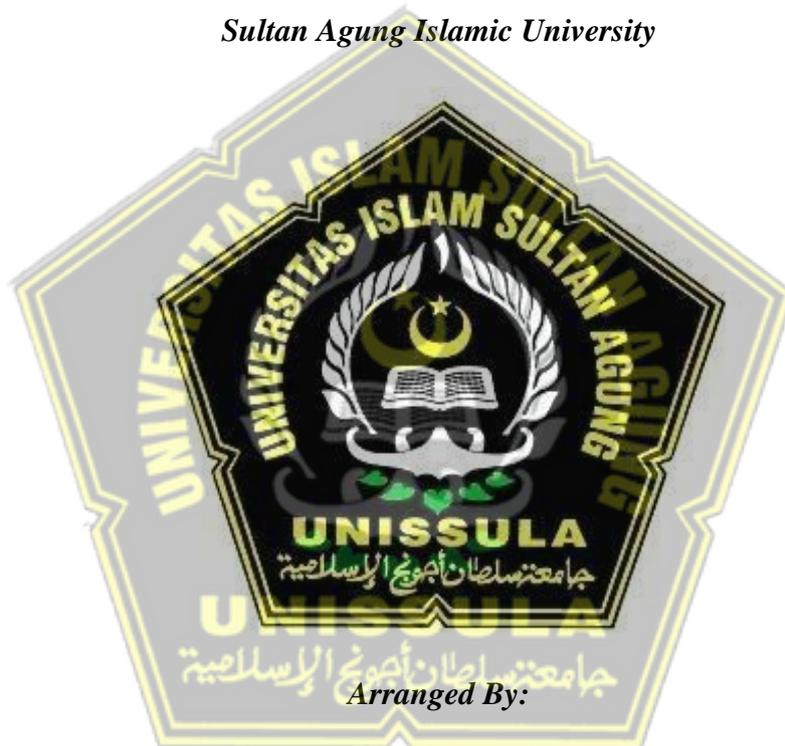
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2023

***ISOLATION RESISTANCE FEASIBILITY TEST ANALYSIS
BASED ON POLARIZATION INDEX AND DELTA TANGENT IN
150/20 KV GI TRANSFORMER PT. APF***

FINAL PROJECT

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



ADE PANJI NUGRAHA

NIM : 30601900045

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

2023

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS UJI KELAYAKAN TAHANAN ISOLASI BERBASIS INDEKS POLARISASI DAN TANGEN DELTA PADA TRAF0 GI 150/20 KV PT. APF” ini disusun oleh:

Nama : Ade Panji Nugraha

NIM : 30601900045

Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 06 Juli 2023

Pembimbing I

Pembimbing II


Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT.
NIDN. 0607018501


Dedi Nugroho, ST., MT.
NIDN. 0617128802

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Jenny Putri Hapsari, ST., MT.
NIDN. 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “ANALISIS UJI KELAYAKAN TAHANAN ISOLASI BERBASIS INDEKS POLARISASI DAN TANGEN DELTA PADA TRAFO GI 150/20 KV PT. APF” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

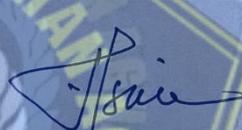
Hari : Kamis
Tanggal : 10 Agustus 2023

Penguji I



Ir. Ida Widiastuti, MT.
NIDN. 005036501

Penguji II



Dr. Muhammad Khosvi'in, ST., MT.
NIDN. 0625077901

Ketua Penguji



Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT.
NIDN. 0628086501

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ade Panji Nugraha

NIM : 30601900045

Fakultas : Teknologi Industri

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang dengan judul “ANALISIS UJI KELAYAKAN TAHANAN ISOLASI TRAF0 BERBASIS INDEKS POLARISASI DAN TANGEN DELTA PADA TRAF0 GI 150/20 KV PT APF”, adalah asli (orisinil) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apapun baik sebagian atau keseluruhan.

Dan apabila dikemudian hari ternyata terbukti bahwa judul Tugas Akhir yang saya buat pernah diangkat, ditulis ataupun dipublikasikan, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademik sesuai peraturan yang berlaku. Demikian surat pernyataan ini Saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 26 Juni 2023

Yang Menyatakan



Ade Panji Nugraha

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ade Panji Nugraha
NIM : 30601900045
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri
Alamat Asal : Tamangede 03/02 Kec. Gemuh Kab. Kendal Jawa Tengah
No. Hp / Email : 082134060682 / panji2712@std.unissula.ac.id

Dengan ini menyatakan Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir dengan Judul:
“ANALISIS UJI KELAYAKAN TAHANAN ISOLASI BERBASIS INDEKS
POLARISASI DAN TANGEN DELTA PADA TRAFO GI 150/20 KV PT
APF”

Menyetujui menjadi hal milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan Hal bebas Royalti Non_Eksklusif untuk disimpan, dialihmediakan, dikelola dan pangkalan data dan dipublikasikan diinternet dan media lain untuk kepentingan akademis selama tetap menyantumkan nama penulis sebagai pemilik hak cipta. Pernyataan ini Saya buat dengan sungguh - sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 26 Juni 2023

Yang Menyatakan



Ade Panji Nugraha

PERSEMBAHAN DAN MOTTO

Persembahan :

Pertama,

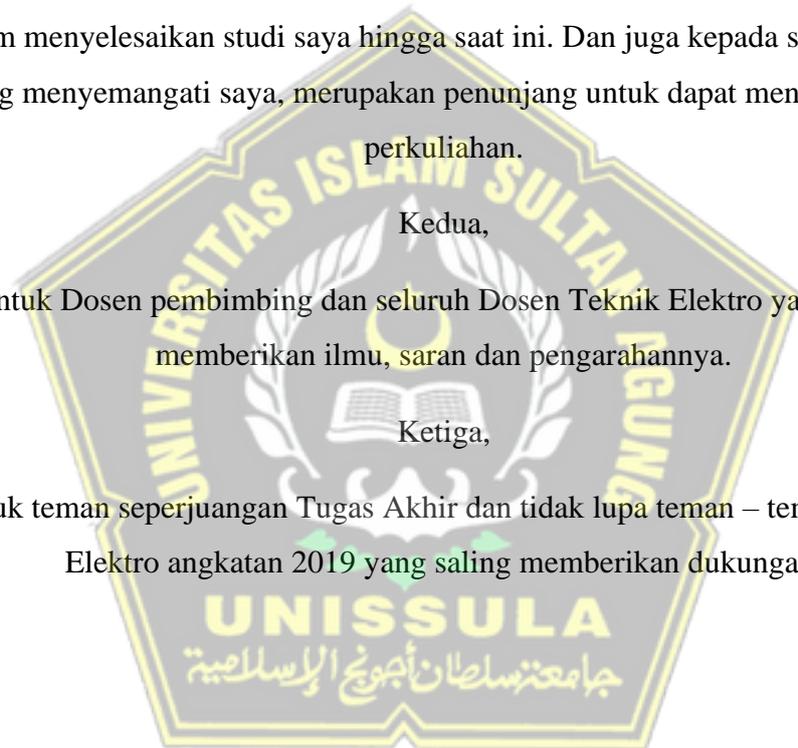
Tugas Akhir ini akan saya persembahkan kepada kedua orang tua saya yang saya cintai (Bapak Hadin Mulyadi (Alm) & Ibu Titi Nurhayati) yang sudah membesarkan saya, memberikan dukungan dan menjadi motivasi hidup saya dalam menyelesaikan studi saya hingga saat ini. Dan juga kepada saudara saya yang menyemangati saya, merupakan penunjang untuk dapat menyelesaikan perkuliahan.

Kedua,

Untuk Dosen pembimbing dan seluruh Dosen Teknik Elektro yang selalu memberikan ilmu, saran dan pengarahannya.

Ketiga,

Untuk teman seperjuangan Tugas Akhir dan tidak lupa teman – teman Teknik Elektro angkatan 2019 yang saling memberikan dukungan.



Motto :

“Maka sesungguhnya susah kesulitan ada kemudahan”

(QS Al Insyirah : 5)

“Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan kesanggupannya”

(QS. Al Baqarah : 286)

“Dan bersabarlah. Sesungguhnya Allah beserta orang – orang yang sabar”

(AQ. Al Insyirah : 5)

“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan diri mereka sendiri”

(QS. Ar Ra'd : 11)

“Dan apabila dikatakan. “Berdirilah kamu,” maka berdirilah, niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang – orang yang beriman diantaramu dan orang – orang yang diberi ilmu beberapa derajat”

(QS. Al Mujadilah : 11)



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirobbilalamin segala puja dan puji syukur yang tak terhingga atas kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah- Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan sekaligus laporan tugas akhir yang berjudul “Analisis Uji Kelayakan Tahanan Isolasi Berbasis Indeks Polarisasi dan Tangen Delta pada Trafo 150/20 KV PT APF” dengan sebaik-baiknya. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi besar kita Nabi Muhammad SAW.

Laporan tugas akhir merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa/i untuk meraih gelar sarjana (S1) di program studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas mendapat bantuan dari berbagai pihak. Dengan rasa setulus hati, penulis ingin menyampaikan banyak terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., MH selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., MT., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Terimakasih kepada Dosen Pembimbing saya Prof. Dr. Ir. H. Muhamad Haddin, MT dan Bapak Dedi Nugroho, ST, MT yang telah memberikan bimbingan dan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan bantuannya sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Kedua orang tua saya tercinta yang telah memberikan dukungan baik materiil maupun non materiil dan tidak pernah berhenti mendo'akan saya disetiap sujudnya.

7. Kepada sahabat seperjuangan saya, yaitu Mahasiswa Teknik Elektro angkatan 2019 yang membantu dalam pembuatan laporan Tugas Akhir ini.

Penulis juga menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, baik dari segi materi maupun penyajiannya. Penulis meminta maaf dan juga membutuhkan kritik maupun saran yang membangun dari berbagai pihak, sehingga kedepan Tugas Akhir ini dapat menjadi lebih baik. Akhirnya penulis berharap, semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi para pembaca dan khususnya bagi penulis juga, *wallahua'alam bissowab.*

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh



Semarang, 26 Juni 2023

Ade Panji Nugraha

DAFTAR ISI

ANALISIS UJI KELAYAKAN TAHANAN ISOLASI BERBASIS INDEKS POLARISASI DAN TANGEN DELTA PADA TRAF0 GI 150/20 KV PT.	
APF	1
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	i
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
PERSEMBAHAN DAN MOTTO	iv
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Keuntungan Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 Dasar Teori	8
2.3 Gardu Induk	13
2.4 Trafo Daya	14
2.4.1 Bagian – Bagian Transformator	19
2.4.2 Isolator	22

2.4.3	Pengujian Trafo.....	23
2.4.4	Perawatan Trafo.....	26
2.5	Tahanan Isolasi.....	27
2.6	Tingkat Ketahanan Isolasi (<i>Basic Impuls Insulation Level/BIL</i>).....	29
2.7	Pengujian Indeks Polarisasi (IP).....	29
2.8	Pengujian Tangen Delta.....	31
BAB III	METODE PENELITIAN	34
3.1	Model Penelitian	34
3.2	Objek Penelitian	34
3.3	Diagram Alir Penelitian.....	35
3.4	Data Penelitian.....	36
3.5	Langkah Penelitian.....	36
3.5.1	Observasi Lapangan	36
3.5.2	Data	36
3.5.3	Pengujian Indeks Polarisasi (IP)	39
3.5.4	Pengujian Tangen Delta	42
3.6	Pelaksanaan Pengujian	44
BAB IV	HASIL DAN ANALISIS	45
4.1	Hasil Penelitian	45
4.2	Pengukuran dan Perhitungan Tahanan Isolasi Indeks Polarisasi... 45	
4.3	Pengukuran dan Perhitungan Tahanan Isolasi Tangen Delta	47
4.4	Analisis Hasil Pengujian dan Perhitungan Indeks Polarisasi	52
4.5	Analisis Hasil Pengujian dan Perhitungan Tangen Delta	53
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1	Kesimpulan	55
5.2	Saran.....	55
	DAFTAR PUSTAKA	57
	LAMPIRAN	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Gambar Rumus Segitiga Daya.....	9
Gambar 2. 2	Gambar Transformator	15
Gambar 2. 3	Gambar Fisik Transformator 30 MVA	15
Gambar 2. 4	Gambar Fisik Transformator 35 MVA	16
Gambar 2. 5	Gambar Fisik Transformator 40 MVA	16
Gambar 2. 6	Gambar Inti Besi Trafo	19
Gambar 2. 7	Gambar Tahanan Belitan dari Trafo	20
Gambar 2. 8	Gambar Tangki Konservator.....	21
Gambar 2. 9	Gambar Bushing Transformator	22
Gambar 2. 10	Gambar Rangkaian Ekvivalen Isolasi & Diagram Phasor Arus	32
Gambar 2. 11	Gambar Rangkaian Ekvivalen Isolasi pada Skema Pengujian	32
Gambar 3. 1	Model Penelitian Transformator.....	34
Gambar 3. 2	Gambar Name Plate Trafo 30 MVA.....	38
Gambar 3. 3	Gambar Name Plate Trafo 35 MVA.....	38
Gambar 3. 4	Gambar Name Plate Trafo 40 MVA.....	39
Gambar 4. 1	Gambar Interpretasi Hasil Uji Tangen Delta.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Tabel Standar Indeks Polarisasi (IP) IEEE 43-2000	30
Tabel 2. 2	Tabel Standarisasi Tangen Delta menggunakan ANSI C 57.12.90 ...	33
Tabel 3. 1	Tabel Data Trafo 30-40 MVA GI 150/20 KV.....	37
Tabel 4. 1	Tabel Data Indeks Polarisasi pada Trafo 30-40 MVA tahun 2022	46
Tabel 4. 2	Tabel Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Metode Indeks Polarisasi.....	47
Tabel 4. 3	Data Tangen Delta pada Trafo 30 MVA tahun 2022	48
Tabel 4. 4	Data Tangen Delta pada Trafo 35 MVA tahun 2022	48
Tabel 4. 5	Data Tangen Delta pada Trafo 40 MVA tahun 2022	49
Tabel 4. 6	Tabel Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Metode Tangen Delta %	51



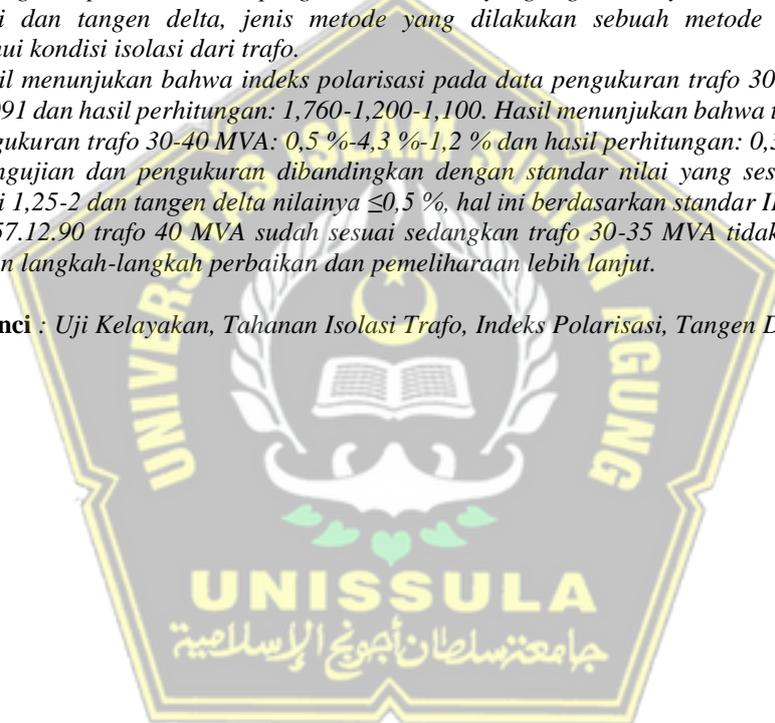
ABSTRAK

Salah satu permasalahan yang terjadi pada Transformator yang mensuplai listrik PT Asia Pacific Fibers, Tbk adalah kelayakan isolasi. Hal ini dikarenakan peralatan tersebut digunakan secara terus menerus dalam rentan waktu yang lama. Sebab yang lain adalah terjadi faktor-faktor seperti tegangan lebih, kelembaban, suhu operasi yang tinggi maupun kerusakan mekanis sehingga berakibat terputusnya daya listrik ke konsumen. Hal ini dapat menyebabkan penurunan tahanan isolasi dan dapat menimbulkan terjadinya gangguan pada transformator. Solusi terhadap masalah ini diperlukan evaluasi pengujian dan perawatan dilakukan secara rutin agar trafo dapat beroperasi sesuai masa pemakaiannya.

Penelitian ini membahas tentang Uji Kelayakan Tahanan Isolasi Trafo dengan model yang ditentukan sebagai sebuah Transformator. Parameter yang ditentukan yaitu sebuah nilai Tahanan Isolasi yang didapatkan melalui pengukuran metode yang digunakan yaitu menggunakan indeks polarisasi dan tangen delta, jenis metode yang dilakukan sebuah metode pengujian untuk mengetahui kondisi isolasi dari trafo.

Hasil menunjukkan bahwa indeks polarisasi pada data pengukuran trafo 30-40 MVA: 1,772-1,098-1,091 dan hasil perhitungan: 1,760-1,200-1,100. Hasil menunjukkan bahwa tangen delta pada data pengukuran trafo 30-40 MVA: 0,5 %-4,3 %-1,2 % dan hasil perhitungan: 0,3 %-2,0 %-0,8 %. Hasil pengujian dan pengukuran dibandingkan dengan standar nilai yang sesuai untuk indeks polarisasi 1,25-2 dan tangen delta nilainya $\leq 0,5$ %, hal ini berdasarkan standar IEEE 43-2000 dan ANSI C 57.12.90 trafo 40 MVA sudah sesuai sedangkan trafo 30-35 MVA tidak sesuai sehingga diperlukan langkah-langkah perbaikan dan pemeliharaan lebih lanjut.

Kata Kunci : Uji Kelayakan, Tahanan Isolasi Trafo, Indeks Polarisasi, Tangen Delta



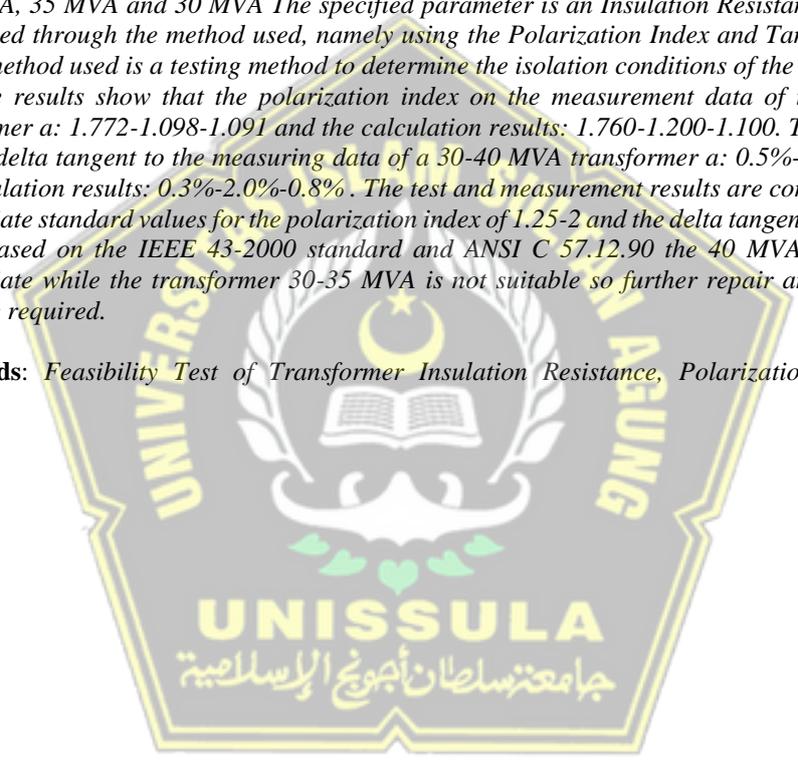
ABSTRACT

One of the problems that occur in the transformer that supplies electricity to PT. Asia Pacific Fibers, Tbk is overvoltage, so it is necessary to carry out an isolation feasibility test. This is because the equipment is used continuously for a long time. Another reason is the occurrence of factors such as overvoltage, humidity, high operating temperatures and mechanical damage resulting in the loss of electrical power to consumers. This can cause a decrease in insulation resistance and can cause interference with the transformer. The solution to this problem requires evaluation, testing and maintenance to be carried out regularly so that the transformer can operate according to its usage periode.

This study discusses the feasibility test of transformer insulation with the model determined as a 40 MVA, 35 MVA and 30 MVA The specified parameter is an Insulation Resistance value which is obtained through the method used, namely using the Polarization Index and Tangent Delta, the type of method used is a testing method to determine the isolation conditions of the transformer.

The results show that the polarization index on the measurement data of the 30-40 MVA transformer a: 1.772-1.098-1.091 and the calculation results: 1.760-1.200-1.100. The results show that the delta tangent to the measuring data of a 30-40 MVA transformer a: 0.5%-4.3%-1.2% and the calculation results: 0.3%-2.0%-0.8% . The test and measurement results are compared with the appropriate standard values for the polarization index of 1.25-2 and the delta tangen value is $\leq 0.5\%$, this is based on the IEEE 43-2000 standard and ANSI C 57.12.90 the 40 MVA transformer is appropriate while the transformer 30-35 MVA is not suitable so further repair and maintenance steps are required.

Keywords: *Feasibility Test of Transformer Insulation Resistance, Polarization Index, Delta Tangent*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik saat ini sudah menjadi salah satu kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia. Hampir semua manusia setiap harinya membutuhkan energi listrik, semakin banyaknya kebutuhan listrik yang dibutuhkan oleh manusia sebagai kebutuhan setiap harinya mengakibatkan kebutuhan energi listrik di Indonesia ini semakin meningkat dan tidak hanya kebutuhan pribadi yang meningkat tetapi juga untuk kebutuhan umum yang semakin bertambah seiring dengan kemajuan majunya infrastruktur di berbagai daerah. PT. PLN Persero sebagai induk perusahaan yang bergerak di bidang penyaluran tenaga listrik di semua wilayah di Indonesia yang tentunya harus menjaga kebutuhan sumber daya listrik. Menjaga kebutuhan listrik dapat dilakukan dengan cara memelihara peralatan–peralatan penyalur energi listrik, seperti trafo tenaga yang ada pada gardu induk.

Transformator daya merupakan peralatan utama dalam sistem tenaga listrik, karena hubungan langsung dengan sistem transmisi dan distribusi listrik. Transformator daya berfungsi untuk mengubah daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau dari tegangan rendah ke tegangan yang lebih tinggi [1]. Gangguan yang terjadi pada transformator dapat mengakibatkan terputusnya daya listrik ke konsumen, oleh karena itu perawatan dan pengujiannya perlu dilakukan secara rutin agar transformator dapat beroperasi sesuai masa pemakaian secara maksimum.

PT. APF adalah perusahaan yang bergerak dibidang tekstil atau perusahaan pemintalan yang mempunyai GI milik PT. APF sendiri, hal dikarenakan GI ini dibuat atau dibangun oleh pihak perusahaan sendiri bertujuan untuk melayani konsumsi daya pada perusahaan dan masyarakat sekitar pabrik [2]. GI PT. APF berasal dari sebuah pembangkit yang disalurkan melalui GI yang berada di daerah Ungaran lalu disalurkan kembali pada GI PT. APF yang berada di Kaliwungu, untuk kapasitasnya sendiri GI PT. APF memiliki kapasitas 150 KV yang diturunkan

menjadi 20 KV, pada pemakaiannya sendiri untuk *suplay* daya perusahaan PT. APF menggunakan 20 KV diturunkan menjadi 3,3 KV, 400 volt serta 200 volt untuk kebutuhan daya pada mesin–mesin didalam perusahaan. Sedangkan unruk *suplay* daya yang ditunjukkan pada masyarakat dari 20 KV akan diturunkan menjadi 380 volt dan 220 volt untuk distribusi masyarakat. PT APF memiliki GI 150/20 KV dengan menggunakan 3 unit transformator berkapasitas 40 MVA, 35 MVA serta 30 MVA telah dipasang sejak tahun 1984 dan telah beroperasi selama hampir 39 tahun secara terus menerus dengan beban puncak 70 % serta bekerja dalam kurung waktu 24 jam non stop [2].

Permasalahan yang terjadi pada trafo salah satunya adalah tegangan lebih. Hal ini dikarenakan peralatan tersebut digunakan secara terus menerus dalam rentan waktu yang lama. Hal ini dapat menyebabkan penurunan tahanan isolasi dan dapat menimbulkan terjadinya gangguan pada transformator [3]. Sebab yang lain adalah terjadi beberapa masalah antara lain kelembaban, suhu yang tinggi penyebab kerusakan mekanis yang mengakibatkan terhentinya aliran listrik ke konsumen. Sebab itu diperlukan evaluasi pengujian atau perawatan perlu dilakukan dalam skala rutin agar trafo dapat beroperasi sesuai masa pemakaian maksimalnya. Evaluasi Uji kelayakan dan analisis dikerjakan untuk mengetahui suatu kualitas isolasi pada trafo tenaga. Untuk evaluasi, pengecekan serta pengukuran pada tahanan isolasi pada GI 150/20 KV PT APF dilakukan pada saat transformator dalam kondisi tidak beroperasi atau padam, jadwal perbaikan pada transformator ditentukan oleh pihak PLN berdasarkan jadwal perusahaan dalam kondisi shutdown atau tidak beroperasi, dalam beberapa tahun belakang untuk jadwal perbaikan itu dilakukan setiap kurung waktu setahun sekali dan dilakukan pada saat perusahaan shutdown seperti libur di hari raya lebaran, hal ini memungkinkan untuk dilakukan pengecekan, pengukuran serta perbaikan pada transformator.

Mutu pada isolasi trafo tenaga ditentukan dari hasil ukur suatu tahanan isolasi, hasil ukur faktor rugi–rugi di bagian elektrik dan hasil ukur permukaan persial dimana akan didapatkan nilai indeks polarisasi dengan mengacu pada standar IEEE 43-200 maka dapat menentukan kualitas suatu isolasi, sedangkan pada pengukuran nilai Tangen Delta berdasarkan standar ANSI C 57.12.90.

Pengetesan tahanan isolasi bisa dilakukan dengan menggunakan beberapa metode seperti Indeks Polarisasi (IP), Tangen Delta, *Dissolve Gas Analysis* (DGA) serta *Break Down Voltage* (BDV). Suatu nilai pada pengujian tahanan isolasi dapat dipengaruhi oleh suhu, kelembapan, dan jalur bocor atau bisa juga kotoran yang terdapat pada bushing atau isolatiasi maka dari itu pada penelitian ini dipilih metode pengetesan Indeks Polarisasi serta Tangen Delta, hal ini dikarenakan kedua metode ini lebih lengkap serta hasilnya lebih akurat dibandingkan cara lain karna menggunakan satu pengetesan untuk menganalisis sebuah data. Untuk pengetesan Indeks Polarisasi bertujuan supaya mengetahui dan memastikan peralatan masih layak atau tidak dalam pengoperasiannya. Pengetesan ini membedakan hasil uji tahanan pengecekan tegangan selama 10 menit pertama. Sedangkan pada tahap kedua pengetesan Tangen Delta, bertujuan dengan adanya pengetesan ini ialah untuk pengukuran arus bocor kapasitif pada transformator. Semakin buruknya kualitas isolasi dapat diamati saat pengukuran Tangen Delta yang nilainya relatif besar yaitu $\geq 1,0 \%$.

Penelitian ini sebelumnya adalah pengembangan dari sebuah penelitian yang pernah dibuat dengan judul “ANALISIS UJI KELAYAKAN TAHANAN ISOLASI TRAF0 30 MVA DENGAN METODE INDEKS POLARISASI DAN TANGEN DELTA DI GI PT APF” [7], disini beliau membahas tentang uji kelayakan tahanan isolasi pada dua unit transformator dengan kapasitas yang sama yaitu 30 MVA GI PT APF, membandingkan data tahanan pada pengukuran tahanan isolasi kedua transformator dengan menggunakan metode Indeks Polarisasi dan Tangen Delta serta melakukan perhitungan pada metode Tangen Delta saja, akan tetapi setelah saya melakukan *observasi* langsung, sejak 40 tahun lalu awal dibangunnya GI 150/20 KV PT. APF sampai sekarang tidak memiliki trafo yang berkapasitas sama yaitu 30 MVA. Maka itu disini saya mengembangkan hal tersebut dengan melakukan uji kelayakan tahanan isolasi dengan metode Indeks Polarisasi dan Tangen Delta pada semua trafo di GI 150/20 KV PT APF yang memiliki tiga unit transformator dengan masing-masing kapasitasnya 30-40 MVA. Menjelaskan tentang spesifikasi pada ketiga trafo, melakukan pengukuran dari ketiga trafo pada data pengukuran yang diperoleh serta melakukan perhitungan

sesuai dengan rumus pengukuran tahanan isolasi dengan menggunakan metode Indeks Polarisasi dan Tangen Delta. Dari nilai hasil yang didapat pada pengukuran serta perhitungan tahanan isolasi, maka dilakukan perbandingan nilai pada data pengukuran serta data perhitungan dengan mengacu pada suatu standarisasi yang ada. Hal ini bertujuan untuk mengetahui bahwa suatu transformator memiliki tahanan isolasi yang kualitasnya baik atau tahanan isolasi yang buruk serta diperlukan *observasi* lanjutan atau perbaikan.

1.2 Perumusan Masalah

Menurut latar belakang yang telah di bahas, maka bisa diambil perumusan masalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui kondisi terkini dari trafo tenaga 30-40 MVA Gardu Induk 150 KV di PT. APF telah beroperasi selama hampir 40 tahun bekerja secara terus menerus 24 jam dengan beban puncak 70%.
- b. Bagaimana mengetahui kelayakan trafo tenaga 30-40 MVA di PT. APF saat di uji dengan menggunakan Indeks Polarisasi dan Tangen Delta.

1.3 Pembatasan Masalah

Penelitian batasan masalah sebagai berikut :

- a. Tempat penelitian yang di pakai adalah PT. APF yang berlokasi di Jalan Raya Kaliwungi KM. 19, Kendal, Jawa Tengah.
- b. Penelitian ini hanya membahas mengenai pengujian tahanan isolasi transformator 30-40 MVA di GI 150/20 kV PT. APF.
- c. Penelitian dilakukan perhitungan sesuai data yang ada dengan rumus pada metode Indeks Polarisasi dan Tangen Delta.
- d. Penelitian tidak dilakukan pengukuran melainkan hanya mengambil data tahanan.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

- a. Memperoleh data valid terkini kelayakan trafo tenaga 40, 35, serta 30 MVA di GI 150 KV PT. APF Kaliwungu, Kendal.

- b. Mengetahui pengujian tahanan isolasi pada transformator daya tenaga 40, 35, serta 30 MVA di GI 150 KV PT. APF Kaliwungu, Kendal.
- c. Menganalisis data hasil pengujian tahanan isolasi dengan data hasil perhitungan.
- d. Memastikan kondisi tahanan isolasi transformator daya dari pengujian yang sudah dilakukan dengan hasil yang baik dan sesuai dengan standar berdasarkan hasil uji Indeks Polarisasi (IP) dan Tangen Delta.

1.5 Keuntungan Penelitian

Keuntungan pada ulasan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Dapat mengetahui pengujian tahanan isolasi pada transformator 30-40 MVA di GI 150 KV PT. APF Kaliwungu, Kendal.
- b. Dapat pemecahan kasus mengenai keadaan trafo tenaga apakah masih dalam keadaan yang siap untuk dioperasikan atau perlu adanya pemeliharaan.
- c. Dapat mengevaluasi dari hasil perbandingan antara data hasil pengujian tahanan isolasi dengan data hasil perhitungan.
- d. Dari pengujian serta evaluasi yang dilaksanakan, dapat mengetahui tentang usia trafo yang mempengaruhi suatu nilai tahanan isolasi, maka dari itu bisa menyarankan kepada pihak Gardu Induk 150 KV PT. APF mengenai kondisi isolasinya.

1.6 Sistematika Penulisan

Memberikan gambaran secara garis besar, dalam hal ini dijelaskan isi dari masing-masing bab dari laporan ini. Sistematika penulisan dalam pembuatan laporan ini adalah sebagai berikut :

BAB 1

PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan penelitian, manfaat dan tujuan penelitian, keaslian penelitian, sistematis penulisan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA & DASAR TEORI

Berisi tentang materi hasil – hasil penelitian sesuai topik yang dibuat dengan mengadaptasi laporan – laporan, report jurnal, proseding, makalah atau referensi lain. Serta menuliskan kelebihan serta kekurangan di masing – masingnya.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi tentang model penelitian, alat bahan yang digunakan bisa menggunakan software/hardware sebagai media pendukung, memberikan prosedur penelitian, melakukan simulasi/eksperimen serta mendapatkan hasil dari suatu penelitian yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab yang berisi tentang data tahanan isolasi, Indeks Polarisasi tahun 2021, nilai Tangen Delta pada tahun 2021 di trafo 1 dan trafo 2 di PT APF, perhitungan nilai Indeks Polarisasi, perhitungan nilai Tangen Delta, dan penentuan kelayakan tahanan isolasi pada trafo.

BAB V PENUTUP

Bab yang mendeskripsikan penyelesaian Tugas Akhir, dapat dibuat pertimbangan dan rekomendasi berdasarkan temuan data penelitian dan analisis yang dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian terdahulu tentang Analisis uji kelayakan tahanan isolasi Transformator Daya GI 150/20 KV telah dilakukan oleh para peneliti, antara lain :

- a. Analisis pengujian tahanan isolasi dan rasio pada trafo PS T15 PT Indonesia Power Up MRICA [5]. Hasil penelitian tahanan isolasi dan rasio pada trafo pemakaian sendiri dimana tahanan isolasi pada transformator PS T15 ada dalam keadaan tidak baik dan baik karena LV-G dan HV-LV nilainya diantara 1-1,1 HV-G dan HV LV-G nilainya $>1,25$, sementara hasil pengujian rasio pada transformator PS T15 tidak sesuai dengan standar yang ada (ANSI Standar C57.12.90) dengan hasil $>0,5$ %, fasa U 6,39, fasa V 6,91, W 6,91.
- b. Analisis uji kelayakan tahanan isolasi trafo 30 MVA di GI 150/20 KV PT APF dengan menggunakan Indeks Polarisasi dan Tangen Delta [7]. Pengujian tahanan isolasi pada kedua trafo dengan kapasitas yang sama yaitu 30 MVA, hasil pengujian (IP) bernilai 1, 102 dan 1, 924 sesuai standar IEEE 43-2000 sedangkan untuk tangen delta dalam keadaan buruk karena nilainya 1,0 % yang tidak sesuai dengan standarisasi.
- c. Analisis hasil uji tahanan isolasi transformator berdasarkan uji polarisasi, delta tangen, rasio tegangan, BDV (*Break Down Voltage*) atau disebut dengan tegangan tembus [8]. Hasil penelitian merupakan hasil penelitian yang dilakukan pada stasiun Wonosari yang menunjukkan bahwa nilai indeks polarisasi mengalami penurunan di tingkat ground – baseline sebesar 0,95. Hasil stress test menunjukkan kondisi masih baik dengan nilai rata-rata dibawah 0,5 %. Pengujian nilai tangen delta menunjukkan penurunan pada mode GST (*Grounded Speciment Test*) sebesar 0,83–1,65 %. Hasil pengujian stasiun Sragen menunjukkan bahwa nilai indeks polarisasi masih sangat baik, nilai rata – rata diatas 1,1 – 1,25. Hasil stress ratio test menunjukkan kondisi masih baik dengan nilai rata – rata dibawah 0,5 %. Pengujian nilai tangen delta

menunjukkan penurunan nilai tangen delta negatif pada mode UST (*Unit Station Transformer*) yaitu -0,12 %, dan terdapat sedikit penurunan pada mode CL sebesar 0,55 %.

- d. Evaluasi dan perbaikan tahanan isolasi transformator 60 MVA/150/20 KV Cimanggis [9]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa uji kelayakan nilai tahanan isolasi $0 \text{ M}\Omega$ dan nilai pengujian tan delta paling tinggi adalah 0,2931 %. Nilai tahanan isolasi $0 \text{ M}\Omega$ mengindikasikan adanya short circuit hubung singkat didalam trafo yang disebabkan karena kelembaban didalam trafo yang cukup tinggi ditandai dengan nilai water content 14 ppm.
- e. Analisis tahanan isolasi pada trafo di stasiun Wonogiri dari hasil pengujian ini terdiri dari perhitungan nilai indeks polarisasi yang diperoleh diatas 1,1–1,25 dalam kondisi baik, dan jika nilai indeks polarisasi dibawah 1,1–1,25, maka diperlukan layanan trafo. Menghitung delta tangen jika nilai delta tangen masih dalam kondisi baik, jika nilai delta tangen diatas 0,5 % maka delta tangen dalam kondisi buruk dan perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut hingga mendapatkan nilai delta tangen dalam kondisi baik.[10].

2.2 Dasar Teori

1. Daya Listrik

Daya listrik mengacu pada tingkat energi listrik yang digunakan, diproduksi, atau ditransfer dalam sistem listrik. Secara umum, daya listrik dihitung dengan mengalikan tegangan listrik (*voltase*) dengan arus listrik yang mengalir melalui sirkuit. Daya listrik dapat dijelaskan dalam beberapa konsep sebagai berikut:

- a. Daya Aktif (*Active Power*): Daya aktif, juga dikenal sebagai daya riil atau daya nyata, diukur dalam watt (W) dan menunjukkan tingkat konsumsi atau produksi energi listrik yang benar-benar melakukan kerja. Daya aktif menghasilkan kerja yang berguna seperti menggerakkan peralatan listrik, menghasilkan cahaya, atau menggerakkan mesin. Misalnya, daya aktif digunakan untuk mengukur daya yang dikonsumsi oleh lampu, motor, atau peralatan elektronik.

- b. Daya Reaktif (*Reactive Power*): Daya reaktif diukur dalam volt-ampere reaktif (VAR) dan muncul dalam sirkuit yang memiliki komponen induktif atau kapasitif, seperti transformator, motor induksi, atau kapasitor. Daya reaktif terkait dengan penyimpanan dan pelepasan energi magnetik atau elektrik pada siklus AC. Meskipun daya reaktif tidak melakukan kerja yang berguna secara langsung, itu diperlukan dalam sistem listrik untuk menjaga aliran energi yang seimbang dan kualitas tegangan yang baik.
- c. Daya Semu (Apparent Power): Daya semu diukur dalam volt-ampere (VA) dan merupakan jumlah total daya yang dikonsumsi oleh suatu sistem. Ini mencakup daya aktif dan daya reaktif dalam sistem AC. Daya semu merupakan hasil dari kombinasi tegangan dan arus listrik yang mengalir dalam sirkuit AC dan dapat dilihat sebagai hasil dari vektor tegangan dan arus.

Melalui penjelesan dari teori-teori yang membahas mengenai daya listrik didapatkan beberapa rumus pada segitiga daya dari masing-masing daya listrik yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Gambar Rumus Segitiga Daya

2. Energi Listrik

Energi listrik merujuk pada bentuk energi yang terkait dengan arus listrik. Ini adalah energi yang dihasilkan, disimpan, atau dikonsumsi oleh aliran elektron melalui penghantar listrik dalam suatu sistem. Energi listrik dapat dihasilkan dari berbagai sumber, seperti pembangkit listrik tenaga fosil (seperti pembangkit listrik

tenaga batu bara, gas, atau minyak), pembangkit listrik tenaga air, pembangkit listrik tenaga nuklir, serta sumber energi terbarukan seperti tenaga matahari, tenaga angin, atau tenaga air terjun. Energi listrik juga dapat disimpan dalam baterai atau elemen penyimpanan energi lainnya. Ketika arus listrik mengalir melalui suatu sirkuit atau peralatan listrik, energi listrik digunakan untuk melakukan pekerjaan yang beragam. Contoh penggunaan energi listrik meliputi penerangan, pemanasan, pendinginan, penggerak mesin dan motor, pengisian perangkat elektronik, serta berbagai aplikasi industri dan komersial.

Satuan dasar untuk mengukur energi listrik adalah joule (J), tetapi dalam konteks praktis, satuan kilowatt-jam (kWh) lebih sering digunakan. Kilowatt-jam menggambarkan energi yang dikonsumsi saat daya listrik sebesar satu kilowatt digunakan selama satu jam. Satuan lain yang digunakan adalah megawatt-jam (MWh) dan gigawatt-jam (GWh) untuk menggambarkan jumlah energi yang lebih besar. Energi listrik memiliki peran penting dalam kehidupan sehari-hari dan merupakan sumber daya vital dalam berbagai sektor, termasuk rumah tangga, komersial, industri, dan transportasi. Penggunaan yang efisien dan berkelanjutan dari energi listrik menjadi penting untuk mengurangi dampak lingkungan, meningkatkan efisiensi, dan memastikan ketersediaan energi yang handal dan berkelanjutan di masa depan.

3. Tegangan Listrik

Tegangan, dalam konteks listrik, mengacu pada perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam sebuah rangkaian atau sistem listrik. Tegangan dibedakan menjadi dua yaitu tegangan listrik bolak-balik (AC) dan tegangan listrik searah (DC). Tegangan diukur dalam satuan volt (V) dan merupakan ukuran energi listrik per satuan muatan listrik. Secara umum, tegangan menunjukkan kekuatan medan listrik yang mendorong muatan listrik untuk bergerak dalam rangkaian. Semakin tinggi tegangan, semakin besar energi yang dibawa oleh muatan listrik dan semakin besar potensi untuk melakukan kerja dalam sistem.

Tegangan dalam listrik dapat digambarkan sebagai perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian. Salah satu titik biasanya dihubungkan dengan kutub positif sumber tegangan (misalnya, baterai atau pembangkit listrik), dan titik

lainnya terhubung dengan kutub negatifnya. Tegangan dapat menyebabkan aliran arus listrik melalui konduktor atau komponen dalam rangkaian. Tegangan listrik memiliki klasifikasi yang berbeda-beda sesuai kapasitasnya, berikut macam-macam tegangan listrik sesuai klasifikasinya:

- a. Tegangan Sangat Rendah, tegangan berkisar sampai 50 V. Tegangan Rendah (*Low Voltage = LV*), tegangan rendah berkisar antara 50 volt – 1000 volt (1 KV). Jenis kabel yang digunakan juga harus mampu digunakan pada tegangan 50 volt-1000 volt (1 KV).
- b. Tegangan Menengah (*Medium Voltage= MV*), tegangan menengah/MV berkisar 1000 Volt (1 KV) – 36.000 Volt (36 KV). Jenis kabel yang digunakan juga harus mampu digunakan pada tegangan 1 KV – 36 KV.
- c. Tegangan Tinggi (*High Voltage =HV*), Tegangan Tinggi (*High Voltage*) berkisar 36 KV–150.000 Volt (150 KV). Jenis kabel yang digunakan juga harus mampu digunakan pada tegangan diatas 36 KV–150 KV.
- d. Tegangan Ekstra Tinggi (*High Extra Voltage =HEV*), tegangan berkisar antara diatas 150 KV–750 KV. Jenis kabel yang digunakan juga harus mampu digunakan pada tegangan diatas 150 KV–750 KV.
- e. Tegangan Ultra Tinggi (*High Ultra Voltage =HUV*), Tegangan Ultra Tinggi (*High Voltage*) berkisar diatas 750 KV. Jenis kabel yang digunakan juga harus mampu digunakan pada tegangan diatas 750 KV.

4. Arus Listrik

Arus listrik mengacu pada aliran muatan listrik melalui penghantar listrik dalam suatu rangkaian atau sistem listrik. Arus listrik terjadi ketika muatan listrik (biasanya elektron) bergerak dari satu titik ke titik lain dalam suatu penghantar listrik, seperti kawat tembaga atau logam lainnya. Arus listrik memiliki dua kategori yaitu arus bolak-balik (AC) dan searah (DC) yang diukur dalam satuan ampere (A), yang menggambarkan jumlah muatan listrik yang melewati suatu titik dalam penghantar setiap detik. Satu ampere setara dengan satu coulomb muatan listrik yang melewati suatu titik dalam penghantar dalam waktu satu detik.

Arus listrik dapat dilihat sebagai aliran muatan listrik yang disebabkan oleh perbedaan potensial atau tegangan dalam rangkaian. Ketika tegangan diterapkan

pada ujung penghantar listrik, muatan listrik akan bergerak dari potensial yang lebih tinggi ke potensial yang lebih rendah, menciptakan aliran arus.

Arus listrik memiliki peran penting dalam sistem listrik. Arus listrik digunakan untuk memberikan daya pada peralatan listrik, menggerakkan motor dan mesin, mentransfer energi listrik, dan melakukan berbagai tugas dalam rangkaian elektronik. Pengukuran dan kontrol arus listrik juga penting dalam menjaga keselamatan dan keandalan operasi sistem listrik. Nilai arus listrik dapat bervariasi tergantung pada tegangan yang diterapkan, resistansi penghantar, dan karakteristik sirkuit lainnya. Penting untuk memahami dan mengatur arus listrik dengan tepat untuk memastikan kinerja yang baik dan mencegah bahaya listrik seperti kebakaran, kejutan listrik, atau kerusakan peralatan.

5. Sin θ , Cos θ & Tan θ

Dalam kelistrikan, sin (sinus), cos (kosinus), dan tan (tanjent) juga digunakan dalam beberapa perhitungan dan analisis. Namun, dalam konteks kelistrikan, fungsi trigonometri ini sering digunakan dalam hubungannya dengan sudut fase (θ) dan faktor daya.

- a. Sinus (sin θ): Dalam kelistrikan, sinus dari sudut fase (sin θ) digunakan untuk menggambarkan perbedaan antara tegangan dan arus dalam rangkaian AC. Sinus dari sudut fase (θ) memberikan informasi tentang komponen reaktif dalam rangkaian, seperti yang diukur dalam pengukuran tahanan isolasi dengan metode Tangen Delta. Sinus dari sudut fase juga terkait dengan impedansi dan perpindahan fase dalam sirkuit AC.
- b. Kosinus (cos θ): Dalam kelistrikan, kosinus dari sudut fase (cos θ) sering digunakan untuk menggambarkan faktor daya (power factor) dalam rangkaian AC. Faktor daya (PF) adalah perbandingan antara daya aktif (P) dengan daya semu (S) dalam sirkuit AC. Nilai kosinus dari sudut fase (θ) atau cos ϕ (Cos Phi) digunakan untuk menghitung faktor daya dengan rumus $PF = \cos \theta = P / S$. Faktor daya yang baik adalah ketika nilai cos θ mendekati atau sama dengan 1, yang menunjukkan penggunaan daya yang efisien dalam sistem.
- c. Tangen (tan θ): Dalam kelistrikan, tangen dari sudut fase (tan θ) digunakan dalam analisis rangkaian untuk menggambarkan karakteristik impedansi dan

perpindahan fase. Tangen dari sudut fase terkait dengan perbandingan antara komponen reaktif (induktif atau kapasitif) dan komponen resistif dalam sirkuit AC.

Dalam kelistrikan, \sin , \cos , dan \tan serta nilai $\cos \theta$ (cosinus θ) memiliki peran penting dalam analisis, perhitungan daya, perencanaan sistem, dan pemecahan masalah. Mereka membantu memahami hubungan antara tegangan, arus, fase, impedansi, faktor daya, dan komponen-komponen listrik lainnya dalam rangkaian AC.

2.3 Gardu Induk

Gardu induk adalah tautan listrik yang terdiri dari struktur dan mesin listrik lainnya. Panduan operasi dan pemeliharaan berbasis PT. Gardu Induk Pusdiklat PLN berfungsi sebagai penghubung antara sistem tenaga listrik, yang terdiri dari berbagai perangkat listrik yang terpasang di satu lokasi, perangkat untuk menerima dan mentransmisikan energi tertentu, perangkat yang naik atau turun sesuai dengan level tegangan operasi, dan operasi switching dalam sistem tenaga listrik yang meningkat pasokan daya, sambungan sistem kelistrikan. Gardu Induk (GI) adalah sekelompok peralatan listrik tegangan tinggi yang mendistribusikan dan mengatur daya menggunakan unit transmisi utama (MTU). Trafo daya, trafo arus, trafo tegangan, rangkaian sirkuit, separator, dan arester adalah bahan transmisi primer (LA), Gardu Induk memiliki fungsi diantara lain :

- a. Pengaturan aliran tenaga listrik dari satu sistem transmisi ke sistem transmisi lainnya, yang kemudian disalurkan kepada konsumen.
- b. Sebagai tempat untuk mengontrol berbagai perangkat kelistrikan.
- c. Sebagai pelindung operasi sistem tenaga listrik.
- d. Sebagai tempat untuk menurunkan tegangan dari transmisi ke distribusi untuk konsumen.

Oleh karena itu, dari kelebihan dan kekurangan gardu induk tersebut, peralatan gardu induk harus memiliki sistem keandalan yang baik atau kualitasnya baik serta prima, sehingga dapat dikatakan harus beroperasi secara optimal agar tidak ditemui masalah pada kinerja trafo.

2.4 Trafo Daya

Trafo merupakan sebuah alat magnetoelektrik yang sederhana, andal, dan efisien yang berfungsi merubah tegangan arus bolak-balik dari suatu tingkat ke tingkat yang lainnya. Pada umumnya, suatu transformator terdiri dari sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah belitan, yaitu belitan primer dan belitan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan bergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua buah belitan tersebut, dengan kata lain tegangan berbanding lurus dengan belitan. Semakin tinggi nilai tegangan maka semakin banyak belitannya. Pada trafo yang ideal menerapkan perbandingan seperti pada persamaan (2.1).

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_p}{I_s} \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan : V_p = Tegangan di sisi Primer

V_s = Tegangan di sisi Sekunder

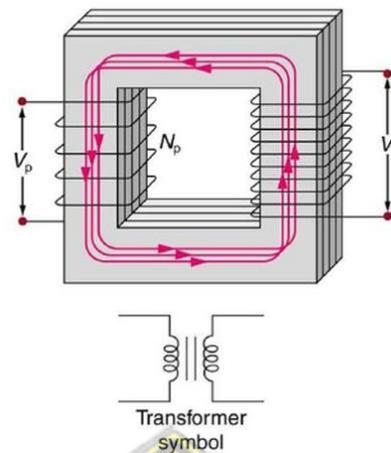
N_p = Banyak belitan di sisi Primer

N_s = Banyak belitan di sisi Sekunder

I_p = Arus Primer

I_s = Arus Sekunder

Transformator secara luas dapat dikategorikan menjadi dua jenis berdasarkan komponen strukturalnya: tipe inti besi dan yang disebut tipe cangkang. Setiap kaki memiliki dua kaki dalam tipe inti besi, dan setiap kaki dililitkan menjadi gulungan. Tipe inti, berdasarkan fungsinya, digunakan pada transformator dengan kemampuan daya yang besar. Model ini memiliki keuntungan menggunakan insulin kawat rendah, dan tipe ini juga lebih hemat biaya untuk dioperasikan. Kerugian tipe ini dibandingkan tipe shell adalah kebocoran fluks yang sangat besar. Kaki tengah dari jenis cangkang berkaki tiga ini dibungkus dengan gulungan primer dan sekunder. Jenis ini biasanya sesuai untuk transformator dengan kemampuan daya yang lebih rendah. Jenis ini memiliki keuntungan karena mudah dibuat dan memiliki fluks bocor yang rendah, tetapi juga memiliki kelemahan yaitu membutuhkan inti besi yang besar, membuat penggunaan inti besi menjadi tidak ekonomis. [6], dan Gambar 2.2 yang mengilustrasikan terkait hal ini.



Gambar 2. 2 Gambar Transformator

Gambar 2.2 menunjukkan dua buah belitan yang dihubungkan secara magnetik melalui inti. Belitan-belitan pada transformator tidak tersambung secara benar. Inti besi disebut bantalan. Penggunaan trafo yang sederhana dan handal menjadi alasan utama mengapa arus bolak-balik paling sering digunakan untuk kegiatan pembangkit listrik dan distribusi..

Pada PT. APF memiliki 3 unit transformator yang memiliki masing-masing dari kapasitasnya yaitu transformator 30-40 MVA. Bentuk fisik transformator ditunjukkan seperti pada Gambar 2. 3 sampai dengan Gambar 2. 5.



Gambar 2. 3 Gambar Fisik Transformator 30 MVA



Gambar 2. 4 Gambar Fisik Transformator 35 MVA



Gambar 2. 5 Gambar Fisik Transformator 40 MVA

Prinsip kerja dari transformator ketika sumber tegangan dihubungkan ke belitan primer maka akan mengalir arus AC pada belitan primer. Tegangan yang mengalir pada lilitan primer menimbulkan medan magnet yang berubah pada intinya. Karena pembangkitan dan perubahan medan magnet, itu menghasilkan gaya gerak listrik yang diinduksi (GGL) di sisi primer.

Disuatu sistem tenaga listrik, pengelompokkan transformator dibagi menjadi 3 macam.

1. Transformator Daya

Jenis Transformator ini yang sering digunakan di Gardu Induk baik itu Gardu Induk pembangkit dan Gardu Induk distribusi, trafo ini memiliki daya tampung yang sangat besar. Fungsinya untuk mengaliri daya listrik dari tegangan yang rendah ke tinggi (sistem transmisi) atau dari tegangan tinggi ke tegangan yang rendah (sistem distribusi).

a. Sistem Transmisi

Transformator (trafo) adalah perangkat listrik yang digunakan untuk mengubah tegangan listrik dari satu tingkat ke tingkat yang lain dalam sistem transmisi tenaga listrik. Fungsi utamanya adalah mentransmisikan daya listrik dengan efisiensi yang tinggi melalui jarak yang panjang dengan minimal kerugian daya.

Transformator memungkinkan penggunaan tegangan tinggi (HV) dalam tahap transmisi energi listrik. Tegangan yang lebih tinggi menghasilkan arus yang lebih kecil (sesuai dengan hukum Ohm), didapatkan arus yang tinggi jika pada sistem transmisi tidak berikan trafo untuk menaikkan tegangan hal tersebut bisa dibuktikan melalui perhitungan arus sebagai berikut: ($P = V \times I \times \cos \theta \times \sqrt{3}$), sehingga didapatkan nilai rugi daya yang besar nilainya dengan dipengaruhi nilai arus yang tinggi serta nilai resistansi kawat penghantar. Nilai rugi-rugi daya dapat di ketahui melalui perhitungan dengan rumus ($\text{Rugi Daya} = 3I^2 \times R$), jadi perlu dilakukan peninggakan tegangan agar didapatkan arus yang kecil serta mempengaruhi nilai rugi daya yang hilang saat proses pengiriman daya dengan jarak yang jauh.

b. Sistem Distribusi

Transformator dalam sistem distribusi adalah perangkat listrik yang mengubah tegangan listrik dari tingkat yang satu ke tingkat yang lain untuk mengoptimalkan

efisiensi dan keandalan transfer daya. Pada titik-titik tertentu dalam jaringan distribusi, tegangan perlu diubah agar sesuai dengan kebutuhan konsumen. Beberapa fungsi trafo dalam sistem distribusi:

- Penyesuaian Tegangan: Transformator digunakan untuk menyesuaikan tegangan listrik agar sesuai dengan kebutuhan konsumen. Tegangan yang lebih tinggi pada tahap transmisi dikurangi ke tingkat yang lebih rendah untuk distribusi lokal dan konsumsi.
- Distribusi Daya: Transformator step-down di sub-stasiun distribusi mengurangi tegangan dari tingkat transmisi ke tingkat distribusi lokal, yang sesuai dengan kebutuhan konsumen di area tersebut.
- Penurunan Arus: Transformator memungkinkan pengurangan arus listrik saat tegangan diturunkan. Ini mengurangi kerugian daya akibat resistansi kawat pada jarak pendek dari sub-stasiun ke konsumen.
- Isolasi dan Pemisahan: Transformator berfungsi sebagai isolasi elektrik antara sistem distribusi dan jaringan transmisi, serta antara berbagai konsumen. Ini melindungi peralatan dan konsumen dari risiko kejutan listrik dan gangguan listrik.
- Peningkatan Kualitas Daya: Dengan mengubah tegangan dan arus, transformator dapat membantu dalam menjaga kualitas daya listrik, seperti tegangan yang stabil dan faktor daya yang baik.

2. Transformator Tegangan

Transformator tegangan adalah sebuah transformator yang dipergunakan untuk mengubah sistem tegangan yang lebih tinggi ke suatu sistem tegangan yang lebih rendah biasanya digunakan pada pengukuran agar lebih aman, akurat dan teliti.

3. Transformator Arus

Transformator Arus adalah sebuah transformator yang dipergunakan untuk mengukur arus yang besarnya ratusan atau ribuan ampere lebih yang mengalir pada suatu jaringan tegangan tinggi, transformator digunakan unruk sebagai alat ukur yang melindungi relai pada gardu induk, transformator arus mempunyai keunggulan pengukuran yang aman digunakan untuk pengukuran jumlah arus yang sangat besar dan juga tegangan tinggi.

2.4.1 Bagian – Bagian Transformator

1. Inti Besi

Gulungan penghubung yang dapat digunakan untuk membawa fluks magnet adalah inti besi. Operasi normal membutuhkan kandungan silikon yang tinggi, penstabilitas tinggi, dan kerugian histeresis minimal pada besi yang digunakan dalam inti transformator. Fluks magnet yang diciptakan oleh arus yang melewati belitan dapat dibantu oleh inti besi. Hal tersebut sering dibangun dari sepotong besi tipis yang telah diisolasi untuk mengurangi panas yang dihasilkan oleh arus eddy, seperti kehilangan besi. Biasanya ada dua jenis inti yang digunakan di dalam transformator, dan instalasi kumparan utama dan sekunder menentukan jenis inti yang digunakan. Jenis inti dan jenis cangkang adalah dua jenis inti besi. Contoh lempengan inti besi yang berada di trafo daya ditunjukkan pada Gambar 2.6.

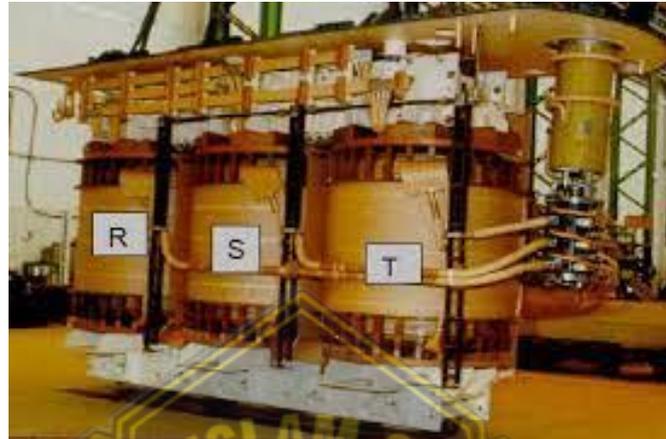


Gambar 2. 6 Gambar Inti Besi Trafo

2. Belitan Trafo

Pada trafo terdapat sebuah lilitan yang biasanya dililitkan pada inti besi. Belitan pada trafo adalah kawat yang dialiri oleh arus pada belitan primer maupun belitan sekunder yang dililitkan dibagian inti besi. Biasanya kumparan pada transformator disekat atau dibatasi menggunakan bahan isolasi padat seperti karton, pertinax dan untuk membatasi kawat yang tidak beraturan. Umumnya, trafo mempunyai 2 belitan yaitu belitan primer dan belitan sekunder. Jika belitan primer dihubungkan dengan sumber tegangan atau arus bolak-balik maka pada bagian belitan primer akan menghasilkan *fluks* (garis gaya) magnet, *fluks* (garis gaya) magnet ini akan menginduksi tegangan, ketika belitan sekunder disambungkan dengan beban maka menghasilkan arus pada belitan tersebut. Karena itu, belitan trafo adalah alat untuk mengubah arus dan tegangan. Banyak belitan pada trafo dibagian primer dan

sekunder itu menentukan apakah transformator digunakan untuk *step up* (penaik) tegangan atau *step down* (penurun) tegangan. Contoh tatanan pada kumparan trafo ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Gambar Tahanan Belitan dari Trafo

3. Minyak Trafo

Minyak trafo berfungsi yaitu sebagai bahan isolasi dan juga untuk pendingin dalam trafo. Bahan isolasi, minyak akan mengalir ke bagian antara belitan primer dan belitan sekunder agar tidak menyebabkan terjadinya tegangan tembus atau (*breakdown voltage*) antara kumparan tersebut. Oli trafo bekerja dengan baik sebagai pendingin karena dapat secara efektif menghilangkan panas dari kumparan. Minyak *Shel Dialla B* adalah salah satu yang paling sering digunakan di Indonesia, Kebutuhan minyak trafo harus dipenuhi sesuai dengan hal-hal berikut karena karakteristik minyak trafo sebagai transmisi panas (bersirkulasi) dan bertindak sebagai isolator (memiliki tegangan tembus tinggi):

- a. Sebagai penyalur panas yang baik, memiliki massa jenis yang kecil, sehingga partikel minyak mengendap dengan cepat.
- b. Viskositas yang rendah, sehingga lebih mudah berganti, dan fungsi pendingin yang menjadi lebih baik.
- c. Bahan isolasi padat dan bersifat kimianya harus stabil supaya tidak mudah rusak.

4. Tangki Konservator

Tangki konservator digunakan sebagai tempat untuk menampung minyak transformator pada saat terjadinya pemuaiannya didalam transformator, dalam kondisi tertentu minyak pada transformator memuai oleh suhu panas akibat temperatur yang tinggi. Hasil pemuaiannya minyak disimpan dalam tempat yang disebut tangki konservator. Ketika terjadi suhu naik pada saat trafo bekerja atau beroperasi maka volume bertambah sehingga minyak isolasi akan memuai dan akan naik ke permukaan transformator. Sebaliknya apabila terjadi penurunan suhu didalam transformator maka kondisi dari minyak akan menyusut dan mengakibatkan volume minyak didalam transformator akan menurun. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Gambar Tangki Konservator

5. Bushing

Pada Gambar 2.9 menjelaskan bushing merujuk pada hubungan antara kumparan transformator dan jaringan luar melalui konduktor yang dibungkus dengan isolator yang berfungsi sebagai isolator antara konduktor dan tangki transformator.



Gambar 2. 9 Gambar Bushing Transformator

2.4.2 Isolator

Bahan yang bertindak sebagai isolator tidak menghantarkan listrik. Selain itu, isolator berfungsi sebagai penghalang antara konduktor aktif dan komponen lain selain berfungsi sebagai penyangga konduktor. Karena konduktivitasnya yang lemah, dapat disebut sebagai isolator karena tidak banyak muatan elektron bebas yang ada dalam konduktornya (listrik atau panas). Pembahasan tentang isolator dikenal dengan metode isolasi termal. Isolasi termal adalah metode ataupun proses digunakan agar memperkecil perpindahan panas, bisa juga untuk mencegah perbedaan suhu supaya tidak terjadi losses. Model ini memiliki beberapa pertimbangan ciri khas dan tebal material yang dipergunakan. Selain itu, tebal tidaknya isolasi juga mempengaruhi terhadap isolasi itu sendiri. Isolasi yang gagal saat beroperasi bisa berdampak keburukan pada suatu peralatan, maka dari itu berdampak pada kelanjutan sistem yang akan tersendat.

Flashover dan pelepasan portal adalah dua istilah yang sering digunakan dalam pengujian. Peristiwa pelepasan percikan listrik yang dikenal sebagai pelepasan sebagai terjadi pada bahan isolasi padat. Peristiwa yang memungkinkan pembentukan rongga isolasi yang berdekatan dengan elektroda, rongga antara elektroda, titik elektroda dengan bentuk saluran, atau rongga isolasi dengan bentuk saluran memiliki bahan yang sering digunakan pada isolator gas, isolator padat dan isolator cair.

a. Isolator Padat

Jenis isolator ini biasanya digunakan dengan kabel tegangan tinggi. Isolator padat lebih tahan dari pada isolator gas, tetapi lebih sulit untuk dikembalikan ke keadaan awal setelah kegagalan. Mereka termasuk jenis PVC, keramik dan kertas.

b. Isolator Gas

Isolator Gas memiliki manfaat yaitu pemisah antara unit yang memiliki beda tegangan supaya antara bagian tidak terjadi percikan bunga api, selain itu isolator gas dapat dipergunakan untuk pendingin yang sering dipergunakan pada transformator, pemutus tegangan dan lainnya, salah satu contoh penggunaan isolator gas pada minyak trafo.

c. Isolator Cair

Rangkaian tegangan tinggi memiliki (*switching*) waktu buka dan juga tutup, hal ini dapat menyebabkan (*arching*) busur api penyebab (*transient*) tegangan sementara. Busur api harus segera padam, jika tegangan sementara (*transient*) ini dibiarkan dalam jangka waktu yang panjang maka peralatan yang terpasang akan mengalami kerusakan. Disaat tegangan rendah dan busur api tidak terlalu besar maka media udara sudah dapat dipadamkan. Contoh dari isolator gas ini adalah SF₆ (*Sulfurheksafluorida*).

2.4.3 Pengujian Trafo

Pengujian Trafo merupakan prosedur untuk mempelajari lebih lanjut tentang kondisi transformator, evaluasi dan analisis dilakukan berdasarkan data yang dikumpulkan untuk memutuskan apa yang harus dilakukan selanjutnya. Pengujian trafo dilakukan untuk menjaga kondisi trafo dalam kondisi baik dan memastikan dapat berfungsi sebagaimana mestinya, untuk menjaga ketersediaan, ketergantungan dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Sistem isolasi adalah komponen terpenting dari peralatan listrik tegangan tinggi. Transformator menggunakan berbagai bahan insulasi, termasuk insulasi kertas (padat) dan minyak (cair). Karena memiliki dampak yang signifikan pada umur yang pendek pada transformator, isolasi merupakan komponen penting. Ada dua kategori untuk tes ini yaitu pada saat trafo dioperasikan dan pengujian trafo dalam keadaan mati atau padam. Tujuan pengujian transformator pada saat kondisi beroperasi yaitu

bertujuan untuk mengetahui kondisi trafo tanpa perlu memadamkan trafo, tujuan dilakukan ini meliputi :

- a. *Dissolve Gas Analysis (DGA)*: Metode pengujian yang digunakan untuk menganalisis dan mengidentifikasi gas-gas yang terlarut dalam minyak isolasi pada peralatan listrik, terutama transformator daya. Pengujian DGA dapat memberikan informasi penting tentang kondisi operasional transformator dan deteksi dini masalah yang mungkin terjadi pada isolasi transformator. Pengujian DGA adalah alat penting dalam pemantauan kondisi transformator. Dengan menganalisis gas-gas yang terlarut dalam minyak isolasi, pengujian ini dapat membantu dalam mendeteksi dini masalah isolasi, seperti pembusukan termal, gangguan busur, atau kebocoran minyak, yang dapat menyebabkan kerusakan lebih lanjut pada transformator. Dengan demikian, pengujian DGA dapat membantu dalam perencanaan pemeliharaan preventif dan pengambilan tindakan perbaikan yang tepat untuk menjaga keandalan dan umur panjang transformator.
- b. *Thermovisi/Thermal Image*: *Thermovisi* atau gambar termal (*thermal image*) adalah metode pengujian yang menggunakan kamera termal untuk menghasilkan gambar berdasarkan radiasi panas yang dipancarkan oleh objek atau sistem yang sedang diuji. Dalam konteks pengujian transformator, *thermovisi* digunakan untuk memantau suhu transformator dan mengidentifikasi kemungkinan hot spot (titik panas) yang bisa menjadi indikasi masalah atau kegagalan dalam transformator.
- c. *Pengujian Furan*: Pengujian furan dalam transformator merujuk pada proses pengujian kualitas minyak isolasi transformator dengan mengukur kandungan furfural dalam minyak. Furfural adalah produk degradasi yang dihasilkan oleh isolasi kertas dalam transformator saat mengalami penuaan atau kondisi yang tidak normal. Pengujian furan dalam transformator dilakukan untuk mengukur tingkat kandungan furfural dalam minyak isolasi. Tingkat kandungan furfural dapat memberikan indikasi tentang kondisi isolasi kertas dalam transformator. Jika kandungan furfural tinggi, itu bisa menjadi tanda adanya masalah pada isolasi kertas seperti penuaan, degradasi, atau kebocoran minyak. Pengujian

uran secara periodik dapat membantu dalam pemantauan kondisi transformator dan memungkinkan untuk mengambil tindakan perbaikan atau perawatan yang tepat pada waktunya

- d. Pengetesan mutu oli isolasi: Pengetesan mutu oli isolasi transformator merujuk pada serangkaian pengujian yang dilakukan untuk mengevaluasi kualitas dan kondisi minyak isolasi yang digunakan dalam transformator. Minyak isolasi memiliki peran penting dalam menjaga isolasi dan pendinginan dalam transformator, sehingga penting untuk memastikan bahwa minyak tersebut memenuhi standar kualitas yang diperlukan.
- e. Pengetesan *portial discharge*: Pengetesan *partial discharge* (PD) pada transformator merujuk pada proses pengujian yang dilakukan untuk mendeteksi dan memantau adanya *partial discharge* dalam transformator. *Partial discharge* adalah fenomena listrik kecil yang terjadi di dalam isolasi transformator atau sistem daya lainnya. Ini adalah hasil dari kegagalan isolasi sebagian yang dapat mengarah pada degradasi isolasi yang lebih serius jika tidak ditangani dengan tepat. Pada transformator, *partial discharge* dapat terjadi di dalam isolasi kertas, perlekatan kawat, atau dalam ruang udara mikro dalam isolasi.
- f. Pengetesan *corrosive sulfur*: Pengetesan *corrosive sulfur* (CS) pada transformator merujuk pada proses pengujian yang dilakukan untuk mendeteksi keberadaan sulfur yang korosif dalam minyak isolasi transformator. *Corrosive sulfur* dapat terbentuk dalam transformator akibat reaksi antara sulfur yang terdapat dalam isolasi kertas atau bahan lain dengan logam yang ada dalam transformator, seperti tembaga atau baja. Pengujian *corrosive sulfur* pada transformator dilakukan untuk memantau dan mendeteksi keberadaan sulfur yang korosif dalam minyak isolasi. Metode pengujian yang umum digunakan adalah pengujian dengan menggunakan *striptest* (pita pengujian) atau pengujian dengan menggunakan spesimen logam yang terendam dalam minyak isolasi transformator. Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi adanya perubahan warna pada pita pengujian atau terjadinya korosi pada spesimen logam. Perubahan warna atau korosi yang terdeteksi

dapat menunjukkan adanya sulfur yang korosif dalam minyak isolasi transformator.

- g. *Noise* dan *Vibrasi*: Pengujian *noise* (suara) dan *vibrasi* (getaran) pada transformator adalah proses untuk mendeteksi, mengukur, dan menganalisis tingkat kebisingan dan getaran yang dihasilkan oleh transformator selama operasi. Kedua parameter ini dapat memberikan informasi penting tentang kondisi transformator dan mengindikasikan adanya masalah potensial atau kegagalan dalam sistem. Pengujian *noise* dan *vibrasi* pada transformator penting untuk pemeliharaan preventif dan pemantauan kondisi transformator. Dengan melakukan pengujian secara teratur, masalah potensial atau kegagalan dapat diidentifikasi lebih awal, dan tindakan perbaikan atau perawatan yang tepat dapat diambil untuk mencegah kerusakan lebih lanjut. Hal ini membantu dalam menjaga keandalan transformator, mengurangi risiko kegagalan, dan memperpanjang masa pakai transformator.

2.4.4 Perawatan Trafo

Istilah dari “pemeliharaan” mengacu pada serangkaian prosedur atau tindakan yang dapat digunakan untuk menjaga agar peralatan listrik tegangan tinggi tetap berfungsi dengan baik dan untuk mencegah gangguan agar tidak merusaknya. Untuk menjaga kelangsungan pelayanan kelistrikan, maka pemeliharaan juga dapat diartikan sebagai upaya untuk menjaga atau memulihkan peralatan agar dapat berfungsi secara normal dan dengan keandalan yang tinggi. Untuk menjaga serta menjamin kontinuitas dan keandalan dalam pendistribusian tenaga listrik, dibawah ini manfaat dari pemeliharaan peralatan tegangan listrik secara rutin diantara lain :

- a. Memperpanjang masa pakai peralatan.
- b. Untuk meningkatkan keandalan, efisiensi, dan ketersediaan.
- c. Mengurangi adanya resiko kerusakan pada alat.
- d. Meningkatkan keamanan pada peralatan.
- e. Mencegah agar tidak mengalami gangguan pada saat alat atau peralatan dioperasikan.

2.5 Tahanan Isolasi

Tahanan isolasi tergantung pada kondisi peralatan bernilai tahanan terhadap tegangan untuk terhindar dari hubung singkat dan keburukan yang lain. Resistansi yang berkembang antara dua komponen hidup atau komponen tegangan dan ground dikenal sebagai resistansi isolasi. Hambatan antara dua konduktor yang dibatasi oleh bahan isolasi dikenal sebagai isolasi (IEV, 212-11-07). Arus bocor melalui isolasi diukur dengan resistansi isolasi. Temperature dan lama waktu belitan terkena tegangan adalah dua elemen yang dipertimbangkan saat mengukur resistansi.

Untuk menentukan apakah suatu peralatan aman untuk terkena tegangan atau tidak, digunakanlah tahanan isolasi, pada peralatan yang menghubungkan komponen yang menerima tegangan ke bodi yang diarde, resistansi isolasi diukur. Namun, penting untuk diingat bahwa peralatan tidak sedang digunakan atau dihidupkan saat resistansi isolasi diukur (mati). Ada banyak jenis peralatan listrik, termasuk : trafo, kabel, sakelar, motor, dan lain sebagainya semua peralatan ini ditutup dengan isolasi listrik. Untuk menyalakan peralatan listrik, peralatan biasanya terbuat dari tembaga atau aluminium yang dikenal sebagai penghantar arus listrik yang baik, konduktor yang dimaksudkan untuk menahan arus dan membuatnya tetap bergerak di sepanjang konduktor, harus berhadapan dengan lapisan isolasi. Untuk memahami bagaimana resistansi isolasi diukur dengan persamaan langsung khususnya “Hukum Ohm” (2.2).

$$V = I \times R \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan : V : Tegangan (Volt)

I : Kuat Arus (Ampere)

R : Tahanan (Ohm)

Semakin tinggi tegangan, maka akan semakin besar arus yang dihasilkan sementara itu semakin rendah tegangan yang ada, semakin besar arus yang diperoleh pada tegangan yang sama. Tegangan yang lebih tinggi cenderung menghasilkan lebih banyak arus isolasi. Kecilnya arus yang didapat pada lapisan isolasi tidak merusak lapisan yang baik, tetapi menjadi masalah jika lapisan isolasi ini mengalami kerusakan.

Hubungan antara hambatan (*resistance*), arus dan tegangan ditemukan oleh seorang fisikawan bernama George Simon Ohm. Ohm mendapati bahwa nilai arus dipengaruhi oleh tegangan dan hambatan (*resistance*).

Kita telah mengetahui pada dasarnya, isolasi yang baik berarti resistansi yang relatif tinggi terhadap arus. Selain itu hambatan yang besar juga berarti memiliki kemampuan untuk mempertahankan daya tahan yang tinggi, untuk itu kita dapat melakukan pengukuran rutin untuk mengetahui kondisi terbaru pada isolasi.

Kebeneran pada tahanan isolasi bisa lebih tinggi atau lebih rendah tergantung pada beberapa faktor seperti suhu dan kelembaban, penurunan isolasi biasanya turun secara bertahap jika diperiksa secara berkala yang disebut dengan pemeliharaan preventif. Pemeriksaan semacam ini memungkinkan adanya perbaikan terencana sebelum terjadi kegagalan atau kerusakan, jika pemeriksaan rutin tidak dilakukan pada peralatan listrik dapat menyebabkan bahaya arus bocor bocor ketika disentuh dalam keadaan bertegangan, karena isolasi itu sendiri telah menjadi konduktor parsial.

Dalam keadaan saat ini, sejumlah penyebab seperti kerusakan mekanis pada peralatan, suhu tinggi, kotoran, uap korosif, kelembapan, dan lain-lain dapat mengakibatkan penurunan resistansi isolasi atau kerusakan isolasi. Komponen-komponen yang telah dibahas dapat bercampur dengan tegangan listrik. Ketika isolasi memiliki retakan, kelembapan, atau kotoran asing dipermukaannya, variabel-variabel ini dapat menyebabkan insulasi menurun, yang dapat mengakibatkan resistansi (*resistensi*) listrik yang rendah.

Prosedur yang sama harus digunakan setiap kali untuk inspeksi rutin. Dengan kata lain menggunakan koneksi uji yang sama, voltase uji yang sama, dan mengingat untuk melakukan pengukuran dengan tetap memperhatikan suhu dan kelembaban.

Standar global untuk mengukur tahanan isolasi adalah IEEE 43-2000, sedangkan PLN menggunakan katalog VDE 228/4 yaitu $> 1M/1 KV$. Indeks Polarisasi (IP), pengukuran yang digunakan untuk menentukan apakah peralatan masih layak untuk digunakan atau dioperasikan, dikenal sebagai indeks polarisasi transformator. Indeks yang dikenal sebagai penyerapan dielektrik, yang diperoleh

dari pembacaan terus menerus selama periode waktu yang lama pada sumber tegangan konstan, sering digunakan untuk menampilkan data resistansi isolasi transformator, setelah sepuluh menit pengukuran terus menerus, kapasitansi tinggi isolasi trafo dapat diisi, jika insulasi kering dan bersih, pengukuran resistansi akan meningkat lebih cepat. Indeks Polarisasi (IP) atau Indeks Polarisasi adalah rasio pengukuran 10 menit dengan pengukuran 1 menit (PI). Lapisan isolasi telah terkontaminasi jika nilai IP lebih rendah dari nilai standar.

2.6 Tingkat Ketahanan Isolasi (*Basic Impuls Insulation Level/BIL*)

Ketahanan oli isolasi bisa berpengaruh saat kondisi suhu dan kelembaban udara di daerah sekitar, temperatur minyak yang tinggi dan oksigen atmosfer akan menyebabkan permukaan minyak teroksidasi, meningkatkan keasaman minyak. Pengukuran kerusakan (deterisasi) dari bahan isolasi adalah kandungan asam dari minyak. Dinding transformator dan lapisan insulasi belitan akan menghasilkan endapan jika keasaman oil berlebihan, yang akan membuat proses pendinginan menjadi sulit. Endapan yang hanya setebal 0,2 mm hingga 0,4 mm akan menaikkan suhu disekitarnya 10°C - 15°C .

Selain itu, endapan ini berpotensi memicu percikan api diantara komponen transformator yang terbuka, jika oil mengandung uap air, akan terbentuk jalur yang dapat menyebabkan korsleting. Kelembaban dapat mempengaruhi komponen transformator seperti gulungan isolasi, yang dapat merusak kumparan kawat tembaga transformator, selain mengurangi resistansi isolasi minyak. Untuk mencegah efek negatif dari kerusakan isolasi yang menyebabkan pemadaman, perawatan oli transformator secara rutin sangat disarankan. Sebuah transformator yang telah berfungsi dengan sukses untuk waktu yang lama dapat tiba – tiba gagal karena kegagalan isolasi. Cara terbaik untuk menjaga kondisi operasional trafo tetap terlindung sehingga umur fungsinya bisa relatif lebih lama adalah dengan melalui perawatan secara rutin pada minyak trafo.

2.7 Pengujian Indeks Polarisasi (IP)

Pengujian indeks polarisasi (IP), juga dikenal sebagai pengujian PI (Polarization Index), adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengukur integritas isolasi pada peralatan listrik. Tujuan pengujian ini adalah untuk

mengevaluasi sejauh mana isolasi pada peralatan listrik dapat mempertahankan resistansi terhadap arus bocor dalam jangka waktu tertentu. Pada pengujian indeks polarisasi, tegangan DC (arus searah) diterapkan pada peralatan yang diuji, seperti transformator, motor listrik, generator, atau kabel. Tegangan ini biasanya diterapkan dalam waktu yang cukup lama, biasanya selama 10 menit atau lebih. Selama penerapan tegangan, arus bocor melalui isolasi diukur. Nilai Indeks Polarisasi dapat ditentukan melalui data perhitungan Indeks Polarisasi dengan rumus yang ditunjukkan pada persamaan (2.3).

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1} \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan : IP = Indeks Polarisasi

R_{10} = Pengujian yang dilakukan pada menit ke- 10

R_1 = Pengujian yang dilakukan pada menit ke- 1

Indeks polarisasi diperoleh dengan membagi nilai resistansi isolasi pada waktu tertentu, biasanya setelah 1 menit (R_1), dengan nilai resistansi isolasi pada waktu yang lebih lama, biasanya setelah 10 menit (R_{10}). Indeks Polarisasi dapat dihitung dengan rumus melalui persamaan (2.3) dan didapatkan nilai dari suatu tahanan isolasi, pengkategorian kondisi isolasi berdasarkan hasil pengujian nilai Indeks Polarisasi memiliki standar nilai yang dapat disimpulkan suatu nilai tahanan isolasi itu masih dalam kondisi baik ataupun buruk, dibawah ini pada Tabel 2.1 suatu ketentuan nilai tahanan isolasi pada metode pengujian Indeks Polarisasi sesuai dengan standar IEEE 43-2000.

Tabel 2. 1 Tabel Standar Indeks Polarisasi (IP) IEEE 43-2000

<u>Hasil Pengujian</u>	<u>Keterangan</u>	<u>Rekomendasi</u>
<1	Berbahaya	Investigasi
1 – 1,1	Jelek	Invertigasi
1,1 – 1,25	Dipertanyakan	Uji Kadar Minyak, Uji Tangen Delta.
1,25 - 2	Baik	-
>2	Sangat Baik	-

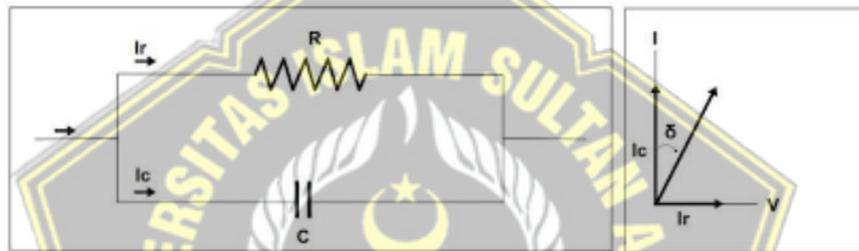
Indeks Polarisasi merupakan rasio antara resistansi isolasi pada waktu yang lebih lama dengan resistansi isolasi pada waktu yang lebih singkat. Nilai IP yang tinggi menunjukkan isolasi yang baik, karena resistansi isolasi tetap tinggi seiring waktu. Sebaliknya, jika nilai PI rendah, itu dapat menunjukkan adanya kebocoran isolasi atau kerusakan pada peralatan. Pengujian indeks polarisasi memberikan indikasi awal tentang kualitas isolasi pada peralatan dan dapat digunakan untuk mendeteksi masalah potensial sebelum terjadinya kegagalan atau kerusakan. Metode ini umumnya digunakan dalam pemeliharaan preventif dan pemantauan peralatan listrik untuk memastikan keandalan dan keselamatan operasi sistem tenaga listrik.

2.8 Pengujian Tangen Delta

Tangen Delta atau biasa dikenal dengan istilah *loss angle* atau disipasi factor test merupakan metode diagnostik elektrik digunakan untuk mengevaluasi kualitas isolasi pada peralatan listrik. Metode ini juga dikenal sebagai pengujian faktor daya dielektrik atau pengujian faktor rugi. Pada dasarnya, metode tangen delta melibatkan pengukuran faktor daya atau faktor rugi pada material isolasi. Material isolasi yang ideal memiliki faktor daya yang sangat rendah, menunjukkan bahwa isolasi tersebut memiliki resistansi yang tinggi terhadap arus bocor. Proses pengujian tangen delta melibatkan penerapan tegangan AC pada peralatan atau komponen yang akan diuji, seperti transformator, kabel, atau kapasitor. Selama pengujian, tegangan AC yang diterapkan menghasilkan arus bocor melalui isolasi. Pengujian ini membandingkan fase antara tegangan dan arus yang mengalir melalui isolasi untuk mengukur faktor daya atau faktor rugi. Dalam metode tangen delta, pengukuran dilakukan pada frekuensi dan tegangan yang ditentukan, dan hasilnya digunakan untuk mengevaluasi keadaan isolasi. Jika faktor daya atau faktor rugi isolasi melebihi batas yang ditetapkan, itu bisa menunjukkan adanya kerusakan atau kebocoran pada isolasi. Pengujian tangen delta merupakan salah satu metode yang berguna untuk mengidentifikasi masalah pada isolasi peralatan listrik dan memantau kualitas isolasi seiring waktu. Hal ini membantu dalam perawatan preventif, deteksi dini kebocoran isolasi, dan pemeliharaan yang tepat untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada peralatan listrik.. Sistem isolasi pada trafo

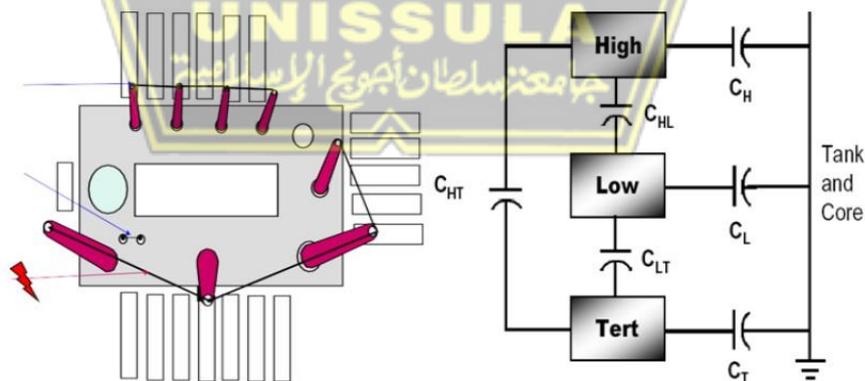
umumnya terdiri atas isolasi belitan berserta ground dan dua bagian belitan dengan isolasi: Primer–Ground, sekunder–ground, tertier–ground, primer–sekunder, sekunder–tertier, primer–tertie.

Rangkaian ekivalen dari isolasi dan diagram phasor arus kapasitansi serta arus resistif dari sebuah isolasi, pengukuran I_r / I_c dapat diprediksi kualitasnya dari isolasinya. Isolasi yang sempurna memiliki sudut mendekati nol. Meningkatnya sudut akan meningkatkan arus resistif yang terlewati isolasi, hal ini berarti sudah terdapat suati kontaminasi pada isolasi. Bertambahnya besar sudut akan semakin buruk kondisi suatu isolasi, dalam penjelasan ini dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Gambar Rangkaian Ekivalen Isolasi & Diagram Phasor Arus

Penjelasan mengenai Tangen Delta serta gambar pada sebelumnya yang menjelaskan tentang rangkaian ekivalen, pada Gambar 2.11 menunjukkan salah satu contoh gambar rangkaian ekivalen dan skema pengujian Tangen Delta.



Gambar 2. 11 Gambar Rangkaian Ekivalen Isolasi pada Skema Pengujian

Memperkirakan keadaan isolasi pada transformator dapat diketahui dengan hasil pengujian Tan Delta. Dari data interpretasi hasil pengujian merunjuk ke aturan standar ANSI C57.12.90. Berikut perhitungan Tangen Delta menggunakan persamaan (2.4) sampai (2.11).

$$S = \frac{V^2}{Z} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$Z = \frac{V^2}{S} \dots\dots\dots(2.5)$$

Mencari X_c :

$$X_c = \frac{V^2}{Q} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana, X_c didapat persamaan (2.8) sampai (2.10)

$$Q = \frac{V^2}{X_c} \dots\dots\dots(2.8)$$

$$Q = \frac{V^2}{\frac{1}{\omega C}} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Q = V^2 \omega C \dots\dots\dots(2.10)$$

Sehingga didapatkan persamaan Tangen Delta didapat pada persamaan (2.11) :

$$\tan \delta = \frac{P}{V^2 \omega C} \dots\dots\dots(2.11)$$

dengan : δ = Delta

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

C = Capacitance (F)

ω = $2\pi f$

Penjelasan dan rumus yang membahas tentang pengujian tahanan isolasi menggunakan metode Tangen Delta didapatkan sebuah standarisasi untuk mengacu pada hasil pengukuran atau perhitungan yang didapatkan dari sebuah tahanan isolasi, standarisasi Tangen Delta menggunakan aturan yang mengacu pada ANSI C 57.12.90 yang ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Tabel Standarisasi Tangen Delta menggunakan ANSI C 57.12.90

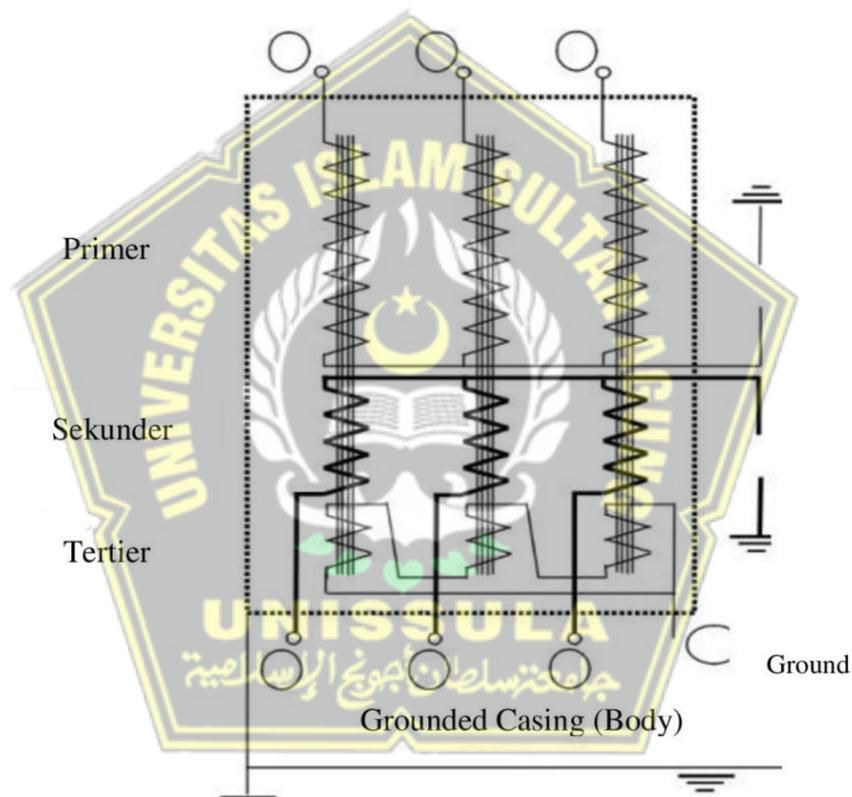
HASIL UJI	KONDISI
$\leq 0,5 \%$	Bagus
0,5 % - 0,7 %	Mulai mengalami Penurunan
$\geq 1,0\%$	Buruk

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Untuk model penelitian ini merupakan objek transformator tenaga pada suatu gardu induk 150 KV di PT APF Kaliwungu, Kendal dengan dilakukannya pengujian tahanan isolasi pada bagian belitan, model penelitian transformator dapat dilihat melalui gambar yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.



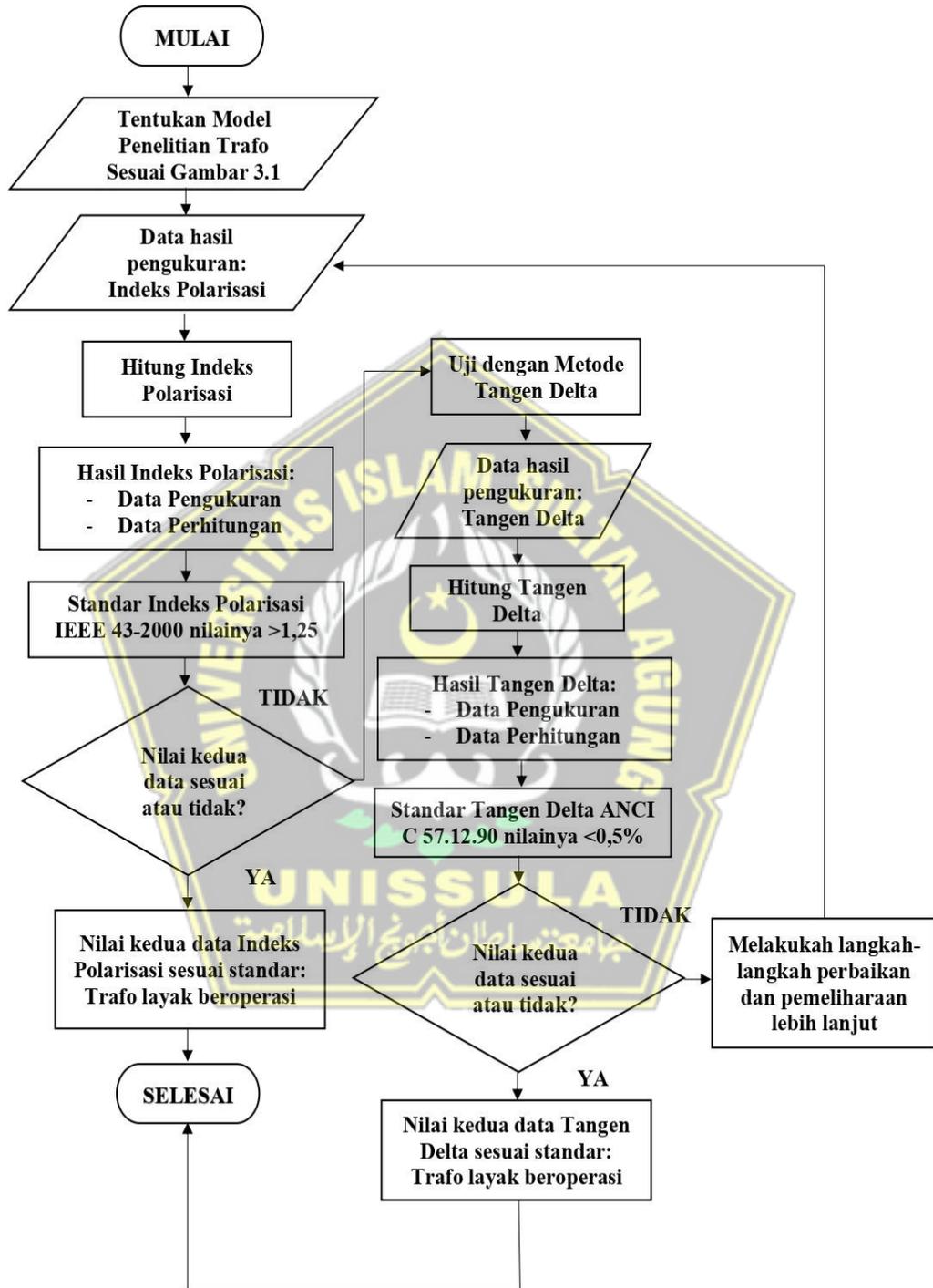
Gambar 3. 1 Model Penelitian Transformator

3.2 Objek Penelitian

Objek yang dilakukan pada penelitian yang dilakukan di PT APF yaitu :

- a. Trafo tenaga dengan kapasitas 30 MVA di Gardu Induk (GI) 150/20 KV berlokasi di PT. APF yang beralamat di Jalan Raya Kaliwungu KM. 19, Kendal, Jawa Tengah.

3.3 Diagram Alir Penelitian



3.4 Data Penelitian

Dari percobaan yang diambil didapatkan data penelitian sebagai berikut :

- a. Data pengujian tahanan isolasi transformator 30-40 MVA pada tahun 2022 dengan metode Indeks Polarisasi di GI PT Asia Pacific Fibers, Tbk.
- b. Data pengujian tahanan isolasi transformator 30-40 MVA pada tahun 2022 dengan metode Tangen Delta di GI PT Asia Pacific Fibers, Tbk.
- c. Data spesifikasi transformator tenaga di Gardu Induk PT Asia Pacific Fibers, Tbk.

3.5 Langkah Penelitian

Langkah awal dilakukannya penelitian adalah: observasi tempat penelitian, mencari informasi terkait trafo dan menentukan data tahanan isolasi trafo.

3.5.1 Observasi Lapangan

Pada penelitian awal yaitu masuk pada proses mewawancarai atau mencari informasi terkait materi ini dengan pengelola gardu induk PT APF 150 KV yang didalamnya membahas tentang transformator daya khususnya bagian tahanan isolasi, data uji tahanan isolasi terakhir yang dilakukan dan metode pengujian yang digunakan pada Gardu Induk 150 KV di PT. Asia Pacific Fibers, Tbk.

3.5.2 Data

Data yang dapat diambil dari Gardu Induk PT. Asia Pacific Fibers, Tbk berikut data yang diperoleh dari data hasil survey :

- a. Data Indeks Polarisasi (IP)

Pada transformator 30-40 MVA didapatkan data pengujian tahanan isolasi dengan metode Tangen Delta pada tahun 2022 di GI 150/20 KV PT Asia Pacific Fibers, Tbk Kendal.

- b. Data Tangen Delta

Pada transformator 30-40 MVA didapatkan data pengujian tahanan isolasi dengan metode Indeks Polarisasi pada tahun 2022 di GI 150/20 KV PT Asia Pacific Fibers, Tbk Kendal.

c. Transformator Daya

Data spesifikasi trafo 30-40 MVA ditentukan berdasarkan *name plat* pada masing-masing trafo di gardu induk 150/20 KV seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tabel Data Trafo 30-40 MVA GI 150/20 KV

Rating	30 MVA	35 MVA	40 MVA
Serial Number	38761	38932	38933
Year Of Manufacture	1995	1998	1998
Ref. Standard	IEC-60076 / BS 171	IE-60076 / BS 171	IEC-60076/ BS 171
Frequency	50 HZ	50 HZ	50 HZ
Phases	3	3	3
Cooling	ONAN / ONAF	ONAN / ONAF	ONAN / ONAF
Hv Side	150 KV	150 KV	150 KV
Lv Side	20 KV	20 KV	20 KV
Rated Hv	136.01 Amperes	134.719 Amperes	181.135 Amperes
Rated Lv	867.05 Amperes	1010.39 Amperes	1154.73 Amperes
Temperature Rise Oil	50 °C	50 °C	50 °C
Temperature Rise Wdg	55 °C	55 °C	55 °C
Vector Group	Ynyn-0	Ynyn-0	YNyn-0
MASS/Vol of Oil	15000 Kg / 17000 L	16400 Kg / 18500 L	17600 Kg /19600 L
Untanking MASS	31000 Kg	32200 Kg	34900 Kg
Total MASS	61000 Kg	65000 Kg	71000 Kg
Ambient	50 °C	50 °C	50 °C
Tank Type	Conservaton	Conservaton	Conservaton

Dilihat dari Tabel 3.1 data spesifikasi trafo 30-40 MVA yang ditentukan berdasarkan *name plat* pada masing-masing trafo. Untuk gambar *name plat* dari masing-masing trafo ditunjukkan pada Gambar 3.2 sampai dengan Gambar 3.4.



Gambar 3. 2 Gambar Name Plate Trafo 30 MVA



Gambar 3. 3 Gambar Name Plate Trafo 35 MVA



Gambar 3. 4 Gambar Name Plate Trafo 40 MVA

3.5.3 Pengujian Indeks Polarisasi (IP)

Merujuk penjelasan mengenai Pengujian tahanan isolasi dengan metode Pengujian indeks polarisasi (IP), juga dikenal sebagai pengujian PI (Polarization Index) pada bab sebelumnya adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengukur integritas isolasi pada peralatan listrik. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengevaluasi sejauh mana isolasi pada peralatan listrik dapat mempertahankan resistansi terhadap arus bocor dalam jangka waktu tertentu. Pada pengujian indeks polarisasi, tegangan DC (arus searah) diterapkan pada peralatan yang diuji, seperti transformator, motor listrik, generator, atau kabel.

Indeks polarisasi merupakan rasio antara resistansi isolasi pada waktu yang lebih lama dengan resistansi isolasi pada waktu yang lebih singkat. Nilai IP yang tinggi menunjukkan isolasi yang baik, karena resistansi isolasi tetap tinggi seiring waktu. Sebaliknya, jika nilai IP rendah, itu dapat menunjukkan adanya kebocoran

isolasi atau kerusakan pada peralatan. Pengujian indeks polarisasi memberikan indikasi awal tentang kualitas isolasi pada peralatan dan dapat digunakan untuk mendeteksi masalah potensial sebelum terjadinya kegagalan atau kerusakan. Metode ini umumnya digunakan dalam pemeliharaan preventif dan pemantauan peralatan listrik untuk memastikan keandalan dan keselamatan operasi sistem tenaga listrik.

Untuk pengujian isolasi menggunakan metode indeks polarisasi dapat dilaksanakan dengan melakukan langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Persiapan:

- Pastikan transformator atau peralatan listrik yang akan diuji dalam kondisi mati dan bebas dari sumber tegangan eksternal.
- Siapkan alat ukur yang diperlukan, termasuk sumber tegangan DC, amperemeter, voltmeter, dan pengukur waktu.
- Pastikan bahwa prosedur pengujian sesuai dengan standar yang berlaku dan pedoman yang relevan.

2. Koneksi Pengujian:

- Hubungkan sumber tegangan DC ke terminal transformator atau peralatan yang akan diuji.
- Hubungkan amperemeter dalam rangkaian untuk mengukur arus isolasi dan voltmeter untuk mengukur tegangan yang diterapkan.
- Pastikan pengukuran arus dan tegangan dilakukan pada sirkuit isolasi yang diinginkan.

3. Penerapan Tegangan DC:

- Atur sumber tegangan DC untuk menerapkan tegangan yang ditentukan pada peralatan listrik.
- Tegangan yang diterapkan harus jangka panjang untuk memungkinkan pengamatan respons arus isolasi seiring waktu. Durasi penerapan tegangan tergantung pada standar dan persyaratan spesifik yang berlaku.

4. Pemantauan Arus Isolasi:

- Mulailah mengamati dan mencatat arus isolasi sejak awal penerapan tegangan.

- Catat arus isolasi dalam interval waktu tertentu, misalnya setiap 10 atau 15 menit.
- Pastikan pencatatan dilakukan secara konsisten dan akurat.

5. Analisis Data:

- Setelah pengujian selesai, analisis respons arus isolasi yang dicatat seiring waktu.
- Perhatikan pola dan perubahan arus isolasi. Jika arus isolasi tetap tinggi dan konstan seiring waktu, itu menunjukkan isolasi yang baik. Namun, jika arus isolasi menurun secara signifikan, itu dapat mengindikasikan adanya masalah atau kerusakan pada sistem isolasi.

6. Evaluasi Hasil:

- Bandingkan hasil pengujian dengan kriteria yang ditetapkan dalam standar atau pedoman yang relevan.
- Ambil keputusan apakah isolasi peralatan listrik tersebut memenuhi persyaratan atau memerlukan perbaikan atau perhatian lebih lanjut.

Penting untuk dicatat bahwa langkah-langkah pengujian dapat bervariasi tergantung pada standar dan praktik yang diterapkan dalam pengujian indeks polarisasi. Oleh karena itu, penting untuk merujuk pada panduan yang sesuai dan bekerja dengan personel terlatih yang memiliki pemahaman yang baik tentang prosedur pengujian yang tepat.

Pengujian tahanan isolasi dengan metode Indeks Polarisasi hasil dari data pengukuran dan data perhitungan nilainya akan disesuaikan dengan suatu standarisasi yang mengacu standar dari IEEE 43-2000 dengan penjelasan adalah standar yang diterbitkan oleh Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) yang menguraikan pedoman dan metode untuk pengujian isolasi peralatan listrik. Standar ini berfokus pada pengujian kualitas isolasi pada peralatan listrik yang digunakan dalam sistem tenaga listrik, seperti transformator, motor listrik, generator, kabel listrik, dan peralatan lainnya. Standar ini mencakup berbagai aspek pengujian isolasi, termasuk pengujian resistansi isolasi, pengujian polarisasi dielektrik, pengujian tegangan tembus, pengujian kebocoran arus, dan pengujian faktor daya. Tujuannya adalah untuk memastikan bahwa isolasi pada peralatan

listrik memiliki kualitas yang memadai dan mampu beroperasi dengan aman dan efisien.

3.5.4 Pengujian Tangen Delta

Merujuk penjelasan mengenai Pengujian tahanan isolasi dengan metode tangen delta pada bab sebelumnya adalah salah satu teknik pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas isolasi pada peralatan listrik. Pengujian ini membandingkan fase antara tegangan dan arus yang mengalir melalui isolasi untuk mengukur faktor daya atau faktor rugi. Pengujian tangen delta merupakan salah satu metode yang berguna untuk mengidentifikasi masalah pada isolasi peralatan listrik dan memantau kualitas isolasi seiring waktu. Hal ini membantu dalam perawatan preventif, deteksi dini kebocoran isolasi, dan pemeliharaan yang tepat untuk mencegah kerusakan lebih lanjut pada peralatan listrik.

Untuk pengujian isolasi menggunakan metode tangen delta dapat dilaksanakan dengan melakukan langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

1. Persiapan

- Pastikan transformator atau peralatan listrik yang akan diuji dalam kondisi mati dan terisolasi dari sumber tegangan eksternal.
- Persiapkan peralatan pengujian yang diperlukan, termasuk sumber tegangan AC, generator frekuensi, kapasitor referensi, amperemeter, voltmeter, wattmeter, dan pengukur fase.
- Pastikan bahwa prosedur pengujian sesuai dengan standar yang berlaku dan pedoman yang relevan.

2. Proses Perakitan

- Hubungkan sumber tegangan AC ke peralatan yang akan diuji.
- Hubungkan generator frekuensi dan kapasitor referensi dalam rangkaian dengan peralatan yang akan diuji untuk mengukur tangen delta.
- Hubungkan amperemeter, voltmeter, dan wattmeter dalam rangkaian yang sesuai untuk mengukur arus, tegangan, dan daya yang terlibat.

3. Proses Stabilisasi

- Setel sumber tegangan AC dan generator frekuensi pada frekuensi dan tegangan yang ditentukan dalam standar atau pedoman pengujian.

- Biarkan peralatan mencapai suhu operasi dan kondisi stabil sebelum memulai pengujian.
4. Pengukuran Tangen Delta
- Terapkan tegangan AC pada peralatan listrik yang akan diuji.
 - Catat tegangan, arus, dan daya aktif dan reaktif menggunakan voltmeter, amperemeter, dan wattmeter.
 - Gunakan pengukur fase untuk mengukur sudut fase antara tegangan dan arus.
5. Perhitungan Tangen Delta:
- Dengan menggunakan data yang diukur, hitung faktor daya dielektrik (tangen delta) menggunakan rumus yang sesuai, yaitu rasio daya reaktif terhadap daya aktif (cosinus sudut fase antara tegangan dan arus).
6. Evaluasi/Hasil
- Bandingkan hasil tangen delta yang diukur dengan kriteria yang ditetapkan dalam standar atau pedoman yang relevan.
 - Tangen delta yang rendah menunjukkan kualitas isolasi yang baik, sedangkan nilai yang tinggi dapat mengindikasikan adanya kebocoran arus atau kerusakan pada sistem isolasi.
 - Gunakan hasil pengujian untuk mengevaluasi keadaan isolasi peralatan listrik dan mengambil tindakan perbaikan atau pemeliharaan yang sesuai jika diperlukan.

Penting untuk dicatat bahwa langkah-langkah pengujian dan peralatan yang digunakan dapat bervariasi tergantung pada standar, metode, dan peralatan yang tersedia. Penting untuk merujuk pada standar dan pedoman yang relevan, serta bekerja dengan personel yang berpengalaman dan terlatih dalam melakukan pengujian tangen delta. Pengujian tangen delta umumnya dilakukan pada peralatan listrik, transformator daya, kabel listrik, generator, dan sistem distribusi untuk memantau kondisi isolasi dan mendeteksi adanya kerusakan atau kebocoran arus listrik pada isolasi tersebut.

Pengujian tahanan isolasi dengan metode Tangen Delta hasil dari data pengukuran dan data perhitungan nilainya akan disesuaikan dengan suatu standarisasi yang menganut standar dari ANSI C 57.12.90 dengan penjelasannya

adalah standar yang dikeluarkan oleh American National Standards Institute (ANSI) yang berkaitan dengan transformator tegangan tinggi (HV), khususnya transformator distribusi dan power transformer. Standar ini mengatur spesifikasi, pengujian, dan kinerja transformator tegangan tinggi. Hal-hal yang dibahas dalam standar ini meliputi:

1. Spesifikasi fisik: Standar ANSI C57.12.90 mencakup berbagai aspek fisik transformator tegangan tinggi, termasuk dimensi, berat, dan desain konstruksi.
2. Spesifikasi listrik: Standar ini menetapkan nilai-nilai toleransi untuk parameter listrik seperti tegangan primer dan sekunder, arus nominal, tegangan isolasi, dan kehilangan daya.
3. Metode pengujian: Standar ANSI C57.12.90 menyediakan panduan untuk pengujian transformator tegangan tinggi, termasuk pengujian tipe, pengujian rutin, dan pengujian khusus seperti pengujian kehilangan daya, pengujian isolasi, pengujian beban, dan pengujian impuls.
4. Kinerja transformator: Standar ini juga membahas persyaratan kinerja transformator tegangan tinggi, termasuk efisiensi, regulasi tegangan, ketahanan terhadap lonjakan arus, dan karakteristik beban.

Dengan merujuk pada standar ANSI C57.12.90 dalam pemakaian oleh produsen, pemasok, dan pengguna transformator tegangan tinggi dapat memastikan bahwa transformator tersebut memenuhi persyaratan kualitas, performa, dan keamanan yang ditetapkan dalam standar tersebut agar pada saat pengoperasian dalam keadaan yang terhindar dari bahaya kerusakan yang timbul pada transformator.

3.6 Pelaksanaan Pengujian

Waktu dan tempat pelaksanaan penelitian adalah :

Waktu : 10 April – 10 Juni 2023

Tempat : GI 150/20 KV PT. Asia Pacific Fibers, Tbk

Jalan Raya Kaliwungu KM. 19, Kendal, Jawa Tengah.

BAB IV

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Hasil Penelitian

Dari observasi yang telah dilakukan pada saat dilapangan atau dikawasan GI 150/20 KV PT. APF diperoleh beberapa data mengenai tahanan isolasi trafo, dapat diketahui bagaimana cara atau metode pemeliharaan trafo serta didapatkan hasil pengujian pada trafo di Gardu Induk 150/20 KV PT. APF. Data yang diperoleh dan analisis yang telah dilakukan pada tahanan isolasi dari pengujian Indeks Polarisasi dan Tangen Delta pada trafo di Gardu Induk 150/20 KV PT APF.

Pada bab hasil dan analisi ini membahas tentang data pengukuran tahanan isolasi pada ketiga transformator 30-40 MVA dengan menggunakan metode Indeks Polarisasi dan Tangen Delta yang selanjutnya data tersebut dihitung dengan rumus dari kedua metode. Hasil dari data pengukuran serta data perhitungan nilainya akan disesuaikan atau dibandingkan dengan suatu standarisasi yang digunakan, pada metode Indeks Polarisasi menganut standar IEEE 43-2000 sedangkan pada metode Tangen Delta menganut standar ANCI C 57.12.90. Nilai tahanan isolasi pada transformator yang layak, nilainya dari data pengukuran serta data perhitungan uji kelayakan tahanan isolasi menggunakan metode Indeks Polarisasi dan Tangen Delta sudah sesuai dengan standarisasi yang dianut.

4.2 Pengukuran dan Perhitungan Tahanan Isolasi Indeks Polarisasi

Data tahunan pada tahanan isolasi dari ketiga trafo yang berkapasitas 30-40 MVA berdasarkan uji pengukuran menggunakan metode Indeks Polarisasi, data ini didapatkan melalui pihak GI 150/20 KV PT. APF yang melakukan uji pengukuran tahanan isolasi dengan pengukuran serta uji resistansi disetiap menit ke-10 & ke-1 sebanyak 30x untuk memastikan data yang didapatkan akurat serta sesuai.

Pada Tabel 4.1 menjelaskan tentang data pengukuran trafo 30-40 MVA untuk tahanan isolasi yang telah dilakukan pengukuran menggunakan metode Indeks Polarisasi.

Tabel 4. 1 Tabel Data Indeks Polarisasi pada Trafo 30-40 MVA tahun 2022

Transformator Daya	30 MVA	35 MVA	40 MVA
Channel	CH1	CH1	CH1
Capacitance @ 50 Hz	4, 319 nF	5, 204 nF	5, 393 nF
Capacitance @ 60 Hz	4, 316 Nf	5, 201 nF	5, 392 Nf
Tan δ / power factor @ 50 Hz	0, 96 % / 0, 96 %	0, 61 % / 0, 61 %	0, 26 % / 0, 26 %
Tan δ / power factor @ 60 Hz	0, 90 % / 0, 90 %	0, 58 % / 0, 58 %	0, 25 % / 0, 25 %
C (10 mHz) / C (50 Hz)	1, 574	1, 238	1, 500
Barriers (X)	60 %	60 %	22 %
Spacers (Y)	14 %	10 %	16 %
Polarization Index	1, 097	1, 098	1, 772
Dar	1, 091	1, 037	1, 249
Primary–Sekunder (1 min)	10900	9987	6730
Primary–Sekunder (10 min)	12050	12010	11900

Merujuk pada model penelitian sesuai Gambar 3.1 dan data hasil pengujian tahanan isolasi dari trafo 30-40 MVA pada Tabel 4.1 didapatkan sebuah perhitungan melalui persamaan (2.3), maka perhitungan tahanan isolasi menggunakan metode Indeks Polarisasi pada primery–sekunder trafo 30 MVA:

$$IP = \frac{12050}{10900} = 1, 10$$

Perhitungan Indeks Polarisasi pada primery–sekunder trafo 35 MVA:

$$IP = \frac{12010}{9987} = 1, 20$$

Perhitungan Indeks Polarisasi pada primery–sekunder trafo 40 MVA:

$$IP = \frac{11900}{6730} = 1, 76$$

Setelah mendapatkan data pengukuran serta perhitungan pada tahanan isolasi trafo 30-40 MVA dengan metode indeks polarisasi didapatkan suatu nilai hasil pengujian yang menganut aturan standarisasi IEEE 43-2000, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Tabel Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Metode Indeks Polarisasi

Trafo Daya	Data Pengukuran	Data Perhitungan	Nilai Standar IEEE 43-2000	Keterangan
30 MVA	1,091	1,10	1,10-1,25	Dipertanyakan
35 MVA	1,098	1,20	1,10-1,25	Dipertanyakan
40 MVA	1,772	1,76	1,25-2,0	Baik

4.3 Pengukuran dan Perhitungan Tahanan Isolasi Tangen Delta

Transformator tenaga merupakan peralatan utama dalam sistem panyaluran tenaga listrik, salah satu bagian paling kritis dari trafo adalah isolasi trafo. Isolasi trafo berupa isolasi kertas, minyak, dan keramik. Seiring dengan usia operasi atau pemakaian trafo maka kondisi isolasi dapat mengalami penurunan, hal ini dapat disebabkan karena tegangan lebih, suhu operasi yang tinggi, hotspot, korona, kontaminasi dan beberapa kerusakan mekanis maupun kelembaban. Pemburukan atau kegagalan isolasi dapat menyebabkan kegagalan operasi atau menyebabkan kerusakan pada transformator, oleh karena itu diperlukan suatu proses untuk mengetahui keadaan isolasi trafo dan dapat segera dilakukan perbaikan apabila keadaan atau nilai isolasinya sudah mengalami *upnormal* dari standar– standar yang sudah ditentukan sehingga dapat mencegah kegagalan yang disebabkan oleh suatu tahanan isolasi pada transformator.

Tangen Delta adalah teknik pengukuran yang digunakan untuk mengevaluasi kondisi isolasi transformator dengan mengukur kebocoran arus (*current leakage*) melalui isolasi. Dalam pengukuran Tangen Delta, arus dan tegangan yang diukur diidentifikasi sebagai komponen vektor dan dinyatakan dalam bentuk fasor. Ketika tegangan dan arus memiliki fase sudut positif satu sama lain, disebut sebagai "*leading*". Ini berarti tegangan sudut memimpin arus sudut dalam siklus waktu. Dalam konteks pengukuran tahanan isolasi dengan metode Tangen Delta, *leading* menunjukkan adanya kapasitansi dalam sistem yang diuji. Kapasitansi dapat terjadi antara lilitan transformator atau antara lilitan dan ground (tanah), dan mengindikasikan adanya kebocoran arus melalui isolasi transformator. Fase sudut *leading* pada pengukuran Tangen Delta dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran arus yang disebabkan oleh kerusakan isolasi, kelembaban, atau

pencemaran pada transformator. Semakin besar nilai leading, semakin signifikan kebocoran arus melalui isolasi transformator. Dengan demikian, pengukuran Tangen Delta membantu mengidentifikasi keadaan isolasi transformator yang perlu diperbaiki atau digantikan untuk menjaga kinerja dan keamanan transformator.

Pengujian tangen delta pada trafo dilakukan menggunakan beberapa alat uji dari beberapa vendor, seperti menggunakan alat ukur magger, omicron, doble, tettex dan lain sebagainya, Pengujian tahanan isolasi pada penelitian ini menggunakan metode tangen delta dengan alat adalah omicron. Pengujian yang telah dilaksanakan mendapat nilai tahanan isolasi pada trafo 30-40 MVA dengan menggunakan metode tangen delta, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3 sampai dengan Tabel 4.5.

Tabel 4. 3 Data Tangen Delta pada Trafo 30 MVA tahun 2022

NO	Measurement Capacitance	Test Mode	Vout (KV)	Cap. Meas (pF)	Watt Losses	Tangen Delta %	
						DF Meas	DF Corr
1.	ICH + ICHL	GST	10	8066, 4	2,239	1,20	0, 82
2.	ICH	GSTg-A	10	3750, 0	3,666	1, 57	1, 21
3.	ICHL	UST - A	10	4316, 5	2,316	0, 88	0, 68
Cross ceck : Calculated ICHL							

Tabel 4. 4 Data Tangen Delta pada Trafo 35 MVA tahun 2022

NO	Measurement Capacitance	Test Mode	Vout (KV)	Cap. Meas (pF)	Watt Losses	Tangen Delta %	
						DF Meas	DF Corr
1.	ICH + ICHL	GST	10	9616, 6	5,839	4, 3444	3, 4744
2.	ICH	GSTg-A	10	4349, 7	7,299	6, 2899	5, 0284
3.	ICHL	UST - A	10	5203, 7	1,921	0, 5816	0, 4652
Cross ceck : Calculated ICHL				5266, 8	1,898	2, 7363	

Tabel 4. 5 Data Tangen Delta pada Trafo 40 MVA tahun 2022

NO	Measurement Capacitance	Test Mode	Vout (KV)	Cap. Meas (pF)	Watt Losses	Tangen Delta %	
						DF Meas	DF Corr
1.	ICH + ICHL	GST	10	9328, 2	1,072	0, 4136	0, 5908
2.	ICH	GSTg-A	10	3935, 8	2,540	1, 0509	0, 7356
3.	ICHL	UST - A	10	5393, 5	1,854	0, 2507	0, 1755
Cross ceck : Calculated ICHL				5392, 4	1,854	0, 2547	

Berikut adalah keterangan dari Measurement Capacitance berdasarkan Tabel 4.3 sampai dengan Tabel 4.5.

ICHL : Injeks Capacitance High Low (titik pengukuran di sisi primer trafo dengan sekunder trafo)

ICH : Injeks Capacitance High (titik pengukuran di sisi primer trafo dengan grounding trafo)

Ada macam istilah saat pengukuran Tangen Delta dilaksanakan diantaranya :

UST : Ungrounded Speciment Test (test tidak didukung) diketanahkan

GST : Grounded Speciment Test (tes didukung) diketanahkan

GSTg : Grounded Speciment Test with guard (menguji guard)

Data hasil yang ada pada tabel diatas terdapat teknik diagnostik listrik yang disebut dengan pengujian tahanan isolasi Tangen Delta yang bertujuan mendapatkan nilai keadaan insulsi. Transformator dianggap sebagai kapasitor murni, sehingga jikalau pada keadaan kehilangan daya pada pengujian Tangen Delta disebut sebagai akibat dari kapasitor yang rusak. Perhitungan nilai Tangen Delta diperlukan untuk menentukan atau membandingkan antara nilai pengukuran yang dihasilkan sudahlah sesuai serta dapat memastikan kondisi insulasi atau nilai tahanan isolasi pada sebuah transformator dalam kondisi yang prima. Untuk hasil dari pengukuran tahanan isolasi dengan menggunakan metode Tangen Delta nilai yang dihasilkan akan dikatakan baik jikalau nilai yang dihasilkan dari sebuah pengukuran Tangen Delta bernilai rendah, jika kondisi Tangen Delta buruk maka nilai yang akan dihasilkan relatif lebih besar. Berdasarkan literatur Doble untuk

trafo dapat dinyatakan dalam kondisi baik bila nilai uji Tangen Delta nilainya kurang dari 0,5 % sedangkan transformator yang sudah beroperasi nilai tahanan isolasinya menganut aturan standar ANCI C 57. 12. 90 yang dapat dilihat pada tabel 2.2 pada bab dasar teori, sedangkan untuk ketentuan nilai interpretasi hasil uji Tangen Deltanya dapat ditunjukkan pada gambar 4.1.

•Less Than 0.5%	--	GOOD
•>0.5% but < 0.7%	--	DETERIORATED
•>0.5% but <1.0% & increasing	--	INVESTIGATE
•Greater than 1.0%	--	BAD

ilmulistrik.com

Gambar 4. 1 Gambar Interpretasi Hasil Uji Tangen Delta

Merujuk pada model penelitian sesuai Gambar 3.1 dan data hasil pengujian tahanan isolasi pada ketiga unit trafo 30-40 MVA dengan metode tangen delta pada Tabel 4.3 sampai dengan Tabel 4.5 maka perhitungan tangen delta melalui persamaan (2.11). Didapatkan nilai hasil perhitungan tahanan isolasi pada trafo 30-40 MVA:

Trafo 30 MVA

Data didapatkan melalui persamaan 2.11 dari tabel 4.3

$$P : 2, 239 \text{ Watt}$$

$$V : 10.000 \text{ Volt}$$

$$C : 8066, 4 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$\omega : 2\pi f (2 \times 3,14 \times 50)$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{2,239}{10000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 8066,4 \times 10^{-12}} \times 100 \%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{2,239}{10^{-4} \times 6,28 \times 8066,4} \times 100 \%$$

$$\text{Tan } \delta = \frac{2,239 \times 10.000}{2.532.850} \times 100 \%$$

$$= 0, 8 \%$$

Trafo 35 MVA

Data didapatkan melalui persamaan 2.11 dari tabel 4.4

$$P : 1, 039 \text{ Watt}$$

$$V : 10.000 \text{ Volt}$$

$$C : 9616,6 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$\omega : 2\pi f (2 \times 3,14 \times 50)$$

$$\tan \delta = \frac{1,039}{10000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 9616,6 \times 10^{-12}} \times 100 \%$$

$$\tan \delta = \frac{1,039}{10^{-4} \times 6,28 \times 480.830} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned} \tan \delta &= \frac{1,072 \times 10.000}{3.019.614} \times 100 \% \\ &= 2,0 \% \end{aligned}$$

Trafo 40 MVA

Data didapatkan melalui persamaan 2.11 dari tabel 4.5

$$P : 1,072 \text{ Watt}$$

$$V : 10.000 \text{ Volt}$$

$$C : 9328,2 \times 10^{-12} \text{ F}$$

$$\omega : 2\pi f (2 \times 3,14 \times 50)$$

$$\tan \delta = \frac{1,072}{10000^2 \times 2 \times 3,14 \times 50 \times 9328,8 \times 10^{-12}} \times 100 \%$$

$$\tan \delta = \frac{1,072}{10^{-4} \times 6,28 \times 466.410} \times 100 \%$$

$$\begin{aligned} \tan \delta &= \frac{1,072 \times 10.000}{2.929.054,8} \times 100 \% \\ &= 0,3 \% \end{aligned}$$

Nilai data yang diperoleh serta perhitungan tahanan isolasi pada trafo 30-40 MVA dengan metode tangen delta mode ICH+ICHL yang menganut aturan standar ANCI C 57.12.90 didapatkan hasil pengujian tahanan isolasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Tabel Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Metode Tangen Delta %

Trafo Daya	Data Pengukuran	Data Perhitungan	Nilai Standar ANCI C 57.12.90	Keterangan
30 MVA	1,20 %	0,8 %	$\geq 1,0\%$	Buruk
35 MVA	4,3 %	2,0 %	$\geq 1,0\%$	Buruk
40 MVA	0,41 %	0,3 %	$\leq 0,5 \%$	Bagus

Jadi setelah melihat data hasil pengujian tahanan isolasi dari ketiga unit transformator melalui tabel 4.6 di atas serta menganut aturan standarisasi ANSI C 57.12.90 untuk hasilnya dapat dikatakan baik apabila nilainya dibawah 0,5 %, dengan itu dapat disimpulkan untuk kondisi tahanan isolasi pada ketiga unit transformator GI 150/20 KV PT. APF untuk nilai Tangen Delta yang diperoleh pada transformator unit 40 MVA dalam kategori bagus sedangkan untuk nilai Tangen Delta pada transformator 35 MV–30 MVA dalam kategori buruk karena nilai pengukuran serta perhitungan nilai yang diperoleh $\geq 0,5 \%$ maka dari kedua transformator ini perlu dilakukan pengecekan lebih detail serta perbaikan akan adanya indikator potensial kerusakan transformator yang disebabkan penurunan tahanan isolasi agar tidak mengalami kerusakan lebih parah.

4.4 Analisis Hasil Pengujian dan Perhitungan Indeks Polarisasi

Hasil dari pengukuran serta perhitungan dan dilakukan perbandingan nilai dari kedua itu untuk tahanan isolasi pada ketiga unit transformator di GI 150/20 KV PT. APF di tahun 2022 dengan menggunakan metode Indeks Polarisasi (IP) hasil yang didapatkan pada transformator 40 MVA kondisinya dalam keadaan baik, akan tetapi untuk transformator 30–35 MVA kondisinya dipertanyakan karena nilai yang didapatkan dari kedua unit transformator untuk pengukuran serta perhitungan nilai yang diperoleh $\leq 1,25$. Sedangkan nilai suatu tahanan isolasi yang baik untuk pengukuran dengan metode Indeks Polarisasi berdasarkan standarisasi IEEE 43–2000 yaitu $1,25 - \geq 2$.

Jadi untuk menghindari kemungkinan terburuk yang tidak diinginkan maka perlu dilakukannya tindakan lanjut dari kedua unit transformator itu yaitu minimal yang dapat dilakukan untuk melakukan pencegahan dengan melakukan pengecekan pada lilitan apakah terdapat masalah seperti kelembaban atau terdapat kotoran yang sudah menumpuk serta dilakukannya pengecekan atau penggantian pada komponen–komponen lain pada transformator yang sudah mengalami kerusakan.

Jika mengacu pada data pengukuran serta perhitungan yang ada pada nilai Indeks Polarisasi transformator 40 MVA dalam kondisi baik yakni nilainya $\geq 1,25$ tetapi untuk nilai Indeks Polarisasi transformator 30–35 MVA kondisinya dipertanyakan, sehingga kesimpulan yang didapat bahwa transformator 40 MVA

kondisinya memenuhi syarat standarisasi IEEE 43–2000 dan dapat dikatakan pengoperasian dari trafo tidak berbahaya untuk dialiri tegangan dan kondisi seperti ini terhindar dari kegagalan isolasi atau problem yang lainnya. Akan tetapi tidak untuk transformator 30-35 MVA yang nilai data pengukuran serta perhitungan bernilai $\leq 1,25$ atau dalam kondisi dipertanyakan sebaiknya dilakukan pengecekan, perbaikan dan perawatan lebih lanjut pada transformator agar terhindar dari kerusakan yang lebih parah yang berimbas pada operasional transformator tersebut.

4.5 Analisis Hasil Pengujian dan Perhitungan Tangen Delta

Dari Tabel 4.3 sampai dengan Tabel 4.5. Hasil pengujian serta perhitungan nilai tahanan isolasi pada ketiga transformator di GI 150/20 KV PT. APF didapatkan hasil untuk transformator 40 MVA masih dalam keadaan baik karena rata-rata nilainya dibawah 0,5 % sedangkan untuk transformator 30-35 MVA keadaannya masuk didalam kategori buruk dengan hasil nilai dari kedua masing – masing transformator diatas 0,5 %. Nilai tahanan isolasi yang diperoleh melalui mode ICH + ICHL dari transformator yang mengalami penurunan insulasi untuk transformator 30 MVA yang mengalami penurunan insulasi dengan pengecekan menggunakan metode Tangen Delta diperoleh nilai pengecekannya bernilai 1,2 % dan untuk perhitungannya 0,8 %, sedangkan dari transformator 35 MVA bernilai 4,3 % untuk nilai hasil pengukurannya dan 2,0 % untuk perhitungannya

Setelah dilakukan perbandingan pada pengukuran serta perhitungan nilai dari ketiga unit transformator dengan mode ICH + ICHL yang hasil nilainya manganut aturan standarisasi ANSIC 57.12.90 dapat dikatakan baik apabila nilainya dibawah 0,5 %. Untuk transformator 40 MVA memiliki isolasi insulin dalam keadaan normal dan baik sedangkan untuk transformator 30-35 MVA memiliki isolasi insulin yang kondisinya buruk, keadaannya seperti ini perlu dilakukan pengecekan dan perbaikan lebih lanjut seperti pengecekan oli temperature dan nilai temperature winding pada kedua transformator yang mengalami penurunan kualitas tahanan isolasinya.

Dari uji kelayakan tahanan isolasi pada ketiga transformator dengan menggunakan metode Indeks Polarisasi dan Tangen Delta dan didapatkan nilai hasil yang tidak sesuai standar untuk kualitas transformator 30-35 MVA didapatkan

analisa lain mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas tahanan isolasi dari sebuah transformator sebagai berikut:

- a. Kondisi permukaan pada terminal bushing dan bushing kelembaban udara sekitar.
- b. Kualitas dari minyak trafo yang diperengaruhi oleh besar nilai pada temperature oli serta winding pada transformator.
- c. Kualitas dari isolasi antar kumparan/belitan trafo.

Penyebab kerusakan tahanan isolasi pada ketiga transformator pada GI 150/20 KV PT. APF diantaranya yaitu peralatan yang ada pada gardu induk digunakan secara terus menerus dengan beban puncak 70 % serta bekerja dalam kurung waktu 24 jam non stop, sebab yang lain dari kerusakan tahanan isolasi terjadi beberapa permasalahan seperti kelembaban pada winding transformator, tegangan lebih serta nilai temperature suhu yang relatif tinggi penyebab utama kerusakan mekanis yang mengakibatkan penurunan tahanan isolasi serta berakibat terputusnya aliran listrik pada konsumen.

Perbaikan yang dilakukan pada ketiga unit transformator di GI 150/20 KV PT. APF adalah dengan cara dilakukan evaluasi uji kelayakan dan analisis yang dikerjakan untuk mengetahui suatu kualitas isolasi pada transformator tenaga, dari pengecekan dan analisis akan dilakukan perbaikan atau pergantian pada komponen-komponen pada transformator yang kualitasnya sudah tidak layak pakai yang dapat menghambat kinerja dari transformator tenaga tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

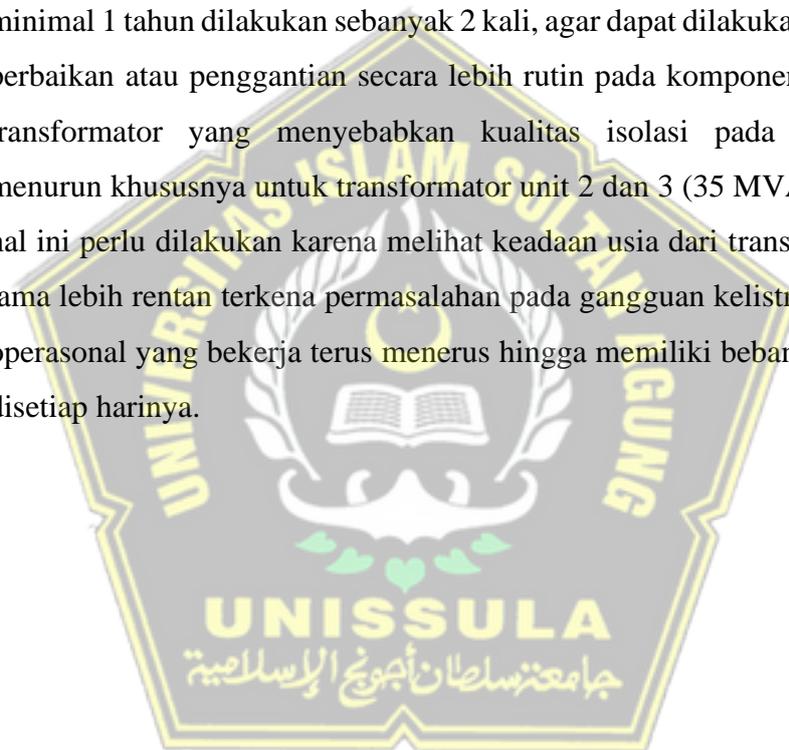
Berdasarkan hasil analisis uji kelayakan tahanan isolasi berbasis indeks polarisasi dan tangen delta pada trafo 30-40 MVA di gardu induk 150/20 KV PT APF, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian trafo 30 MVA dengan metode indeks polarisasi pada data pengukuran 1,091 dan hasil perhitungan 1,100 serta hasil pengujian tangen delta pada data pengukuran 1,2 % dan hasil perhitungan 0,8 %. Kedua hasil itu dibandingkan dengan standar nilai yang sesuai untuk indeks polarisasi 1,25-2 dan tangen delta nilainya $\leq 0,5$ %, maka nilai yang diperoleh **tidak sesuai** dengan standar IEEE-2000 dan ANSI C 57.12.90.
2. Hasil pengujian trafo 35 MVA dengan metode indeks polarisasi pada data pengukuran 1,098 dan hasil perhitungan 1,200 serta hasil pengujian tangen delta pada data pengukuran 4,3 % dan hasil perhitungan 2,0 %. Kedua hasil itu dibandingkan dengan standar nilai yang sesuai untuk indeks polarisasi 1,25-2 dan tangen delta nilainya $\leq 0,5$ %, maka nilai yang diperoleh **tidak sesuai** dengan standar IEEE-2000 dan ANSI C 57.12.90.
3. Hasil pengujian trafo 40 MVA dengan metode indeks polarisasi pada data pengukuran 1,772 dan hasil perhitungan 1,760 serta hasil pengujian tangen delta pada data pengukuran 0,5 % dan hasil perhitungan 0,3 %. Kedua hasil itu dibandingkan dengan standar nilai yang sesuai untuk indeks polarisasi 1,25-2 dan tangen delta nilainya $\leq 0,5$ %, maka nilai yang diperoleh **sesuai** dengan standar IEEE-2000 dan ANSI C 57.12.90.

5.2 Saran

Dari pengerjaan Tugas Akhir yang telah dilakukan dapat dikembangkan serta disempurnakan lebih. Berikut merupakan saran penulis sebagai acuan pengembangan :

1. Perlu menambahkan fitur simulasi dengan menggunakan sebuah software agar dapat memperlihatkan secara mendetail.
2. Perlu dikembangkan dengan cara melakukan beberapa metode lain dalam pengujian tahanan isolasi agar dapat membandingkan sebuah nilai yang diperoleh dan lebih memastikan sebuah transformator dalam keadaan normal atau *upnormal*.
3. Perlu dilakukannya penjadwalan ulang untuk *stop running* pada transformator tidak hanya 1 tahun sekali akan tetapi bisa ditambah dengan minimal 1 tahun dilakukan sebanyak 2 kali, agar dapat dilakukan pengecekan, perbaikan atau penggantian secara lebih rutin pada komponen – komponen transformator yang menyebabkan kualitas isolasi pada transformator menurun khususnya untuk transformator unit 2 dan 3 (35 MVA – 30 MVA), hal ini perlu dilakukan karena melihat keadaan usia dari transformator yang lama lebih rentan terkena permasalahan pada gangguan kelistrikan serta jam operasonal yang bekerja terus menerus hingga memiliki beban puncak 70 % disetiap harinya.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kadir, A., 2010. Transformator. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [2] Asia Pacific Fibers, “Profil Perusahaan Asia Pacific Fibers,” 2017.
- [3] B. P. Pemeliharaan, “Buku pedoman pemeliharaan transformator tenaga,” 2014.
- [4] K. Arismunandar, *Teknik Tenaga Listrik*, no. 806365412. 1991.
- [5] Andi. Makkulau, Nurmiati. Pasra, dan Rivaldi Riska Siswanto, “PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI DAN RASIO PADA TRAFOS PT15 PT INDONESIA POWER UP MRICA,” 2018.
- [6] Thiessaputa. Obhi, “Analisis Uji Kualitas Minyak Trafo dengan Metode DGA Berbasis Fuzzy”.
- [7] Rifqyawan. Reza Farid, “ANALISIS UJI KELAYAKAN TAHANAN ISOLASI TRAFOS 30 MVA DI GI 150/20 KV PT APF DENGAN MENGGUNAKAN INDEKS POLARISASI DAN TANGEN DELTA,” 2022.
- [8] A. Saputro Tomy, “ANALISIS HASIL PENGUJIAN TAHANAN ISOLASI TRANSFORMATOR DAYA BERDASARKAN HASIL UJI INDEKS POLARISASI, TANGEN DELTA, RASIO TEGANGAN, BDV (BREAK DOWN VOLTAGE),” *Univ. Muhammadiyah Surakarta*, vol. 48, no. 2, pp. 123–154, 2018.
- [9] Utami. Purwanti Bakti, “EVALUASI DAN PERBAIKAN TAHANAN ISOLASI TRANSFORMATOR 60 MVA/150/20 KV CIMANGGIS II,” 2022.
- [10] M. S. Anindyantoro, “Analisa tahanan isolasi pada Transformator Tenaga di gardu induk wonogiri,” 2017.
- [11] F. Nanda, “Peningkatan Kualitas dan Karakterisasi Transformator Step up Satu Fasa 250 VA , 10 kV , 50 Hz,” 2018.
- [12] T. A. Saputro, “Analisis hasil pengujian tahanan isolasi transformator daya.”
- [13] P. Persero, “Pengukuran data teknik,” p. 380366, 2010.

- [14] Siddiqui, M. T., 2017. Vapor Phase Drying for Moisture Removal from Transformat Coil Insulation. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 8, Issue, pp. 20-24

