



**Analisis Tegangan Tembus Pada Minyak Isolasi
Generator Transformator dan Auxiliary
Transformator Unit 1 Sebelum dan Sesudah
Purifikasi, Studi Kasus: PLTU Tanjung Balai
Karimun**

Tugas Akhir

**Oleh:
Ivan Priadi Silaban (4232101025)**

**Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam
2025**

Keaslian Akhir

Saya yang bertandatangan dibawah ini menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya yang berjudul : "Analisis Tegangan Tembus Pada Minyak Isolasi Generator Transformator dan Auxiliary Transformator Unit 1 Sebelum dan Sesudah Purifikasi, Studi Kasus: PLTU Tanjung Balai Karimun" adalah hasil karya sendiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan, dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri. Semua referensi yang dikutip atau dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan saya ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Batam, 2 Januari 2025



Ivan Priadi Silaban
NIM: 4232101025

Lembar Pengesahan

Tugas Akhir disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)
di
Politeknik Negeri Batam

Oleh:
Ivan Priadi Silaban (4232101025)

Tanggal Sidang: 07-01-2025

Disetujui oleh:

Penguji I



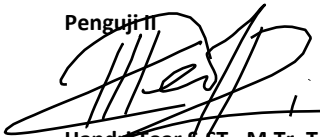
Hasnira, S.ST., M.Tr.T
NIK: 113112

Pembimbing I



Ir.Jhon Hericson Purba, S.Pd.,M.Pd
NIK: 119230

Penguji II

A large, stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Handri Toar.

Handri Toar, S.ST., M.Tr. T
NIK: 113114

Lembar Pengesahan Industri

Data laporan Tugas Akhir ini bebas dari plagiasi dan mendapatkan izin untuk disimpan, dikelola dan dipublikasikan untuk kepentingan akademik.

Disusun oleh :
Ivan Priadi Silaban (4232101025)

Program Studi : Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi
Jurusan : Teknik Elektro
Politeknik Negeri Batam

Judul Tugas Akhir : Analisis Tegangan Tembus Pada Minyak Isolasi Generator Transformator dan Auxiliary Transformator Unit 1 Sebelum dan Sesudah Purifikasi, Studi Kasus: UP PLTU Tanjung Balai Karimun

Perusahaan : PT PLN Indonesia Power UP PLTU Tanjung Balai Karimun

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing :



Ir. Jhon Herison Purba, S. Pd., M.Pd
NIK: 119230

Pembimbing Industri :

Arief Hidayatulloh
NIP: 9313005R2Y

Manager

Syaifil Edli
NIP: 8810740Z

Analisis Tegangan Tembus Pada Minyak Isolasi Generator Transformator dan Auxiliary Transformator Unit 1 Sebelum dan Sesudah Purifikasi, Studi Kasus: PLTU Tanjung Balai Karimun

Abstrak

Overhaul merupakan kegiatan pemeliharaan terjadwal pada suatu pembangkit listrik yang meliputi pemeriksaan dan perbaikan untuk meningkatkan kinerja unit pembangkit listrik tersebut. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Tanjung Balai Karimun melakukan kegiatan overhaul unit 1 pada bulan November. Transformator adalah salah satu peralatan penting dalam sistem penyaluran tenaga listrik yang bekerja secara berkelanjutan dalam dua puluh empat jam. Salah satu faktor yang paling mendominasi dalam pemeliharaan transformator adalah pada sistem isolasi minyak. Minyak Transformator harus memiliki kemampuan menahan tegangan tembus dan meredam panas yang ditimbulkan. Semakin kecil tegangan tembus pada minyak Transformator, maka kualitas minyak tersebut semakin buruk yang dapat menyebabkan loncatan api (*flash over*) antar komponen, naiknya temperatur kerja (*over heating*) dan turunnya tegangan isolasi. Untuk menjaga kontinuitas Transformator, perlu dilakukannya purifikasi dan pengujian minyak sebelum dan sesudah purifikasi terhadap tegangan tembus melalui alat *Breakdown Voltage Test*. Metode yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif dengan membandingkan hasil pengujian sampel minyak pada Generator Transformator dan Auxiliary Transformator unit 1 sebelum dan sesudah purifikasi dengan standar tegangan tembus berdasarkan IEC60156. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa pada Generator Transformator diperoleh rata-rata tegangan tembus sebelum purifikasi adalah 38,13 kV dan sesudah purifikasi 53,67 kV dengan kekuatan elektrik sebelum purifikasi 15,25 kV/mm dan sesudah purifikasi 21,47 kV/mm. Pada Auxiliary Transformator diperoleh rata-rata tegangan tembus sebelum purifikasi adalah 38,05 kV dan sesudah purifikasi sebesar 79,78 kV dengan kekuatan elektrik sebelum purifikasi 15,22 kV/mm dan sesudah purifikasi 31,91 kV/mm. Hasil kedua transformator tersebut memenuhi standar yang ditetapkan IEC 60156 yaitu >40 kV.

Kata kunci: tegangan tembus, purifikasi, transformator. IEC 60156

Analysis of Breakdown Voltage in Insulating Oil of Generator Transformer and Auxiliary Transformer Unit 1 Before and After Purification, Case Study: PLTU Tanjung Balai Karimun

Abstract

Overhaul is a scheduled maintenance activity at a power plant that includes inspection and repair to improve the performance of the power generation unit. Tanjung Balai Karimun Steam Power Plant (PLTU) conducted unit 1 overhaul activities in November. The transformer is one of the important equipment in the power distribution system that works continuously in twenty-four hours. One of the most dominating factors in transformer maintenance is the oil insulation system. Transformer oil must have the ability to withstand the breakdown voltage and reduce the heat generated. The smaller the breakdown voltage in the Transformer oil, the worse the quality of the oil which can cause flash over between components, increase in working temperature (over heating) and decrease in insulation voltage. To maintain the continuity of the Transformer, it is necessary to purify and test the oil before and after purification against the breakdown voltage through the Breakdown Voltage Test tool. The method used is descriptive quantitative by comparing the results of testing oil samples in the Transformer Generator and Auxiliary Transformer unit 1 before and after purification with the breakdown voltage standard based on IEC60156. Based on the results of the study, it was found that in the Transformer Generator, the average breakdown voltage before purification was 38.13 kV and after purification 53.67 kV with electrical strength before purification 15.25 kV/mm and after purification 21.47 kV/mm. In the Auxiliary Transformer, the average breakdown voltage before purification is 38.05 kV and after purification is 79.78 kV with electrical strength before purification 15.22 kV/mm and after purification 31.91 kV/mm. The results of the two transformers meet the standards set by IEC 60156 which is >40 kV

Keywords: breakdown voltage, purification, transformator, IEC 60156

Kata Pengantar

Puji dan syukur kehadirat Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul: “Analisis Tegangan Tembus Pada Minyak Isolasi Generator Transformator dan Auxiliary Transformator Unit 1 Sebelum dan Sesudah Purifikasi, Studi Kasus: PLTU Tanjung Balai Karimun”.

Penulisan Laporan Tugas Akhir ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan kelulusan tingkat Diploma IV pada Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam tahun 2024.

Dalam penulisan Laporan Tugas Akhir, Penulis dapat menyelesaikan hingga tersusun dengan baik adanya. Hal ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan semua pihak. Untuk itu izinkan penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan hikmat dan kebijaksanaan dalam setiap langkah dan pemikiran untuk Laporan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua yang sangat penulis sayangi yang telah memberkan seluruh dukungan, nasehat, dan doa yang terbaik kepada penulis untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
3. Diri saya sendiri Ivan Priadi Silaban, sebagai pengingat bahwa saya kuat, saya bisa, dan saya pantas untuk bangga pada apa yang telah saya capai. Percaya bahwa Tuhan selalu melihat apa yang kita kerjakan dan Tidak ada yang mustahil bagi Tuhan.
4. Abang Amsal Silaban S.Tr.T dan Rahel Silaban yang telah mensupport penulis dalam keadaan apapun untuk dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
5. Bapak Ir. Bambang Hendrawan, ST., MSM., CIPMP., CISCIP., selaku Direktur Politeknik Negeri Batam.
6. Bapak Ir. Indra Hardian Mulyadi, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Batam.
7. Bapak Irwanto Zarma Putra, S.Pd. M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi di Politeknik Negeri Batam.
8. Bapak Muhammad Prihadi Eko Wahyudi, S.T., M.T., dan Ibu Hasnira S.ST., M.Tr.T., selaku Koordinator Magang di Program Studi Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi.
9. Bapak Ir.Jhon Hericson Purba, S.Pd.,M.Pd, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah bersedia membimbing, meluangkan waktu, dan memberikan arahan serta motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

10. Ibu Hasnira, S.ST., M.Tr.T dan Bapak Handri Toar, S.ST., M.Tr.T, selaku Dosen Penguji 1 dan Dosen Penguji 2 yang telah bersedia menguji dan memberikan arahan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
11. Bapak Syaifil Edli selaku Manager di PLTU Tanjung Balai Karimun.
12. Bapak Arief Hidayatulloh, selaku Team Leader Pemeliharaan di PLTU Tanjung Balai Karimun.
13. Bapak Jefri, selaku Mentor Lapangan yang telah bersedia meluangkan waktu untuk mengajari dan mengarahkan penulis selama magang dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.
14. Seluruh Staff dan Karyawan Team Pemeliharaan Listrik, Boiler, Instrumen, Turbin, Pompa yang telah bersedia meluangkan waktu untuk mengajari, mengarahkan, dan memberikan ilmu yang belum pernah penulis terima sebelumnya.
15. Kepada rekan-rekan magang di PLTU Tanjung Balai Karimun yang sudah kebersamai dalam suka maupun duka selama magang dan penyusunan Tugas Akhir ini.
16. Seluruh teman-teman Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi A Pagi, yang kebersamai dalam suka maupun duka selama menjalankan perkuliahan delapan semester ini.
17. Serta seluruh pihak yang membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan karena keterbatasan kemampuan penulis. Oleh karena itu penulis memohon maaf dan mengharapkan kritik serta saran yang membangun dari Pembaca. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis serta yang membacanya.

Batam, 2 Januari 2025



Ivan Priadi Silaban

Daftar Isi

Keaslian Akhir	i
Lembar Pengesahan	ii
Lembar Pengesahan Industri	iii
Abstrak	iv
<i>Abstract</i>	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xi
Bab 1. Pendahuluan	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan	2
1.4. Manfaat	3
1.5. Batasan	3
Bab 2. Tinjauan Pustaka	4
2.1 Penelitian Terkait	4
2.2 Transformator	6
2.2.1 Generator Transformator	6
2.2.2 Unit Auxylary Transformator	7
2.3 Komponen Transformator	7
2.3.1 Komponen Utama	7
2.3.2 Komponen Pendukung	9
2.4 Minyak Isolasi Transformator	11
2.5 Jenis Jenis Minyak Isolasi	12
2.5.1 Minyak Isolasi Mineral	12
2.5.2 Minyak Isolasi Sintesis	12
2.6 Tegangan Tembus (<i>Breakdown Voltage</i>)	13

2.7 Purifikasi	15
Bab 3. Metodologi Penelitian	16
3.1. Perancangan Penelitian	16
3.2. Pengumpulan Data	17
3.2.1. Data Penelitian	17
3.3. Pengujian.....	19
3.3.1. Purifikasi Minyak Transformator	19
3.3.2. Pengujian Tegangan Tembus.....	20
3.4 Analisis Data dan Pembahasan.....	22
3.5 Perhitungan Tegangan Tembus Minyak Isolasi Generator Transformator Unit 1 Sebelum dan Setelah Purifikasi PLTU Tanjung Balai Karimun	22
3.6 Perhitungan Tegangan Tembus Minyak Isolasi Auxiliary Transformator Unit 1 Sebelum dan Setelah Purifikasi PLTU Tanjung Balai Karimun	23
Bab IV Hasil dan Pembahasan	24
4.1 Data Tegangan Tembus Generator Transformator dan Auxiliary Transformator Unit 1 PLTU Tanjung Balai Karimun.....	24
4.2 Hasil dan Analisis Pengujian Tegangan Tembus Generator Transformator Unit 1 Sebelum dan Sesudah Purifikasi PLTU Tanjung Balai Karimun	26
4.3 Hasil dan Analisis Pengujian Tegangan Tembus Auxiliary Transformator Unit 1 Sebelum dan Sesudah Purifikasi PLTU Tanjung Balai Karimun.....	28
Bab V Penutup.....	30
5.1 Kesimpulan	30
5.2 Saran	31
Daftar Pustaka.....	32
Lampiran	35

Daftar Gambar

Gambar 1. Transformator PLTU Tanjung Balai Karimun.....	6
Gambar 2. Generator Transformator Unit 1 PLTU Tanjung Balai Karimun.....	6
Gambar 3. UAT Unit 1 PLTU Tanjung Balai Karimun.....	7
Gambar 4. Inti Besi	7
Gambar 5. Kumparan	8
Gambar 6. Bushing	8
Gambar 7. Minyak Transformator	8
Gambar 8. Tangki Konservator	9
Gambar 9. <i>Tap Changer</i>	9
Gambar 10. Pendinginan	10
Gambar 11. Silicagel	10
Gambar 12. Indikator	11
Gambar 13. Minyak Isolasi Mineral Shell Diala B	12
Gambar 14. Minyak Isolasi Sintesis	13
Gambar 15. <i>Breakdown Voltage Test</i> Megger OTS80PB	14
Gambar 16. <i>Vacuum Transformer Oil Purifier</i>	15
Gambar 17. Diagram Alir Perancangan Penelitian	16
Gambar 18. Proses Purifikasi.....	19
Gambar 19. Sampel Minyak Sebelum Purifikasi	20
Gambar 20. Sampel Minyak Sesudah Purifikasi	20
Gambar 21. Pengujian Tegangan Tembus.....	21
Gambar 22. Grafik GT dan UAT PLTU Tanjung Balai Karimun	25
Gambar 23. Grafik Pengujian Tegangan Tembus GT Unit 1	27
Gambar 24. Grafik Pengujian Tegangan Tembus UAT Unit 1	29

Daftar Tabel

Tabel 1. <i>Vacuum Transformer Oil Purifier</i>	17
Tabel 2. <i>Breakdown Voltage Test Megger OTS80PB</i>	17
Tabel 3. Generator Transformator unit 1	17
Tabel 4. Auxiliary Transformator unit 1	18
Tabel 5. Standar Tegangan Tembus IEC 60156	18
Tabel 6. Hasil Tegangan Tembus GT dan UAT Unit 1	24
Tabel 7. Data Tegangan Tembus GT Unit 1 Sebelum dan Sesudah Purifikasi	26
Tabel 8. Kekuatan Dielektrik GT Unit 1	27
Tabel 9. Data Tegangan Tembus UAT Unit 1 Sebelum dan Sesudah Purifikasi	28
Tabel 10. Kekuatan Dielektrik UAT Unit 1	29

Bab 1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) adalah salah satu perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang dipercaya oleh pemerintah untuk mengelola aset negara dibidang ketenagalistrikan. Saat ini tidak dapat dipungkiri, PLN harus menghadapi tantangan yaitu situasi serta kondisi sosial, politik, dan ekonomi yang belum kondusif. Menghadapi tantangan tersebut perusahaan diharapkan untuk terus meningkatkan kinerjanya dengan melakukan langkah-langkah menuju peningkatan efisiensi dan peningkatan kontinuitas pelayanan. Salah satu langkah yang diambil untuk meningkatkan efisiensi dan peningkatan kontinuitas pelayanan tersebut adalah dengan memaksimalkan penggunaan PLTU Batubara yang biaya operasionalnya lebih rendah dari pembangkitan dengan tenaga diesel.

PT. PLN Indonesia Power merupakan salah satu subholding PT. PLN yang berperan penting dalam sektor ketenagalistrikan di Indonesia. Sebagai penyedia solusi energi, PLN Indonesia Power mengelola 36 Unit Bisnis Pembangkitan dan 1 Unit Bisnis Pemeliharaan. PLTU Tanjung Balai Karimun adalah salah satu unit bisnis pembangkitan di wilayah Kepulauan Riau yang diresmikan pada tahun 2011 dengan memanfaatkan batu bara sebagai bahan bakar utama. Pembangunan PLTU Tanjung Balai Karimun terdiri dari 2 Unit yang dimana masing-masing unit menghasilkan listrik kapasitas terpasang 7 MW sehingga total listrik yang dihasilkan berkapasitas terpasang 14 MW. Ini merupakan salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi krisis penyediaan energi listrik di kabupaten Karimun, Kepulauan Riau. Suatu wilayah maju dapat dilihat dari kebutuhan energi yang sejalan dengan pertumbuhan ekonomi sehingga dipandang perlu untuk memanfaatkan energi listrik secara efisien, baik dari penggunaannya maupun proses pembangkitan itu sendiri [1].

PLTU Tanjung Balai Karimun unit 1 melakukan kegiatan overhaul pada bulan November. Overhaul merupakan kegiatan pemeliharaan terjadwal pada suatu pembangkit listrik yang meliputi pemeriksaan dan perbaikan untuk meningkatkan kinerja unit pembangkit listrik tersebut. Salah satu faktor yang paling mendominasi dalam pemeliharaan transformator adalah pada sistem isolasi. Isolasi tersebut terdiri dari isolasi kertas dan isolasi minyak.

Dalam penyaluran tenaga listrik, Transformator adalah salah satu komponen utama yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke rendah atau sebaliknya [2]. Sebagian besar, kumparan dan inti traformator daya direndam dalam minyak Transformator. Minyak Transformator harus memiliki kemampuan menahan tegangan tembus dan meredam panas yang ditimbulkan.

Semakin kecil tegangan tembus pada minyak Transformator, maka kualitas minyak tersebut semakin buruk yang dapat menyebabkan loncatan api (*flash over*) antar komponen, naiknya temperatur kerja (*over heating*) dan turunnya tegangan isolasi [3]. Untuk menjaga kontinuitas Transformator, perlu dilakukannya purifikasi yang bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan kontaminasi berupa partikel seperti kandungan air, debu batubara, dan kontaminasi fisik lainnya melalui alat *Vacuum Transformer Oil Purifier* dan juga dilakukan pengujian terhadap tegangan tembus sebelum dan sesudah purifikasi melalui alat *Breakdown Voltage Test*. Oleh sebab itu, dilakukan penelitian dengan judul “Analisis Tegangan Tembus Pada Minyak Isolasi Generator Transformator dan Auxiliary Transformator Unit 1 Sebelum dan Sesudah Purifikasi, Studi Kasus: PLTU Tanjung Balai Karimun”.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang disusun berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan antara lain:

1. Bagaimana tahapan pengujian sampel minyak pada Generator Transformator dan Auxiliary Transformator unit 1 di PLTU Tanjung Balai Karimun?
2. Bagaimana menghitung nilai rata-rata tegangan tembus dan nilai kekuatan dielektrik minyak pada Generator Transformator dan Auxiliary Transformator unit 1 di PLTU Tanjung Balai Karimun?
3. Bagaimana perbandingan hasil pengujian sampel minyak pada Generator Transformator dan Auxiliary Transformator unit 1 sebelum dan sesudah purifikasi dengan standar tegangan tembus berdasarkan IEC60156?

1.3. Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui dan menganalisis tahapan pengujian sampel minyak Generator Transformator dan Auxiliary Transformator unit 1 di PLTU Tanjung Balai Karimun.
2. Mengamati, memperoleh, dan menganalisis secara langsung hasil pengujian tegangan tembus minyak pada Generator Transformator dan Auxiliary Transformator unit 1 di PLTU Tanjung Balai Karimun.
3. Menganalisis perbandingan dari hasil pengujian sampel minyak pada Generator Transformator dan Auxiliary Transformator unit 1 sebelum dan sesudah purifikasi dengan standar tegangan tembus berdasarkan IEC60156.

1.4. Manfaat

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi pembaca dan penulis, sebagai bahan pembelajaran dan sumber pengetahuan mengenai tegangan tembus pada minyak isolasi Generator Transformator dan Auxiliary Transformator Unit 1 sebelum dan sesudah purifikasi di PLTU Tanjung Balai Karimun.
2. Bagi pembaca dan penulis, dapat dijadikan referensi dan menambah wawasan mengenai tahapan pengujian sampel minyak Transformator terhadap tegangan tembus sebelum dan sesudah purifikasi yang dilakukan di PLTU Tanjung Balai Karimun.
3. Bagi perusahaan, penulis dapat memberikan rekomendasi pihak PLTU Tanjung Balai Karimun mengenai hasil dari kualitas minyak terhadap tegangan tembus pada Generator Transformator dan Auxiliary Transformator unit 1 sebelum dan sesudah purifikasi.

1.5. Batasan

Untuk menyelesaikan masalah Tugas Akhir ini dan agar pembahasan tidak meluas, maka penulis membatasi penelitian ini dengan hanya membahas mengenai:

1. Hasil pengujian sampel minyak isolasi Generator Transformator dan Auxiliary Transformator unit 1 terhadap tegangan tembus sebelum dan sesudah purifikasi pada PLTU Tanjung Balai Karimun.
2. Jenis pengujian adalah tegangan tembus pada Generator Transformator dan Auxiliary Transformator unit 1 sebelum dan sesudah purifikasi pada PLTU Tanjung Balai Karimun.
3. Pengujian menggunakan *Vacuum Transformer Oil Purifier* dan *Breakdown Voltage Test* merk Megger.
4. Minyak yang digunakan adalah *Shell Diala B* yaitu jenis minyak mineral.
5. Purifikasi minyak transformator dan pengujian tegangan tembus dilakukan di PLTU Tanjung Balai Karimun.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

2.1 Penelitian Terkait

Dalam penelitian dan penyusunan tugas akhir ini dibutuhkan referensi penelitian sebelumnya seperti buku, jurnal, dan literatur lainnya. Beberapa referensi tersebut dapat memberikan pemahaman dan membantu dalam menyelesaikan penelitian yang berjudul “Analisis Tegangan Tembus Pada Minyak Isolasi Generator Transformator dan Auxylary Transformator Unit 1 Sebelum dan Sesudah Purifikasi, Studi Kasus: PLTU Tanjung Balai Karimun”.

Penelitian [3] berjudul **“Analisis Tegangan Tembus Minyak Transformator Di PT. PLN (Persero) Bogor”** yang diteliti oleh Christine Widyastuti dan Rakai Alvin Wisnuaji, 2019. Penelitian ini bertujuan untuk menjaga kinerja umur Transformator, sehingga penyaluran energi listrik kepada konsumen dapat terus terjaga keberlangsungannya. Berdasarkan penelitian ini hasil pengujian dari Transformator 1-3 memiliki tegangan tembus masing-masing adalah 49,4 kV/2,5 mm, 44,3 kV/2,5 mm, 41,1 kV/2,5 mm sehingga nilai tegangan tembus dari minyak Transformator masih diatas minimal standar tegangan tembusnya dan dapat dipergunakan sebagai isolasi pada Transformator.

Penelitian [4] berjudul **“Analisis Pengaruh Purifikasi (Filtering) Terhadap Kualitas Tegangan Tembus Minyak Transformator”** yang diteliti oleh Hoppe Khoiru Mubarak, 2022. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas tegangan tembus sebelum dan sesudah di purifikasi dan mengetahui karakteristik minyak Transformator terhadap perubahan suhu. Berdasarkan penelitian ini hasil pengujian adalah sebelum dilakukan purifikasi nilai tegangan tembus dibawah minimum standar IEC 60296 rata-rata 27 kV/2,5 mm dan 33,9 kV/2,5 mm sedangkan setelah dilakukan purifikasi nilai tegangan tembus rata-rata 74,71 kV/2,5 mm dan 76,71 kV/2,5 mm dan trafo tersebut tahan terhadap perubahan suhu sebesar 50 oC-60 oC.

Penelitian [5] berjudul **“Analisis Performa Transformator 2500 kVA Setelah Perbaikan Dan Purifikasi”** yang diteliti oleh Waspiran dan Aripin Triyanto, 2023. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas kerja dengan melakukan pemurnian Transformator. Berdasarkan penelitian ini hasil pengujian adalah terjadi penurunan tegangan tembus sebesar 39% akan tetapi masih dalam Batasan >30 kV dengan rata-rata beban 1145 A.

Penelitian [6] berjudul **“Pengujian Minyak Transformator Dengan Uji Tegangan Tembus Pada Main Transformator GT 1.2 PT PLN Indonesia Power Cilegon PGU”** yang diteliti oleh Nurmiati Pasra, Dinaryana Firmansyah, Kartika Tresya Mauriraya, Alex Fernandes, 2023. Penelitian ini bertujuan untuk menguji tegangan tembus pada main Transformator sebelum dilakukannya pemeliharaan di PT PLN Indonesia Power Cilegon PGU. Berdasarkan penelitian ini, hasil pengujiannya adalah pada posisi pengujian transformator main tank top sebesar

80,2 kV/2,5 mm, main tank bottom sebesar 80,2 kV/2,5 mm dan tap changer sebesar 80,1 kV/2,5 mm sehingga rata-rata nilai tegangan tembus <40 kV/2,5 mm, diperlukan pemeliharaan menyeluruh.

Penelitian [7] berjudul **“Treatment Oil Trafo Terhadap Peningkatan Tegangan Tembus Pada Trafo Distribusi KA 756 di By Pass Ngurah Rai”** yang diteliti oleh I Gusti Ketut Abasana dan I Wayan Teresna. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui peningkatan tegangan tembus dari pemeliharaan trafo yang dilakukan dengan alat *oil treatment plant*. Berdasarkan penelitian ini, hasil pengujiannya adalah meningkatnya tegangan tembus trafo dari 27,9 kV/2,5 mm menjadi 60 kV/2,5 mm sehingga *treatment* trafo berpengaruh pada meningkatnya performa dari trafo tersebut.

Makalah seminar kerja [8] berjudul **“PROSES PURIFIKASI MINYAK TRANSFORMATOR DENGAN MENGGUNAKAN OIL TREATMENT PLANT PT BANYU BENING”** yang dibuat oleh Dhika Arya Nugraha. Makalah ini bertujuan untuk mengetahui prinsip kerja dari purifikasi oil dan dapat mengoperasikannya secara langsung.

Penelitian [9] berjudul **“Kegagalan Isolasi Minyak Trafo”** yang dibuat oleh Dedi Nugroho, 2010. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apa saja penyebab dari kegagalan isolasi minyak trafo. Berdasarkan penelitian ini, hasilnya adalah adanya bahan kontaminan dapat menyebabkan penurunan signifikan terhadap tegangan tembus minyak.

Penelitian [10] berjudul **“ANALISIS KARAKTERISTIK MINYAK TRANSFORMATOR STARLITE 400 kVA TERHADAP TEGANGAN TEMBUS”** yang diteliti oleh Eri Suherman dan M Akbar, 2020. Penelitian ini bertujuan untuk membahas pengaruh kadar air terhadap tegangan tembus minyak trafo dengan standar SPLN No.49/192/Unit KV/2,5 mm. berdasarkan penelitian ini, hasil pengujiannya adalah trafo masih beroperasi normal dan baik dengan tegangan tembus 32,4 kV/2,5 mm, kadar air 15.6 ppm, kadar asam 0.25 mgKOH/gr, tegangan antar muka 28.mN/m, warna 1.3 dan masih dalam batasan IEC 60422.2007.

Penelitian [11] berjudul **“PENGARUH KONDISI MINYAK TERHADAP KEANDALAN SISTEM KERJA TRANSFORMATOR (STUDI KASUS DI PT. INDOCEMENT TUNGGAL PRAKARSA, TBK. PLANT 12 TARJUN – KALIMANTAN SELATAN) TAHUN 2017”** yang diteliti oleh Saiful Karim, 2018. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui susut umur trafo yang dipengaruhi oleh minyak trafo dan isolasi belitan trafo. Berdasarkan penelitian ini, hasilnya adalah umur trafo yang semakin tua dapat mempengaruhi kekentalan minyak (viskositas) dan kualitas isolasinya serta dapat dilihat dari nilai tegangan tembus yang semakin menurun.

Penelitian [12] berjudul **“Analisis Nilai Tahanan Isolasi dan Tegangan Tembus pada Minyak Transformator 150 kV Sebelum dan Sesudah Purifikasi di PT Energi Listrik Batam”** yang diteliti oleh Muhammad Suharian Safriandi, 2024. Penelitian

ini bertujuan untuk mengetahui kualitas dari minyak transformator tersebut dan melakukan purifikasi. Berdasarkan penelitian ini, hasilnya adalah nilai tahanan dan tegangan tembus mengalami peningkatan mencapai 80 kV.

2.2 Transformator

Transformator adalah suatu alat yang dapat mentransformasikan energi listrik dengan merubah tingkat tegangannya yaitu dari tinggi ke rendah atau sebaliknya melalui prinsip induksi magnetik tanpa merubah frekuensi.

Berdasarkan fungsinya terdapat 3 jenis Transformator yaitu Generator Transformator (GT), Unit Service Transformator (UST), dan Unit Auxylary Transformator (UAT). Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai GT dan UAT.



Gambar 1. Transformator PLTU Tanjung Balai Karimun

2.2.1 Generator Transformator

Pada pembangkit listrik, generator digunakan untuk menghasilkan daya listrik, yang kemudian disalurkan melalui transformator untuk mengubah tegangan ke tingkat yang sesuai untuk didistribusikan ke rumah dan bisnis. PLTU Tanjung Balai Karimun memiliki 2 Generator Transformator untuk dua unit pembangkit. Masing-masing Generator menghasilkan listrik dengan tegangan keluaran sebesar 6,3 kV dan dinaikkan tegangannya menjadi 20 kV oleh Generator Transformator.



Gambar 2. Generator Transformator Unit 1 PLTU Tanjung Balai Karimun

2.2.2 Unit Auxylary Transformator

Unit Auxylary Transformator (UAT) adalah salah satu komponen penunjang pada sistem pembangkit listrik yang digunakan sebagai penurun tegangan (step down) untuk memberikan supply daya pada peralatan yang ada di pembangkit tersebut. PLTU Tanjung Balai Karimun memiliki 2 Unit Auxylary Transformator untuk dua unit pembangkit. Masing-masing UAT menurunkan tegangan yang berasal dari keluaran generator sebesar 6,3 kV menjadi 380 Volt yang disalurkan langsung ke peralatan pendukung pembangkit tersebut.



Gambar 3. UAT Unit 1 PLTU Tanjung Balai Karimun

2.3 Komponen Transformator

2.3.1 Komponen Utama

1. Inti Besi

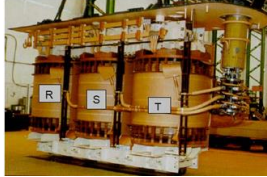
Inti besi terbentuk dari lempengan besi tipis yang dilaminasi dan ditumpuk bersama untuk membentuk sirkuit magnetik tertutup. Ini dirancang untuk meminimalkan kehilangan energi karena *eddy current*. *Eddy current* adalah arus sirkulasi yang dihasilkan oleh induksi medan magnet pada inti besi yang akan mengakibatkan rugi-rugi (*losses*). Inti besi berfungsi untuk menyediakan jalur bagi fluks magnet yang dihasilkan oleh arus listrik yang mengalir melalui kumparan.



Gambar 4. Inti Besi

2. Kumparan

Kumparan terdiri dari gulungan kawat berinsulasi yang dililitkan di sekitar inti besi. Kumparan terdiri dari kumparan primer dan sekunder. Kumparan primer menerima arus listrik dari sumber, sedangkan kumparan sekunder mengeluarkan arus listrik dengan tingkat tegangan yang berbeda. Untuk itu, kualitas kawat tembaga yang digunakan sangat penting untuk efisiensi Transformator.



Gambar 5. Kumparan

3. Bushing

Bushing merupakan sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator, yang berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan tangki Transformator.



Gambar 6. Bushing

4. Minyak Transformator

Minyak Transformator adalah salah satu jenis bahan isolasi cair yang digunakan sebagai isolasi dan pendingin pada Transformator sehingga harus memiliki kemampuan menahan tegangan tembus, meredam panas yang akan terjadi, dan melindungi Transformator dari kerusakan.



Gambar 7. Minyak Transformator

5. Tangki Konservator

Bagian-bagian trafo yang terendam minyak trafo biasanya ditempatkan dalam tangki. Tangki juga memiliki konservator untuk menampung pemuatan minyak trafo. Minyak isolasi disimpan di konservator saat transformator mengalami kenaikan suhu operasi. Saat suhu operasi naik, minyak akan memuai, meningkatkan volumenya, tetapi ketika suhu operasi turun, minyak akan menyusut, menurunkan volumenya.[2]



Gambar 8. Tangki Konservator

2.3.2 Komponen Pendukung

1. Tap Changer

Tap Changer digunakan untuk menyesuaikan *output* tegangan Transformator. Hal ini memungkinkan Transformator untuk mengimbangi fluktuasi tegangan di jaringan listrik.



Gambar 9. *Tap Changer*

2. Pendingin

Suhu kerja transformator dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk kualitas tegangan utama, kerugian yang terjadi dalam transformator itu sendiri, serta suhu lingkungan di sekitarnya. Jika temperatur operasi terlalu tinggi, hal ini dapat merusak isolasi kertas yang terdapat dalam

transformator. Oleh karena itu, sangat penting untuk memiliki sistem pendinginan yang efektif agar transformator dapat berfungsi dengan baik dan terhindar dari kerusakan.



Gambar 10. Pendinginan

3. Silicagel

Penggunaan transformator sering kali terkait dengan perubahan suhu dan perubahan beban yang menyebabkan suhu minyak dalam transformator juga berubah-ubah sesuai dengan situasi tersebut. Ketika suhu minyak meningkat, minyak akan memuai dan mendorong udara di atas permukaannya keluar dari tangki. Sebaliknya, saat suhu minyak menurun, minyak akan menyusut, sehingga udara dari luar akan masuk ke dalam tangki. Proses ini dikenal sebagai pernapasan transformator.

Akibat dari proses ini, permukaan minyak selalu bersinggungan dengan udara luar. Namun, adanya kelembaban dalam udara luar dapat menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator. Untuk mengantisipasi hal tersebut, bagian ujung pipa yang menghubungkan ke atmosfer dilengkapi dengan sebuah sistem pernapasan menggunakan silica gel. Tabung berisi kristal zat *hygroskopis* seperti silica gel berfungsi untuk menyerap kelembapan dari udara luar, sehingga risiko penurunan nilai tekanan tembus minyak transformator dapat diminimalkan. Dengan demikian, sistem ini membantu menjaga konsistensi dan integritas minyak dalam transformator, serta memastikan bahwa performa keseluruhan transformator tetap optimal.



Gambar 11. Silicagel

4. Indikator

Selama 24 jam beroperasi, Transformator memiliki indikator yang digunakan untuk mengetahui kondisi trafo tersebut. Indikator yang ada pada Transformator tersebut adalah *Winding Temperature Indicator* dan *Oil Temperature Indicator*. [2]



Gambar 12. Indikator

2.4 Minyak Isolasi Transformator

Minyak isolasi adalah salah satu jenis bahan isolasi cair yang digunakan dalam sistem kelistrikan, bersamaan dengan bahan isolasi padat dan gas. Bahan-bahan isolasi ini memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan udara, sehingga sangat penting untuk mencegah kegagalan listrik pada peralatan bertegangan tinggi. Fungsi dari minyak trafo sebagai berikut:

1. Sebagai bahan isolasi, yaitu minyak Transformator harus mampu menahan tegangan tembus yang tinggi untuk mencegah terjadinya tembus listrik (*breakdown*) antara kumparan-kumparan Transformator.
2. Sebagai bahan pendingin, yaitu kemampuan minyak Transformator dalam mengalirkan panas yang dihasilkan dari inti dan kumparan ke bagian terluar yaitu tangki Transformator.
3. Sebagai pelindung, yaitu minyak Transformator mampu melindungi komponen didalam Transformator terhadap korosi dan oksidasi.

Minyak isolasi Transformator harus memenuhi beberapa persyaratan penting untuk memastikan kinerja yang optimal dan aman. Berikut ini adalah beberapa persyaratan sesuai dengan standar IEC 296 sebagai berikut:

1. Tidak merusak bahan isolasi yang ada dalam Transformator.
2. Memiliki kekuatan isolasi yang tinggi.
 - Minyak baru yang belum difilter, tegangannya $>30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$.
 - Minyak baru yang sudah difilter, tegangannya $>50 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$.

3. Berat jenis minyak yang ringan membuat partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
4. Memiliki viskositas rendah sehingga memungkinkan minyak untuk mudah bersirkulasi dan meningkatkan kemampuan pendingin. Viskositas berada pada suhu 40°C yaitu < 16,5 cSt.
5. Memiliki titik nyala (*flash point*) tinggi sehingga melindungi dari bahaya kebakaran. Batasan minimum *flash point* adalah > 163°C dan *pour point* adalah -30°C. [2]

2.5 Jenis Jenis Minyak Isolasi

2.5.1 Minyak Isolasi Mineral

Minyak isolasi mineral adalah jenis minyak yang dihasilkan dari proses pengolahan minyak bumi yang akan diproses dengan cara destilasi. Setelah didestilasi, minyak isolasi perlu dimodifikasi supaya tahanan isolasinya tinggi, stabilitas panasnya stabil dan memenuhi berbagai syarat teknis yang lain.

Dalam konteks ini, minyak isolasi berfungsi sebagai bahan dielektrik, pendingin (penyerap panas), dan juga sebagai pemadam busur api. Namun, penting untuk dicatat bahwa minyak bumi adalah sumber daya yang tidak terbarukan dan semakin menipis seiring berjalannya waktu. Oleh karena itu, penggunaannya harus dilakukan secara efektif dan efisien. Hal ini menimbulkan kebutuhan akan sumber daya alternatif yang terbarukan untuk menggantikan minyak bumi. Dalam penelitian ini, minyak yang digunakan adalah Shell Diala B, yang dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Minyak Isolasi Mineral Shell Diala B

2.5.2 Minyak Isolasi Sintesis

Minyak isolasi sintesis dihasilkan melalui proses kimia yang dirancang untuk mencapai karakteristik tertentu yang lebih baik dibandingkan dengan minyak isolasi berbahan dasar mineral. Minyak isolasi sintesis memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan minyak isolasi mineral. Salah satu keunggulan minyak isolasi sintesis adalah tidak mudah terbakar dan tidak mudah teroksidasi, menjadikannya lebih aman untuk digunakan. Namun, perlu diperhatikan bahwa minyak ini bersifat beracun dan dapat menyebabkan iritasi pada kulit.



Gambar 14. Minyak Isolasi Sintesis

2.6 Tegangan Tembus (*Breakdown Voltage*)

Tegangan tembus minyak transformator didefinisikan sebagai tegangan yang diperlukan untuk menyebabkan pelepasan listrik antara dua elektroda yang dicelupkan ke dalam minyak transformator yang sedang diuji. Bentuk dan dimensi elektroda sangat penting dalam pengujian ini. Permukaan elektroda harus dijaga agar tetap bersih, karena adanya lapisan udara, gelembung, goresan, dan kontaminan lainnya dapat memengaruhi hasil pengujian. Oleh karena itu, pengujian sebaiknya dilakukan segera setelah elektroda dicelupkan ke dalam minyak transformator untuk memastikan bahwa kotoran dan gelembung udara telah hilang [13].

Breakdown Voltage Test merupakan Dengan melakukan tes ini, kita dapat menilai apakah isolasi minyak masih berfungsi optimal atau tidak. Jika hasil Pengujian menunjukkan nilai tegangan tembus yang tinggi, maka dapat disimpulkan bahwa kondisi minyak transformator masih baik dan siap digunakan. Jika nilai tegangannya rendah, berarti kondisinya kurang ideal. Umumnya, nilai tegangan tembus yang dianggap baik biasanya > 50 kV.

Pengujian Tegangan tembus menggunakan alat Breakdown Voltage Test Merk Megger berdasarkan prosedur standar IEC 60156 dengan jarak sela elektroda (Gap) 2,5 mm. Kapasitas maksimal alat Breakdown Voltage Test Megger sebesar 80 kV. Pengujian tegangan tembus dilakukan sebanyak enam kali, dimana masing-masing Pengujian dijeda selama dua menit, guna sampel melakukan *selfhealing*.



Gambar 15. Breakdown Voltage Test Megger OTS80PB

Pada penelitian ini dilakukan pengujian minyak isolasi pada Generator Transformator dan Auxylary Transformator Unit 1 terhadap tegangan tembus sebelum dan sesudah purifikasi dengan berdasarkan standar tegangan tembus IEC 60156. Pengujian dilakukan menggunakan alat Breakdown Voltage Test Megger OTS80PB. Alat ini menggunakan elektroda setengah bola. Minyak isolasi yang digunakan adalah *mineral oil* Shell Diala B. Pengujian ini dilakukan berulang sebanyak enam kali percobaan dalam jarak waktu dua menit. Perhitungan tegangan tembus bisa dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$V_{b\text{rata-rata}} = \frac{\text{Test 1} + \text{Test 2} + \text{Test 3} + \text{Test 4} + \text{Test 5} + \text{Test 6}}{6}$$

Kekuatan dielektrik merupakan salah satu faktor yang memengaruhi terjadinya tegangan tembus. Kekuatan dielektrik adalah ukuran kemampuan suatu bahan untuk menahan medan listrik tanpa mengalami kerusakan. Kekuatan dielektrik menunjukkan seberapa baik suatu material dapat berfungsi sebagai isolator dalam kondisi tertentu, dan semakin tinggi nilai ini, semakin baik kualitas isolasi bahan tersebut[14]. Perhitungan kekuatan dielektrik Minyak Transformator dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$E_{\text{Rata-rata}} = \frac{V_{b\text{rata-rata}}}{d}$$

Keterangan:

- V_b : Tegangan Tembus (kV)
- E : Kekuatan dielektrik (kV/mm)
- D : Jarak sela (mm).[15]

2.7 Purifikasi

Purifikasi adalah suatu proses yang dirancang untuk memurnikan minyak trafo dengan mengurangi atau menghilangkan kontaminasi berupa partikel-partikel, kandungan air, kandungan gas, dan kontaminasi fisik lainnya. Proses ini menggunakan alat yang disebut *Vacuum Transformer Oil Purifier* (VTOP). Tujuan utama dari purifikasi oil trafo adalah sebagai berikut:

1. Menghilangkan partikel-partikel kecil seperti debu batubara yang dapat menyumbat saluran oil dan mengganggu arus listrik.
2. Menghilangkan kandungan air yang dapat menyebabkan korosi atau gangguan listrik
3. Menghilangkan gas-gas terlarut yang dapat bereaksi dengan oil sehingga menyebabkan penurunan kualitas oil tersebut.

Ada dua metode yang digunakan dalam proses purifikasi sebagai berikut:

1. Metode *Offline*, merupakan proses yang dilakukan ketika unit atau Transformator dalam kondisi tidak bekerja atau *shutdown*.
2. Metode *Online*, merupakan proses yang dilakukan ketika unit atau Transformator dalam kondisi bekerja.

Pada PLTU Tanjung Balai Karimun, Proses purifikasi dilakukan pada saat pemeliharaan periodik ataupun overhaul pembangkit tersebut. Kegiatan purifikasi minyak trafo hanya dapat dilakukan saat transformator tidak sedang beroperasi.

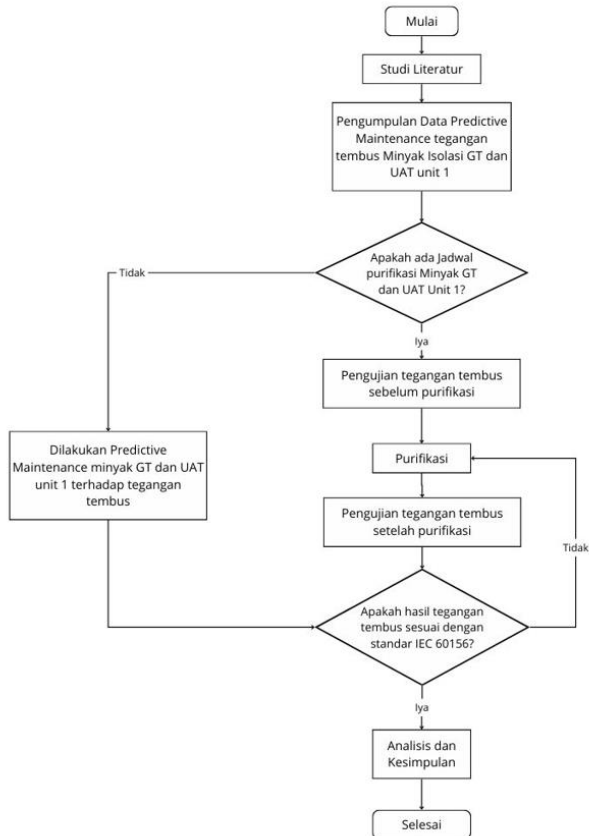


Gambar 16. *Vacuum Transformer Oil Purifier*

Bab 3. Metodologi Penelitian

3.1. Perancangan Penelitian

Perancangan penelitian ini menjelaskan seluruh kegiatan yang dilaksanakan selama penelitian berlangsung. Berikut adalah diagram alir dari penelitian ini.



Gambar 17. Diagram Alir Perancangan Penelitian

3.2. Pengumpulan Data

3.2.1. Data Penelitian

Penelitian ini mengumpulkan berbagai data yang diperlukan saat pengujian tegangan tembus diantaranya

1. Data Sekunder

Pada data ini digunakan sebagai pelengkap dan tambahan informasi dalam penelitian yang dilakukan. Jenis data sebagai berikut:

- Data spesifikasi *Vacuum Transformer Oil Purifier*

Tabel 1. Vacuum Transformer Oil Purifier

Merk-Type	Lushun ZJA-30
Oil Flow	30L/M
Working Vacuum Degree	-0.06 ~ -0.099 MPa
Working Pressure	≤0.5 MPa
Working Temperature	≤80°C
Power	380V/50Hz
Total Power	35 KW

- Data spesifikasi *Breakdown Voltage Test Megger OTS80PB*

Tabel 2. Breakdown Voltage Test Megger OTS80PB

Merk-Type	Megger OTS0PB
Power Suplai	85-265 Vac
Tegangan Uji	0-80 KV rms
Resolusi Tegangan	0.1 kV ± 1% ± 2 digit
Vessel	400 ml (standart)
Batasan Temperatur	10 ^o -65°C
Resolusi Temperatur	1°C

- Data spesifikasi Generator Transformator unit 1

Tabel 3. Generator Transformator unit 1

Merk-Type	Unindo 8437 Oil Filled With Conservator
Frequency	50Hz
Type of Cooling	ONAN/ONAF
Type of Oil	Mineral Oil
Nominal Rating	9/11 MVA
Nominal Voltage	20000/6300 Volt

Nominal Current	317,5/100,1 A
Impedance	9%
Weight Of Oil	5000 Kg

- Data spesifikasi Auxiliary Transformator unit 1

Tabel 4.Auxiliary Transformator unit 1

Merk-Type	Unindo 84382
Frequency	50 Hz
Type of Cooling	ONAN
Type of Oil	Mineral Oil
Nominal Rating	1600 KVA
Nominal Voltage	6300/30 Volt
Nominal Current	146,6/2431 A
Impedance	8%
Weight Of Oil	1100 Kg

- Data Standar Tegangan Tembus berdasarkan IEC 60156

Tabel 5.Standar Tegangan Tembus IEC 60156

Minyak dalam Perawatan	Tegangan Tembus		
	Bagus	Cukup	Buruk
Tegangan Trafo			
≥72.5 kV	>40 kV	30-40 kV	>30 kV
>72.5 kV ≤ 170kV	>50 kV	40-50 kV	>30 kV
>270 kV	>60 kV	50-60 kV	>50 kV

2. Data Primer

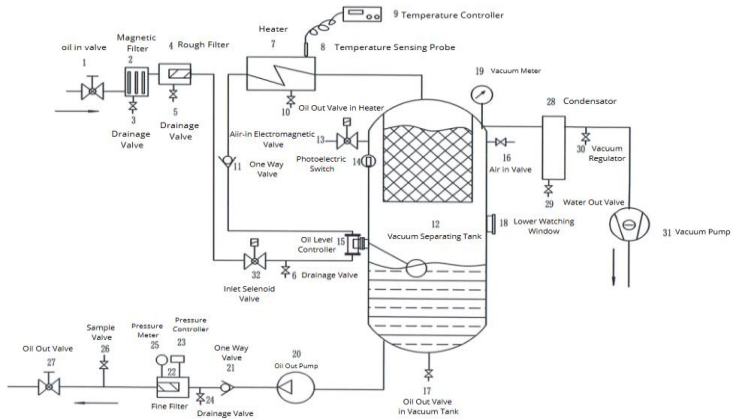
Data ini adalah data utama yang diamati dan didapat dari pengujian secara langsung. Jenis data sebagai berikut:

- Hasil pengujian tegangan tembus Generator Transformator dan Auxiliary Transformator Unit 1 sebelum purifikasi.
- Hasil pengujian tegangan tembus Generator Transformator dan Auxiliary Transformator Unit 1 setelah purifikasi.

3.3. Pengujian

3.3.1. Purifikasi Minyak Transformator

Pada gambar 18 merupakan wiring proses purifikasi minyak Transformator menggunakan alat *vacuum oil purifier*.



Gambar 18. Proses Purifikasi

Proses purifikasi dilakukan pada saat unit tidak beroperasi. Pada Generator Transformator dilakukan dengan 2 siklus dengan waktu per siklus 3,5 jam, sedangkan proses purifikasi Auxiliary Transformator dilakukan dengan 3 siklus dengan waktu per siklus 45 menit. Proses purifikasi dilakukan dengan beberapa tahapan dan bisa dilihat pada gambar 18 sebagai berikut [16].

1. Minyak didalam Transformator masuk melalui *Oil in Valve* yang dimana akan disaring oleh *magnetic filter* dan *rough filter*.
2. Minyak kemudian masuk ke heater dimana suhunya dinaikkan melebihi 60°C. Pemanasan ini bertujuan untuk menurunkan viskositas (kekentalan) Minyak sehingga memudahkan proses pemisahan kotoran dan air. Suhu Minyak dapat dipantau oleh sensor suhu.
3. Minyak panas mengalir ke *Vacuum Separating Tank*. Di dalam tangki ini, tekanan dikurangi dengan bantuan *Vacuum Pump* sehingga tekanan vakum mencapai -0,85 bar. Tekanan yang rendah menyebabkan air dan gas terlarut dan Minyak akan menguap.
4. Uap air dan gas naik ke bagian atas tangki dan kemudian terkondensasi di kondensor. Air kondensat kemudian dialirkan keluar melalui *Water Out Valve*.

5. Minyak yang telah dipisahkan dari air dan gas dipompa menggunakan oil pump.
6. Minyak yang keluar dari Vacuum Separating Tank kemudian akan disaring kembali oleh Fine Filter. Fine Filter berfungsi untuk menangkap kotoran-kotoran halus sehingga Minyak keluar lebih bersih. Hal ini membantu untuk memperpanjang umur pakai dan meningkatkan kualitas Minyak.
7. Minyak yang sudah di saring kembali oleh fine filter masuk menuju Transformator.

3.3.2. Pengujian Tegangan Tembus

Berikut adalah sampel minyak generator transformator dan auxiliary transformator sebelum purifikasi yang digunakan untuk pengujian tegangan tembus sebagai berikut. Sampel ini diambil sebelum dilakukannya purifikasi atau masih menggunakan sampel minyak yang ada di transformator tersebut.



Gambar 19. Sampel Minyak Sebelum Purifikasi

Berikut adalah sampel minyak generator transformator dan auxiliary transformator sesudah purifikasi yang digunakan untuk pengujian tegangan tembus sebagai berikut. Sampel ini diambil sesudah dilakukannya purifikasi atau sudah dilakukan penyaringan dari partikel-partikel yang ada di dalam minyak transformator tersebut.



Gambar 20. Sampel Minyak Sesudah Purifikasi



Gambar 21. Pengujian Tegangan Tembus

Proses Pengujian tegangan tembus dilakukan dengan beberapa tahapan menggunakan alat bernama *Megger OTS80B* seperti Gambar 21. Berikut ini adalah proses pengujian tegangan tembus sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel minyak GT dan UAT unit 1 di dalam botol lab yang berisi 800 mL
2. Minyak tersebut dituang ke dalam wadah uji untuk disterilkan atau dibersihkan.
3. Selanjutnya minyak yang sudah disterilkan di buang.
4. Masukkan kembali minyak ke dalam wadah uji sebanyak 400 mL.
5. Lalu masukkan wadah uji tersebut kedalam megger OTS 80PB untuk dilakukan uji tegangan tembus.
6. Uji tegangan tembus dilakukan sebanyak 6 kali percobaan dengan dua buah elektroda dengan jarak 2,5 mm. Pada pengujian pertama diperlukan waktu selama 6 menit, selanjutnya pengujian kedua sampai dengan keenam diperlukan waktu selama 2 menit. Tujuan dari perbedaan waktu tersebut adalah untuk mengetahui apakah minyak memiliki kemampuan untuk kembali ke keadaan semula atau dikenal sebagai kemampuan *selfhealing* dari minyak. Setelah pengujian selesai, maka didapat nilai-nilai tegangan tembus dari setiap minyak.

3.4 Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dilakukan terhadap data yang didapat selama pelaksanaan penelitian atau pengujian yang berdasarkan pada studi literatur dan standar IEC 60156. Pembahasan diambil dari hasil analisis yang ditampilkan dalam bentuk tabel atau grafik kemudian dianalisis secara deskriptif. Analisis yang dimaksud adalah dengan membandingkan antara hasil pengujian tegangan tembus sebelum dan sesudah dilakukannya purifikasi dengan standar tegangan tembus yang berlaku menurut IEC 60156 dan juga menganalisis pengaruh yang timbul dari hasil pengujian tegangan tembus sebelum dan setelah purifikasi.

3.5 Perhitungan Tegangan Tembus Minyak Isolasi Generator Transformator Unit 1 Sebelum dan Setelah Purifikasi PLTU Tanjung Balai Karimun

Penelitian ini menggunakan hasil pengujian Generator Transformator unit 1 yang ada di PLTU Tanjung Balai Karimun.

1. Rata-rata tegangan tembus sebelum purifikasi

$$V_{b,rata - rata} = \frac{63,83 + 36,8 + 30,3 + 31,8 + 32,7 + 33,35}{6} = 38,13 \text{ kV}$$

Kekuatan dielektrik Minyak Generator Transformator sebelum purifikasi

$$E \text{ rata - rata} = \frac{38,13 \text{ kV}}{2,5 \text{ mm}} = 15,25 \text{ kV/mm}$$

2. Rata-rata tegangan tembus setelah purifikasi

$$V_{b,rata - rata} = \frac{41,66 + 65,1 + 63,13 + 51,98 + 62,56 + 37,6}{6} = 53,67 \text{ kV}$$

Kekuatan dielektrik Minyak Generator Transformator setelah purifikasi

$$E \text{ rata - rata} = \frac{53,67 \text{ kV}}{2,5 \text{ mm}} = 21,47 \text{ kV/mm}$$

3.6 Perhitungan Tegangan Tembus Minyak Isolasi Auxiliary Transformator Unit 1 Sebelum dan Setelah Purifikasi PLTU Tanjung Balai Karimun

Penelitian ini menggunakan hasil pengujian Auxiliary Transformator unit 1 yang ada di PLTU Tanjung Balai Karimun.

1. Rata-rata tegangan tembus sebelum purifikasi

$$V_b, rata - rata = \frac{23,91 + 24,8 + 28,32 + 36,6 + 52,76 + 61,96}{6} = 38,05 \text{ kV}$$

Kekuatan dielektrik Minyak Auxiliary Transformator sebelum purifikasi

$$E \text{ rata - rata} = \frac{38,05 \text{ kV}}{2,5 \text{ mm}} = 15,22 \text{ kV/mm}$$

2. Rata-rata tegangan tembus setelah purifikasi

$$V_b, rata - rata = \frac{78,45 + 80 + 80,11 + 80,11 + 80,04 + 80}{6} = 79,78 \text{ kV}$$

Kekuatan dielektrik Minyak Auxiliary Transformator setelah purifikasi

$$E \text{ rata - rata} = \frac{79,78 \text{ kV}}{2,5 \text{ mm}} = 31,91 \text{ kV/mm}$$

Bab IV Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Tegangan Tembus Generator Transformator dan Auxiliary Transformator Unit 1 PLTU Tanjung Balai Karimun

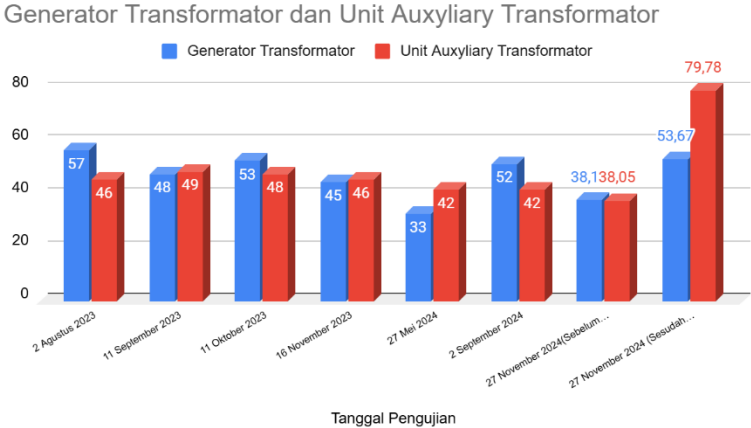
Pengujian minyak transformator pada PLTU Tanjung Balai Karimun bekerja sama dengan PT. Petrolab Services yang merupakan salah satu vendor untuk menguji minyak transformator. Kontrak atau kerja sama dengan PT. Petrolab Services pada tahun 2023 yaitu Pengujian minyak Transformator dilakukan sebulan sekali dimulai dari bulan Agustus sampai November. Sedangkan pada tahun 2024 dibuat kembali kontrak baru yaitu pengujian minyak transformator dilakukan 3 bulan sekali dari bulan Mei sampai September. Berikut merupakan data hasil pengujian tegangan tembus minyak isolasi Generator Transformator dan Auxiliary Transformator unit 1 di PLTU Tanjung Balai Karimun.

Tabel 6. Hasil Tegangan Tembus GT dan UAT Unit 1

Tanggal Pengujian	Tegangan Tembus (kV)		Kondisi (IEC 60156)		
	Generator Transformator	Unit Auxyliary Transformator	Bagus	Cukup	Buruk
2 Agustus 2023	57	46	>40 kV	30-40 kV	<30 kV
11 September 2023	48	49			
11 Oktober 2023	53	48			
16 November 2023	45	46			
27 Mei 2024	33	42			
2 September 2024	52	42			
27 November 2024 (Sebelum purifikasi)	38,13	38,05			
27 November 2024	53,67	79,78			

(Sudah dilakukan purifikasi)					
------------------------------	--	--	--	--	--

Hasil pengujian ini akan berfungsi sebagai data dasar untuk menjalankan program pemeliharaan prediktif minyak yaitu apakah dilakukan purifikasi atau dilakukan pergantian minyak baru.



Gambar 22. Grafik GT dan UAT PLTU Tanjung Balai Karimun

Pada gambar 22 dapat dilihat grafik pada Agustus 2023 sampai September 2024 terjadi penurunan baik Generator Transformator dan Auxiliary Transformator namun masih dalam keadaan normal dan memenuhi standar IEC 60156 yaitu nilai tegangan tembus sebesar >40 kV. Dari hasil tersebut telah dilakukan langkah predictive maintenance berupa memperbaiki kualitas minyak Transformator dengan cara mempurifikasi minyak Transformator pada bulan November 2024. Dari hasil purifikasi minyak Transformator tersebut terjadi peningkatan yang signifikan, untuk Generator Transformator sebesar 53,67 kV dan Auxiliary Transformator sebesar 79,79 kV.

4.2 Hasil dan Analisis Pengujian Tegangan Tembus Generator Transformator Unit 1 Sebelum dan Sesudah Purifikasi PLTU Tanjung Balai Karimun

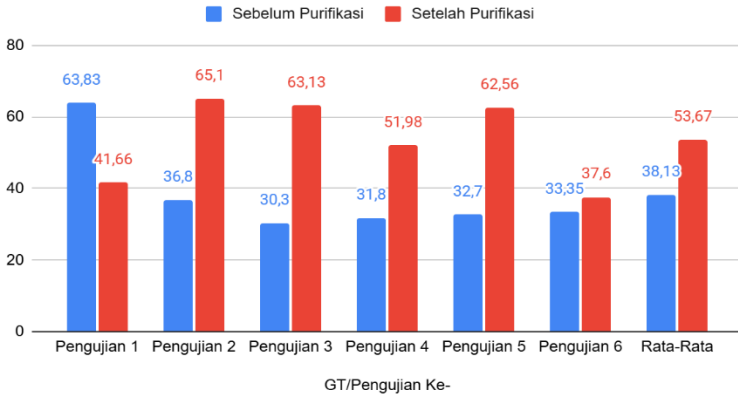
Berikut merupakan data hasil pengujian tegangan tembus minyak isolasi Generator Transformator unit 1 sebelum dan sesudah purifikasi yang dilakukan di PLTU Tanjung Balai Karimun.

Tabel 7. Data Tegangan Tembus GT Unit 1 Sebelum dan Sesudah Purifikasi

Pengujian Ke-	Tegangan Tembus (kV)		Interval Waktu	Kondisi (IEC 60156)		
	Sebelum Purifikasi	Sesudah Purifikasi		Bagus	Cukup	Buruk
Pengujian 1	63,83	41,66	6 Menit	>40 kV	30-40 kV	<30 kV
Pengujian 2	36,8	65,1	2 Menit			
Pengujian 3	30,30	63,13	2 Menit			
Pengujian 4	31,8	51,98	2 Menit			
Pengujian 5	32,7	62,56	2 Menit			
Pengujian 6	33,35	37,6	2 Menit			
Rata-Rata	38,13	53,67				

Pada tabel 7 di atas merupakan hasil pengujian tegangan tembus minyak isolasi Generator Transformator unit 1 sebelum dan sesudah purifikasi yang kemudian di bandingkan dengan standar tegangan tembus berdasarkan IEC 60156. Tabel 7 menjelaskan bahwa sebelum dilakukannya purifikasi, dapat diperoleh hasil uji tegangan tembus minimumnya yaitu 30,30 kV dan tegangan tembus maksimumnya yaitu 63,83 kV dengan rata-rata tegangan tembus sebesar 38,13 kV. Hasil tersebut menunjukkan bahwa minyak masih dalam kategori cukup baik sesuai dengan standar IEC 60156. Sedangkan, sesudah dilakukan purifikasi dapat diperoleh hasil uji tegangan tembus minimumnya yaitu 37,6 kV dan tegangan tembus maksimumnya yaitu 65,1 kV dengan rata-rata tegangan tembus sebesar 53,67 kV. Hasil tersebut menunjukkan adanya peningkatan tegangan tembus yang signifikan antara sebelum purifikasi dengan sesudah purifikasi serta tergolong kategori bagus sesuai yang tercantum pada standar IEC 60156 yaitu harus memenuhi >40 kV.

GT Sebelum Purifikasi dan Setelah Purifikasi



Gambar 23. Grafik Pengujian Tegangan Tembus GT Unit 1

Berdasarkan gambar 23, dapat dilihat rata-rata hasil pengujian sebelum purifikasi besarnya 38,13 kV. Meskipun hasil tersebut masih cukup baik dan memenuhi standar IEC 60156, namun perlu dilakukan kembali purifikasi transformator yang dimana bertepatan langsung dengan jadwal pemeliharaan guna untuk menjaga kualitas isolasi kumparan didalam transformator agar tidak terjadi hubung singkat akibat kelebihan tegangan. Setelah dilakukan purifikasi pada minyak GT diperoleh hasil pengujian tegangan tembus sebesar 53,67 kV. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses purifikasi minyak GT telah berhasil memperbaiki kualitas minyak GT dan meningkatkan kemampuan isolasinya sehingga minyak GT dalam kondisi bagus dan siap digunakan kembali.

Tabel 8. Kekuatan Dielektrik GT Unit 1

	Kekuatan Dielektrik
Sebelum Purifikasi	15,25 kV/mm
Sesudah Purifikasi	21,47 kV/mm

Berdasarkan tabel 8 dan gambar 23, menunjukkan bahwa kekuatan dielektrik berbanding lurus dengan tegangan tembus. Sehingga, apabila nilai tegangan tembus terjadi peningkatan, maka kekuatan dielektrik akan meningkat.

4.3 Hasil dan Analisis Pengujian Tegangan Tembus Auxiliary Transformator Unit 1 Sebelum dan Sesudah Purifikasi PLTU Tanjung Balai Karimun

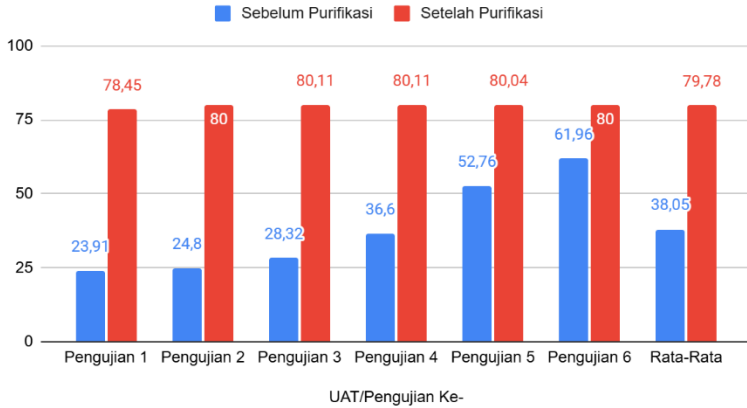
Berikut merupakan data hasil pengujian tegangan tembus minyak isolasi Auxiliary Transformator unit 1 sebelum dan sesudah purifikasi yang dilakukan di PLTU Tanjung Balai Karimun.

Tabel 9. Data Tegangan Tembus UAT Unit 1 Sebelum dan Sesudah Purifikasi

Pengujian Ke-	Tegangan Tembus (kV)		Inteval Waktu	Kondisi (IEC 60156)		
	Sebelum Purifikasi	Sesudah Purifikasi		Bagus	Cukup	Buruk
Pengujian 1	23,91	78,45	6 Menit	>40 kV	30-40 kV	<30 kV
Pengujian 2	24,80	80	2 Menit			
Pengujian 3	28,32	80,11	2 Menit			
Pengujian 4	36,60	80,11	2 Menit			
Pengujian 5	52,76	80,04	2 Menit			
Pengujian 6	61,96	80	2 Menit			
Rata-Rata	38,05	79,78				

Pada tabel 9 di atas merupakan hasil pengujian tegangan tembus minyak isolasi Auxiliary Transformator unit 1 sebelum dan sesudah purifikasi yang kemudian di bandingkan dengan standar tegangan tembus berdasarkan IEC 60156. Tabel 9 menjelaskan bahwa sebelum dilakukannya purifikasi, dapat diperoleh hasil uji tegangan tembus minimumnya yaitu 23,91 kV dan tegangan tembus maksimumnya yaitu 61,96 kV dengan rata-rata tegangan tembus sebesar 38,05 kV. Hasil tersebut tergolong kategori cukup baik sesuai dengan yang tercantum pada standar IEC 60156 yaitu harus memenuhi >40 kV. Sedangkan, sesudah dilakukan purifikasi dapat diperoleh hasil uji tegangan tembus minimumnya yaitu 78,45 kV dan tegangan tembus maksimumnya yaitu 80,11 kV dengan rata-rata tegangan tembus sebesar 79,78 kV. Hasil tersebut menunjukkan adanya peningkatan tegangan tembus yang signifikan antara sebelum purifikasi dengan sesudah purifikasi serta tergolong kategori bagus sesuai yang tercantum pada standar IEC 60156 yaitu harus memenuhi >40 kV.

UAT Sebelum Purifikasi dan Setelah Purifikasi



Gambar 24. Grafik Pengujian Tegangan Tembus UAT Unit 1

Berdasarkan gambar 24, dapat dilihat rata-rata hasil pengujian sebelum purifikasi besarnya 38,05 kV. Meskipun hasil tersebut masih memenuhi standar IEC 60156, namun perlu dilakukan kembali purifikasi transformator yang dimana bertepatan langsung dengan jadwal pemeliharaan guna untuk menjaga kualitas isolasi kumparan didalam transformator agar tidak terjadi hubung singkat akibat kelebihan tegangan. Setelah dilakukan purifikasi pada minyak UAT diperoleh hasil pengujian tegangan tembus sebesar 79,78 kV. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses purifikasi minyak UAT telah berhasil memperbaiki kualitas minyak UAT dan meningkatkan kemampuan isolasinya sehingga minyak UAT dalam kondisi bagus dan siap digunakan kembali.

Tabel 10. Kekuatan Dielektrik UAT Unit 1

	Kekuatan Dielektrik
Sebelum Purifikasi	15,22 kV/mm
Sesudah Purifikasi	31,91 kV/mm

Berdasarkan tabel 10 dan gambar 24, menunjukkan bahwa kekuatan dielektrik berbanding lurus dengan tegangan tembus. Sehingga apabila nilai tegangan tembus terjadi peningkatan, maka kekuatan dielektrik akan meningkat.

Bab V Penutup

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan maka penyelesaian tugas akhir ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Tahapan pengujian sampel minyak pada Generator Transformator dan Auxiliary Transformator unit 1 di PLTU Tanjung Balai Karimun adalah dilakukan pengambilan sampel minyak Transformator terlebih dahulu baik sebelum atau sesudah purifikasi sebanyak 800 mL, lalu diletakkan di wadah uji yang sudah disterilkan dan selanjutnya minyak tersebut diuji kedalam alat yang bernama *Megger OTS80PB*. Pengujian ini dilakukan sebanyak 6 kali dengan dua buah elektroda berjarak 2,5 mm. Pengujian pertama selama 6 menit dan pengujian 2-6 selama 2 menit. Tujuan dari perbedaan waktu tersebut adalah untuk mengetahui apakah minyak memiliki kemampuan untuk kembali ke keadaan semula atau dikenal sebagai kemampuan *selfhealing* dari minyak. Setelah pengujian selesai, maka didapat nilai-nilai tegangan tembus dari setiap minyak.
2. Nilai rata-rata untuk Pengujian tegangan tembus dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V_{brata - rata} = \frac{Test 1 + Test 2 + Test 3 + Test 4 + Test 5 + Test 6}{6}$$

dan untuk menghitung kekuatan dielektriknya dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$E_{Rata-rata} = \frac{V_{brata - rata}}{d}$$

Tegangan tembus adalah salah satu Pengujian yang dilakukan terjadwal selama 3 bulan sekali di PLTU Tanjung Balai Karimun yang dimana bertujuan untuk mengetahui kemampuan minyak dalam mengisolasi kumparan terhadap tegangan yang diberikan. Jika nilai tegangan tembus semakin tinggi, maka minyak Transformator tersebut dalam kondisi baik dan kekuatan isolasi semakin tinggi begitu juga sebaliknya.

3. Pada Generator Transformator diperoleh rata-rata tegangan tembus sebelum purifikasi adalah 38,13 kV dan sesudah purifikasi 53,67 kV. Hasil tersebut memenuhi standar yang ditetapkan IEC 60156 yaitu >40 kV dengan kekuatan elektrik sebelum purifikasi 15,25 kV/mm dan sesudah purifikasi 21,47 kV/mm. Pada Auxiliary Transformator diperoleh rata-rata tegangan tembus sebelum purifikasi adalah 38,05 kV dan sesudah purifikasi sebesar 79,78 kV. Hasil tersebut telah memenuhi standar yang ditetapkan IEC 60156 yaitu >40 kV dengan kekuatan elektrik sebelum

purifikasi 15,22 kV/mm dan sesudah purifikasi 31,91 kV/mm. Nilai tegangan tembus sesudah purifikasi terjadi peningkatan dikarenakan sudah terjadi penyaringan kontaminasi berupa kandungan air, debu, maupun partikel yang ada didalam minyak tersebut. Kekuatan dielektrik meningkat seiring dengan meningkatnya tegangan tembus.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran dan rekomendasi yang perlu diperhatikan kedepan setelah dilakukan analisis data pengujian tegangan tembus Generator Transformator dan Auxiliary Transformator unit 1 adalah sebagai berikut:

1. Pengujian minyak Transformator harus dilakukan secara konsisten selama setahun yaitu per 3 bulan sekali.
2. Setiap melakukan *overhaul* disarankan untuk melakukan purifikasi minyak Transformator untuk mempertahankan atau meningkatkan kemampuan isolasi dari minyak tersebut.
3. Perlu penambahan alat pengujian berupa uji DGA (*Dissolved Gas Analysis*) untuk mengetahui kandungan gas terlarut dan *water content* untuk mengetahui kandungan air yang ada didalam transformator.

Daftar Pustaka

- [1] "Sekilas Indonesia Power." Diakses: 17 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.plnindonesiapower.co.id/id/profil/Pages/Sekilas-Indonesia-Power.aspx>
- [2] "Buku Panduan O&m Trafo Tenaga | PDF," Scribd. Diakses: 1 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://id.scribd.com/document/512068553/buku-panduan-o-m-trafo-tenaga>
- [3] C. Widyastuti dan R. A. Wisnuaji, "Analisis Tegangan Tembus Minyak Transformator Di PT. PLN (Persero) Bogor," *Elektron J. Ilm.*, vol. 11, no. 2, hlm. 75–78, Des 2019, doi: 10.30630/eji.11.2.128.
- [4] Hoppe Khoiru Mubarak, "Analisis Pengaruh Purifikasi (Filtering) Terhadap Kualitas Tegangan Tembus Minyak Transformator," *JETI J. Elektro Dan Teknol. Inf.*, vol. 1, no. 2, hlm. 41–46, Okt 2022, doi: 10.26877/jeti.v1i2.104.
- [5] "C. Buana, S. Suwasti, A. Arman, and H. Hafizh, 'Analisis Pengaruh Tekanan dan Temperatur Udara Terhadap Kinerja Turbin Gas pada Sistem PLTGU pada PT. Consolidate Electric Power Asia,' *sinergi*, vol. 16, no. 2, p. 172, Jul. 2019, doi: 10.31963/sinergi.v16i2.1511".
- [6] N. Pasra, D. Firmansyah, dan K. T. Mauriraya, "Pengujian Minyak Transformator Dengan Uji Tegangan Tembus Pada Main Transformator GT 1.2 PT PLN Indonesia Power Cilegon PGU," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro UIN Sunan Gunung Djati Bdg.*, hlm. 51–58, Nov 2023.
- [7] I. G. K. Abasana dan I. W. Teresna, "TREATMENT OLI TRAFU TERHADAP PENINGKATAN TEGANGAN TEMBUS PADA TRAFU DISTRIBUSI KA 756 DI BY PASS NGURAH RAI," *Bul. Fis.*, vol. 14, no. 2, Art. no. 2, Agu 2013.
- [8] "Makalah Seminar Kerja Praktik PROSES PURIFIKASI MINYAK TRANSFORMATOR DENGAN MENGGUNAKAN OIL TREATMENT PLANT PT BANYU BENING - PDF Free Download," adoc.pub. Diakses: 3 Oktober 2024. [Daring]. Tersedia pada: <https://adoc.pub/makalah-seminar-kerja-praktik-proses-purifikasi-minyak-trans.html>
- [9] D. Nugroho, "KEGAGALAN ISOLASI MINYAK TRAFU," *MEDIA Elektr.*, vol. 3, no. 2, Art. no. 2, 2010, doi: 10.26714/me.v3i2.302.
- [10] E. Suherman dan M. Akbar, "ANALISIS KARAKTERISTIK MINYAK TRANSFORMATOR STARLITE 400 kVA TERHADAP TEGANGAN TEMBUS," *J. Sains Teknol. Fak. Tek. Univ. Darma Persada*, vol. 10, no. 1, Art. no. 1, Mar 2020.
- [11] S. Karim, "PENGARUH KONDISI MINYAK TERHADAP KEANDALAN SISTEM KERJA TRANSFORMATOR (STUDI KASUS DI PT. INDOCEMENT TUNGGAL

- PRAKARSA, TBK. PLANT 12 TARJUN – KALIMANTAN SELATAN) TAHUN 2017,” vol. 1, 2018.
- [12] “Analisis Nilai Tahanan Isolasi dan Tegangan Tembus pada Minyak Transformator 150 kV Sebelum dan Sesudah Purifikasi di PT Energi Listrik Batam.” Diakses: 16 Desember 2024. [Daring]. Tersedia pada: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=id&user=_LJszVkAAAAAJ&citation_for_view=_LJszVkAAAAAJ:KIAtU1dfN6UC
- [13] S. N. Singgih dan H. Berahim, “ANALISIS PENGARUH KEADAAN SUHU TERHADAP TEGANGAN TEMBUS AC DAN DC PADA MINYAK TRANSFORMATOR,” vol. 1, 2009.
- [14] R. A. Diantari, A. Sofwan, dan A. Susanty, “Analisis Tegangan Tembus Minyak Jarak dan Minyak Shell Diala B Sebagai Isolasi Cair Transformator,” *J. Profesi Ins. Indones.*, vol. 2, no. 4, hlm. 243–251, Nov 2024, doi: 10.14710/jpii.2024.24586.
- [15] S. Herviany, A. Syakur, dan J. Sudharto, “ANALISIS PERBANDINGAN KARAKTERISTIK DIELEKTRIK PADA MINYAK BEKAS TRANSFORMATOR 20 kV SEBELUM DAN SETELAH PURIFIKASI DENGAN ADSORBEN”.
- [16] *Manual Book Purifikasi*. [Daring]. Tersedia pada: <file:///C:/Users/Asus/Downloads/PURIFIER.pdf>

Biodata



Nama : Ivan Priadi Silaban
TTL : Batam, 16 Juni 2003
Agama : Kristen Protestan
Alamat : Perum. Rosinton Raya Blok C1 No 1

Email : ivansilaban038@gmail.com
Riwayat Pendidikan SMA: SMA Negeri 18 Batam
SMP: SMP Negeri 11 Batam

Lampiran

