



UNIVERSITAS INDONESIA

**Investigasi Kerusakan Transformator Distribusi 3 Fasa 630 kVA
PT PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang**

SKRIPSI

Febi Hadi Permana

0806365753

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**Investigasi Kerusakan Transformator Distribusi 3 Fasa 630 kVA
PT PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

Febi Hadi Permana

0806365753

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Febi Hadi Permana

NPM : 0806365753

Tanda Tangan : 

Tanggal : 30 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Febi Hadi Permana
NPM : 0806365753
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : *Investigasi* Kerusakan Transformator Distribusi 3 Fasa
630 kVA PT PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan
Tangerang

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Amien Rahardjo MT.

Penguji 1 : Aji Nur Widyanto ST.MT.

Penguji 2 : Prof. Dr. Ir. Rudy Setiabudy DEA

()
()
()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 30 Juni 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

Ir. Amien Rahardjo MT. sebagai dosen pembimbing yang telah menyetujui judul skripsi dan yang membantu dalam konsep dan ide serta mendorong semangat untuk menyelesaikan tahap demi tahap dalam penyelesaian “*Investigasi Kerusakan Transformator Distribusi 3 Fasa 630 kVA PT PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang*” Hingga terlaksananya penulisan skripsi ini.

- (1) Orang tua, saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
- (2) Teman-teman yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini, Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 30 Juni 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI
UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Febi Hadi Permana
NPM : 0806365753
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-Exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Investigasi Kerusakan Transformator Distribusi 3 Fasa 630 kVA
PT PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang**

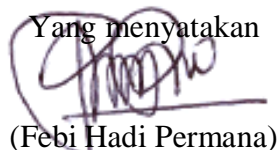
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di: Depok

Pada tanggal: 30 Juni 2011

Yang menyatakan



(Febi Hadi Permana)

ABSTRAK

Nama : Febi Hadi Permana
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : *Investigasi* Kerusakan Transformator Distribusi 3 Fasa 630 kVA PT PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang

Pada skripsi ini berisi tentang beberapa langkah percobaan yang dilakukan dalam melakukan proses investigasi terhadap transformator distribusi 3 fasa 630 kVA milik PT PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang. Berdasarkan hasil pemeriksaan secara *visual* terhadap objek, teridentifikasi bahwa kerusakan terjadi pada daerah tap changer. Percobaan yang dilakukan meliputi beberapa aspek yang diduga menjadi penyebab terjadinya kerusakan. Adapun percobaan/pengujian yang dilakukan meliputi: pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA), pemeriksaan *design* trafo, pengujian tegangan terapan/*applied voltage*, pengukuran tahanan isolasi/megger, pemeriksaan korosi belerang, pengujian tegangan tembus/*Break Down Voltage* (BDV).

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut: Hasil pengujian *Dissolved Gas Analysis* untuk trafo rusak berada pada kondisi 4; Hasil pemeriksaan *design* trafo diperoleh nilai tegangan terbesar antar pin tap changer 3,943 kV; Hasil pengujian tegangan terapan didapat nilai tegangan isolasi antar pin sebesar 12 kV dan tegangan isolasi antar fasa 37 kV, namun untuk kondisi isolasi yang tidak baik mengakibatkan retak pada kondisi tegangan 37 kV; Hasil pengukuran tahanan isolasi, apabila terjadi *over heat* pada trafo mengakibatkan nilai isolasi turun; Hasil pengujian korosi belerang, tidak ditemukan adanya korosi belerang pada minyak isolasi; Hasil pengujian tegangan tembus, minyak isolasi masih dalam kondisi cukup baik dengan nilai *break down voltage* diatas 40 kV. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa penyebab terjadinya kerusakan ialah bahwa adanya *over heat* pada isolasi *tap changer* yang disebabkan kondisi isolasi tap changer yang tidak baik hingga akhirnya mengakibatkan tegangan busur/*arching*.

Kata kunci : Investigasi, Identifikasi, Pengujian, Tap Changer, Tegangan Busur

ABSTRACT

Name : Febi Hadi Permana
Study Program : Electrical Engineering
Title : Investigation Distribution Transformator 3 Phases 630 kVA
PT PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang

In this thesis describes an experiment conducted a few steps in the process of investigation of three-phase distribution transformers 630 kVA owned by PT PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang. Based on a visual inspection of the object, identified that the damage occurred in the tap changer. The experiment was conducted on the several aspects of the alleged cause of the damage. The experiments / tests performed include: Dissolved Gas Analysis, inspection of transformer design, applied voltage, the measurement of insulation resistance / megger, sulfur corrosion inspection, breakdown voltage.

Based on testing performed, obtained the following results: Test results for Dissolved Gas Analysis damaged transformer in condition 4; examination results obtained by the voltage transformer design of the largest inter-pin tap changer 3,943 kV; Test results obtained values of applied voltage, voltage insulation between the pins at 12 kV and inter-phase voltage insulation 37 kV, but for the conditions of insulation is not good, insulation cracks on the condition of 37 kV voltage; insulation resistance measurement results, in case of over-heat in the transformer will made insulation values down; sulfur corrosion test results, no found presence of sulfur corrosion on oil insulation; test results breakdown voltage, oil insulation is still in good condition with a value break down voltage above 40 kV. Based on tests performed, we concluded that the cause of the damage is that the over-heat the tap changer insulation due to tap changer insulation condition is not good to finally lead to voltage arc / arching.

Keyword : Investigation, Identification, Testing, Tap Changer, Voltage Arc

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan masalah.....	3
1.5 Metodologi Penyelesaian Masalah.....	3
1.6 Sistematika penulisan.....	3
BAB 2 LANDASAN TEORI	5
2.1 Transformator.....	5
2.1.1 Pengertian	5
2.1.2 Prinsip Kerja Transformator.....	5
2.2 Transformator Distribusi.....	7
2.3 Pengubah Sadapan (<i>Tap Changer</i>).....	7
2.4 Minyak Transformator.....	8
2.5 Pengujian Gas Terlarut / <i>Dissolved Gas Analysis</i>	8
2.5.1 <i>Gas Chromatograph</i>	9
2.6 Pengujian Korosi Belerang (<i>Corosive Sulphur</i>).....	10
2.7 Pengujian Tegangan Tembus (<i>Break Down Voltage</i>).....	10
BAB 3 IDENTIFIKASI KERUSAKAN	9
3.1 Spesifikasi Transformator	11
3.2 Kronologi Kejadian	11
3.3 Macam-macam Kerusakan.....	12
3.4 Skenario Investigasi	14
BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISIS	16
4.1 Pengujian Gas Terlarut / <i>Dissolved Gas Analysis</i> (DGA).....	16
4.1.1 Kondisi sampel.....	16
4.1.2 Metode Uji.....	16
4.1.3 Langkah Pengujian Gas Terlarut Menggunakan <i>Gas Chromatography</i>	17

4.1.4	Analisa Hasil Pengujian.....	18
4.2	Pengujian Korosi Belerang dan Tegangan Tembus Minyak.....	18
4.2.1	Kondisi sampel.....	18
4.2.2	Metode Uji.....	18
4.2.3	Langkah Pengujian.....	19
4.2.3.1	Korosi Belerang.....	19
4.2.3.2	Pengujian Tegangan Tembus.....	19
4.2.4	Analisa Hasil Pengujian.....	20
4.3	Pengukuran Tahanan Isolasi, Pengujian Tegangan Terapan dan Pemeriksaan <i>Design</i> Transformator.....	20
4.3.1	Kondisi sampel.....	20
4.3.2	Metode Uji.....	20
4.3.3	Langkah Pengujian.....	21
4.3.3.1	Pengukuran Tahanan Isolasi.....	21
4.3.3.2	Pengujian Tegangan Terapan.....	22
4.3.3.3	Pemeriksaan <i>Design</i> Trafo.....	23
4.3.4	Analisa Hasil Pengujian.....	23
4.3.4.1	Pengukuran Tahanan Isolasi.....	23
4.3.4.2	Pengujian Tegangan Terapan.....	24
4.3.4.3	Pemeriksaan <i>Design</i> Transformator.....	26
	BAB 5 KESIMPULAN.....	29
	DAFTAR ACUAN.....	31
	DAFTAR PUSTAKA.....	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rangkaian Dasar Transformator.....	5
Gambar 2.2	Transformator Distribusi 315 kVA.....	7
Gambar 2.3	Bentuk <i>Tap Changer</i>	7
Gambar 3.1	Hasil Identifikasi.....	12
Gambar 3.2	Gambar Minyak Salah Satu Transformator.....	13
Gambar 3.3	Gambar Perbedaan Warna Pin <i>Tap Changer</i>	13
Gambar 3.4	Daerah Kerusakan Antar Fasa U dan V.....	14
Gambar 3.5	Daerah Kerusakan Antar Pin Dalam Satu Fasa.....	14
Gambar 3.6	Diagram Skenario <i>Investigasi</i>	15
Gambar 4.1	Langkah pengujian gas terlarut menggunakan <i>gas Chromatography</i>	17
Gambar 4.2	Tingkat Korosi Belerang.....	19
Gambar 4.3	Alat Uji <i>Dielectric Test</i>	19
Gambar 4.4	Flowchart Pengukuran Tahanan Isolasi.....	21
Gambar 4.5	Proses Pemanasan suhu 90 ⁰ C 3 jam.....	22
Gambar 4.6	Konfigurasi Pengujian Tegangan Terapan Antar Fasa.....	22
Gambar 4.7	Konfigurasi Pengujian Tegangan Terapan Antar Pin Dalam Satu Fasa.....	23
Gambar 4.8	Penamaan Pin <i>Tap Changer</i> VS Design (Menunjukkan Posisi Tap 1).....	23
Gambar 4.9	Kerusakan Isolasi Pada Sampel B.....	25
Gambar 4.10	Kerusakan Isolasi Pada Sampel C.....	25
Gambar 4.11	Gambar Design Transformator Gangguan.....	26

DAFTAR TABEL

Tabel	3.1	Identifikasi Trafo Gangguan.....	12
Tabel	4.1	Konsentrasi Gas Terlarut Standar IEEE C57.104-1991....	16
Tabel	4.2	Hasil Pengujian <i>Dissolved Gas Analysis</i>	18
Tabel	4.3	Kriteria Tegangan Tembus Minyak.....	20
Tabel	4.4	Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi Sampel A.....	23
Tabel	4.5	Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi Sampel B.....	24
Tabel	4.6	Hasil Pengukuran Tahanan Isolasi Sampel C.....	24
Tabel	4.7	Hasil Pengujian Tegangan Terapan Antar Fasa U – V dengan Media Udara.....	25
Tabel	4.8	Hasil Pengujian Tegangan Terapan Antar Pin dalam Satu Fasa.....	25
Tabel	4.9	Perbandingan Tegangan Antar Pin dalam Satu Fasa, Antar Pengukuran Langsung dengan Design.....	27
Tabel	4.10	Resume pengujian.....	28

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Program Percepatan 10.000 MW merupakan salah satu tonggak penting di dalam mempersiapkan ketersediaan energi Nasional di masa depan. Landasan hukum program ini adalah Perpres No. 71 Tahun 2006 tentang penugasan kepada PT. PLN (Persero) untuk melakukan percepatan pembangunan pembangkit tenaga listrik dengan menggunakan bahan bakar batubara.^[1]

Perang Padam...!!! Inilah komitmen dan kesungguhan PLN untuk memerangi pemadaman listrik. Tak tanggung-tanggung, standar internasional diterapkan sebagai target bagi tiap-tiap cabang PLN di Jawa dan Bali yaitu pemadaman listrik harus ≤ 9 kali per pelanggan per tahun. Sebuah target tinggi yang menantang dan membutuhkan kerja keras. Sebab pemadaman listrik tidak selalu merupakan gangguan teknis. Faktor alam seperti hujan deras, sambaran petir, pohon tumbang, tanah longsor dan gangguan alam lainnya merupakan hal yang jelas-jelas diluar kendali manusia yang dapat mengganggu pasokan listrik.^[2]

Melihat kedua korelasi hal tersebut, dapat dibayangkan bahwa PLN dalam satu sisi harus melakukan percepatan pertumbuhan kelistrikan, namun disisi lain kualitas penyaluran listrik kepada konsumen harus terjaga (tidak padam).

Dengan adanya percepatan pertumbuhan kelistrikan, otomatis dibutuhkan juga pengadaan peralatan-peralatan kelistrikan guna mengimbangi laju pertumbuhannya. Dengan kebutuhan seperti itu, pastinya PLN membutuhkan peran-peran para produsen/pabrik pembuat peralatan listrik. Dengan kebutuhan PLN yang tinggi, pasti para produsen peralatan listrik berupaya untuk dapat memenuhinya. Namun yang menjadi pertanyaan, apakah dengan kondisi seperti ini PLN akan mendapatkan kualitas barang yang baik dan sesuai target pakai yang ditentukan? Tidak dapat dipungkiri bahwa dengan kondisi seperti ini, kualitas barang akan menjadi taruhan untuk suatu produk. Transformator, merupakan salah satu komponen peralatan listrik terpenting. Transformator distribusi,

merupakan peralatan listrik yang digunakan untuk mendistribusikan listrik kepada konsumen. Yang dalam kondisi seperti ini, pastinya populasi peralatan ini meningkat jumlahnya. Namun kembali lagi, apakah dalam kondisi seperti ini PLN mendapat trafo yang berkualitas baik? Dengan kondisi PLN yang dituntut akan kualitas penyaluran listrik yang baik kepada konsumen, pastinya kualitas barang serta jaringan yang baik adalah yang diharapkan.

Seperti yang dialami oleh PT PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang pada pertengahan bulan Februari 2011, terdapat 8 unit transformator 3 Fasa dengan kapasitas 630 kVA mengalami gangguan pada hari yang hampir bersamaan dengan durasi operasi maksimum 5 jam.

Pada skripsi ini akan dibahas tentang pengujian-pengujian yang menunjang investigasi dalam mencari penyebab terjadi kerusakan pada transformator tersebut terkait masalah kualitas barang.

1.2 Perumusan Masalah

Dalam perumusan masalah Investigasi Kerusakan Transformator Distribusi 3 Fasa 630 kVA PT PLN (Persero) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang, pengujian/percobaan yang dilakukan diharapkan dapat mengetahui penyebab awal kerusakan yang terjadi. Berdasarkan hasil pemeriksaan visual, terindikasi beberapa poin, antara lain mayoritas kerusakan pada *tap changer* bagian fasa U dan fasa V yang menyebabkan belitan sisi tegangan tinggi fasa U dan fasa V short-circuit (belitan nampak turun). Adapun pengujian/percobaan dilakukan meliputi: pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA), pemeriksaan *design* trafo, pengujian tegangan terapan/*applied voltage*, pengukuran tahanan isolasi/megger, pemeriksaan korosi belerang, pengujian tegangan tembus/BDV.

1.3 Tujuan

Melakukan investigasi kerusakan transformator distribusi 3 fasa 20 kV-400 V yaitu untuk mengetahui penyebab terjadinya kerusakan atau kegagalan isolasi *tap changer*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada skripsi ini yaitu langkah-langkah percobaan/pengujian yang dilakukan guna proses investigasi adalah sebagai berikut:

- pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA).
- pemeriksaan *design* trafo.
- pengujian tegangan terapan/*applied voltage*.
- pengukuran tahanan isolasi/megger.
- pemeriksaan korosi belerang.
- pengujian tegangan tembus/BDV.

1.5 Metodologi Penyelesaian Masalah

1. Studi Literatur

Pada tahapan ini seluruh informasi yang berhubungan dengan transformator, bagian-bagian yang rawan/berpotensi besar menyebabkan kerusakan dan lain-lain dikumpulkan dan dipelajari.

2. Diskusi

Pembahasan dengan pihak-pihak terkait guna pengumpulan data serta informasi mengenai terjadinya kerusakan.

3. Pengujian dan Analisa

Melakukan serangkaian pengujian terhadap aspek-aspek penyebab kerusakan. Kemudian berdasarkan hasil pengujian dilakukan, dilakukan analisa guna menyimpulkan penyebab kerusakan.

1.6 Sistematika Penulisan

Pembahasan laporan skripsi ini disusun dalam 5 BAB. BAB 1 berisi pendahuluan, bab ini membahas tentang latar belakang, tujuan yang ingin dicapai, perumusan masalah, batasan masalah, metodologi penyelesaian, dan sistematika penulisan. BAB 2 berisi landasan teori, bab ini membahas tentang teori-teori pendukung yang digunakan dalam penyelesaian masalah dalam Skripsi ini. Hal-hal yang dibahas antara lain : Transformator beserta kelengkapannya, pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA), pengujian tegangan terapan/*applied voltage*, pengukuran tahanan isolasi/megger, pemeriksaan korosi belerang, pengujian tegangan tembus/BDV. BAB 3 berisi tentang identifikasi, bab

ini membahas tentang langkah-langkah awal identifikasi yang dilakukan dan pengumpulan informasi awal penyebab kerusakan. BAB 4 berisi pengujian dan analisa, bab ini memberikan informasi lengkap mengenai pengujian dan analisa yang dilakukan terhadap objek uji. Pengambilan contoh uji dilakukan secara sampling terhadap beberapa sample uji dan dilakukan di dalam laboratorium. BAB 5 berisi kesimpulan, bab terakhir yang berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian serta saran yang dapat digunakan guna memperkecil kerusakan material.



BAB 2

LANDASAN TEORI

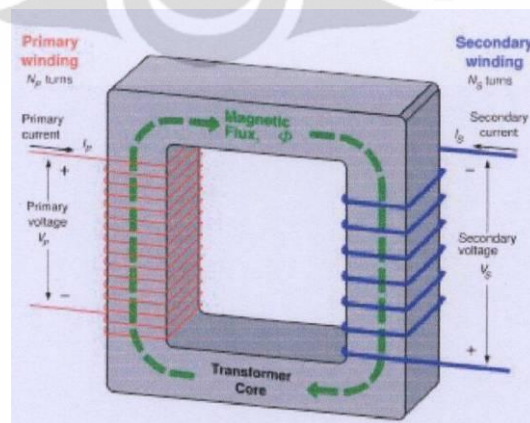
2.1 Transformator

2.1.1 Pengertian

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik.

2.1.2 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip dasar suatu transformator adalah induksi bersama (mutual induction) antara dua rangkaian yang dihubungkan oleh fluks magnet. Dalam bentuk yang sederhana, transformator terdiri dari dua buah kumparan induksi yang secara listrik terpisah tetapi secara magnet dihubungkan oleh suatu path yang mempunyai relaktansi yang rendah. Kedua kumparan tersebut mempunyai mutual induction yang tinggi. Jika salah satu kumparan dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, fluks bolak-balik timbul di dalam inti besi yang dihubungkan dengan kumparan yang lain menyebabkan atau menimbulkan ggl (gaya gerak listrik) induksi (sesuai dengan induksi elektromagnet) dari hukum Faraday. Bila arus bolak-balik mengalir pada induktor, maka akan timbul gaya gerak listrik (ggl).



Gambar.2.1 Rangkaian Dasar Transformator

Sumber Gambar [http:// on070694.wordpress.com](http://on070694.wordpress.com)

Berdasarkan hukum Faraday yang menyatakan *magnitude* dari *electromotive force (emf)* proporsional terhadap perubahan fluks terhubung dan hukum Lenz yang menyatakan arah dari *emf* berlawanan dengan arah fluks sebagai reaksi perlawanan dari perubahan fluks tersebut didapatkan persamaan :

$$e = -\left(\frac{d\psi}{dt}\right) \quad (2.1)$$

e = emf sesaat (*instantaneous emf*)

Ψ = fluks terhubung (*linked flux*)

Dan pada transformer ideal yang dieksitasi dengan sumber sinusoidal berlaku persamaan:

$$E = 4,44 \Phi_m N f \quad (2.2)$$

E = Tegangan (rms)

N = jumlah lilitan

Φ_m = fluks puncak (*peak flux*)

f = frekuensi

dan persamaan:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.3)$$

Dikarenakan pada transformer ideal seluruh *mutual flux* yang dihasilkan salah satu kumparan akan diterima seutuhnya oleh kumparan yang lainnya tanpa adanya *leakage flux* maupun loss lain misalnya berubah menjadi panas. Atas dasar inilah didapatkan pula persamaan:

$$P_1 = P_2 \quad (2.4)$$

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2 \quad (2.5)$$

$$N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2 \quad (2.6)$$

2.2 Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan sebuah transformator penurun tegangan (*Step Down*) yang menurunkan tegangan distribusi 20 kV menjadi 400 V sebelum disebar ke konsumen. Berdasarkan SPLN D3.002-1:2007, Transformator distribusi 3 fasa memiliki kapasitas mulai 25 kVA hingga 2500 kVA



Gambar.2.2 Transformator Distribusi 315 kVA

2.3 Pengubah Sadapan (*Tap Changer*)



Gambar.2.3 Bentuk *Tap Changer*

Kualitas operasi tenaga listrik jika tegangan nominalnya sesuai ketentuan, tapi pada saat operasi dapat saja terjadi penurunan tegangan sehingga kualitasnya menurun, untuk itu perlu alat pengatur tegangan agar tegangan selalu pada kondisi terbaik, konstan dan berkelanjutan. Untuk itu trafo dirancang sedemikian rupa sehingga perubahan tegangan pada sisi masuk/input tidak mengakibatkan perubahan tegangan pada sisi keluar/output, dengan kata lain tegangan di sisi keluar/output-nya tetap. Alat ini disebut sebagai sadapan pengatur tegangan, biasa disebut *Tap Changer*. Pada umumnya *tap changer* tersambung pada sisi primer dan jumlahnya tergantung pada perancangan dan perubahan sistem tegangan pada jaringan. Adapun pengoperasian *Off Load Tap Changer*, hanya bisa beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan transformator tidak berbeban.

2.4 Minyak Transformator

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator.

- Sebagai bagian dari bahan isolasi, minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus, sedangkan
- Sebagai pendingin minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan, sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak diharapkan akan mampu melindungi transformator dari gangguan.

Minyak transformator mempunyai unsur atau senyawa hidrokarbon yang terkandung adalah senyawa hidrokarbon parafinik, senyawa hidrokarbon naftenik dan senyawa hidrokarbon aromatik. Selain ketiga senyawa tersebut, minyak transformator masih mengandung senyawa yang disebut zat aditif meskipun kandungannya sangat kecil .

2.5 Pengujian Gas Terlarut / *Dissolved Gas Analysis (DGA)*

DGA dapat diartikan sebagai analisis kondisi transformator yang dilakukan berdasarkan jumlah gas terlarut pada minyak trafo. DGA pada dunia industri dikenal juga sebagai tes darah atau *blood test* pada transformator. Darah manusia adalah suatu senyawa yang mudah untuk melarutkan zat-zat lain yang berada disekitarnya. Melalui pengujian zat terlarut pada darah, maka akan diperoleh informasi-informasi terkait dengan kesehatan manusia. Begitu pula

dengan transformator, pengujian zat terlarut pada minyak trafo, akan memberikan informasi-informasi terkait akan kesehatan dan kualitas kerja transformator secara keseluruhan.

Uji DGA dilakukan pada suatu sampel minyak diambil dari unit transformator, kemudian gas-gas terlarut (*dissolved gas*) tersebut diekstrak. Gas yang telah diekstrak lalu dipisahkan, diidentifikasi komponen-komponen individualnya dan dihitung kuantitasnya (dalam satuan *Part Per Million / ppm*). Gas-gas tersebut dihasilkan dari hasil oksidasi yang berasal dari minyak isolasi dan kertas (selulosa) seperti hidrogen (H_2), metan (CH_4), etan (C_2H_6), etilen (C_2H_4), asetilen (C_2H_2), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi dan gangguan (*fault*) yang terjadi pada operasional trafo.

Gangguan yang terjadi pada trafo yaitu :

- *Thermal fault* < 300 °C, 300 – 700 °C dan > 700 °C
- *Electrical fault* (*partial discharge, low energi discharge/ sparking & high energi discharge/ arcing*).

Standar acuan : ASTM 3612 & IEEE C 57

Keuntungan utama uji DGA adalah deteksi dini akan adanya fenomena kegagalan yang ada pada transformator yang diujikan. Namun kelemahan utamanya adalah diperlukan tingkat kemurnian yang tinggi dari sampel minyak yang diujikan.

2.5.1 Gas Chromatograph (GC)

Gas Chromatograph adalah sebuah teknik untuk memisahkan zat-zat tertentu dari sebuah senyawa gabungan, biasanya zat-zat tersebut dipisahkan berdasarkan tingkat penguapannya. Metode ini dapat memberikan informasi kuantitatif dan kualitatif dari masing-masing komponen individual pada sampel yang diuji. Sampel yang diujikan bisa saja sudah berbentuk gas ataupun dipanaskan dan diuapkan terlebih dahulu sampai berwujud gas.

2.6 Pengujian Korosi Belerang (Corosive Sulphur)

Uji korosi belerang adalah suatu uji kemampuan minyak isolasi untuk mengakibatkan korosi pada kepingan tembaga dengan waktu dan suhu tertentu. Dengan adanya korosif senyawa sulfur yang merugikan akan menghasilkan deteriorasi pada logam yang besarnya tergantung pada jumlah dan tipe korosif, waktu dan suhu. Pengujian mengacu ke standar ASTM 1275 B. Pengujian ini menunjukkan kemungkinan korosi yang dihasilkan dari adanya belerang bebas atau senyawa belerang yang tidak stabil dalam minyak isolasi.

2.7 Pengujian Tegangan Tembus (*Break Down Voltage*)

Percobaan ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik isolasi dari suatu bahan uji baik berupa minyak isolasi, maupun material isolasi lain. Semakin besar nilai tegangan tembus, maka minyak isolasi semakin baik digunakan sebagai isolasi. Semakin rendah nilai tegangan tembusnya, resiko short-circuit antar bagian aktif pada trafo, semakin tinggi. Tegangan tembus yang terlalu rendah menunjukkan adanya kontaminasi seperti air, kotoran atau partikel konduktif dalam minyak.

BAB 3

IDENTIFIKASI KERUSAKAN

3.1 Spesifikasi Transformator

Adapun transformator yang mengalami kerusakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

Daya pengenal	:	630 kVA
Frekuensi pengenal	:	50 Hz
Jumlah fasa	:	3
Kelompok vektor	:	Dyn5
Tegangan pengenal	- Primer	: 20 kV ($\pm 2 \times 5\%$)
	- Sekunder	: 400 V
Arus pengenal	- Primer	: 18,18 A
	- Sekunder	: 909,32 A
Impedans	:	4%
Cara pendinginan	:	ONAN
Jenis minyak	:	Mineral
Volume minyak	:	405 L
Berat total	:	1950 Kg
Tingkat isolasi dasar	:	LI 125 AC 50/LI- AC3

3.2 Kronologi Kejadian

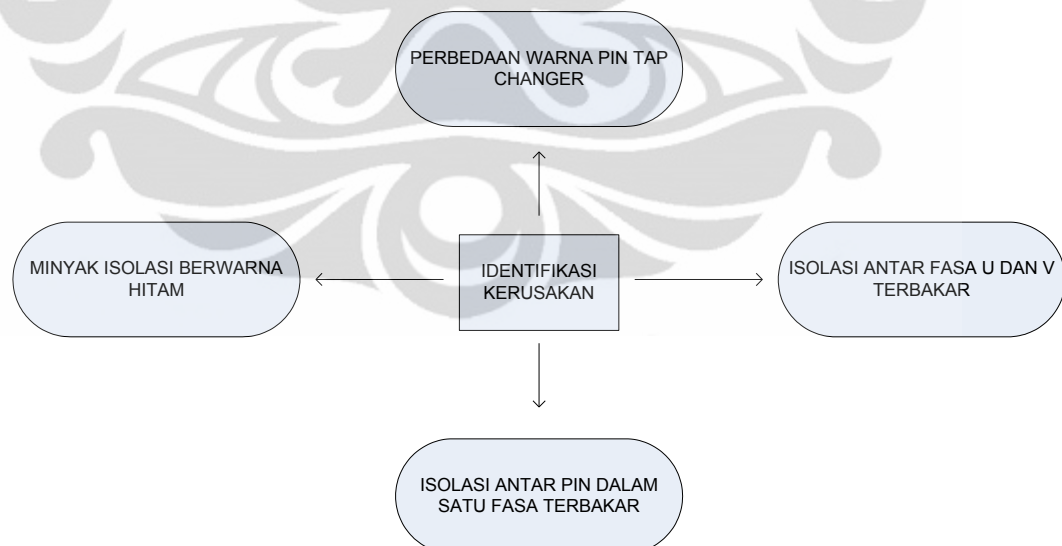
Secara singkat kondisi transformator yang mengalami gangguan, baru beroperasi maksimal 5 jam dengan kondisi beban maksimal sebesar 70%. Transformator yang mengalami gangguan, merupakan transformator yang pemasangannya dengan tujuan untuk *up rating supply* daya konsumen. Adapun menurut informasi pihak pabrikan bahwa jumlah sampel yang mengalami kerusakan berjumlah 8 unit dan kejadian gangguan untuk beberapa sampel terjadi pada hari yang bersamaan. Adapun 7 dari sampel yang rusak tersebut antara lain tercantum pada tabel dibawah ini.

Tabel.3.1 Identifikasi trafo gangguan

Serial nomor	Unit Asal	Tanggal Gangguan
102310413	Area Klender	22/2/2011
102310581	Area Tanjung Priok	19/2/2011
102310424	Area Lenteng Agung	22/2/2011
102310335	Area Tanjung Priok	22/2/2011
102310634	Area Menteng	22/2/2011
102310415	Area Jatinegara	1/3/2011
-	Area Bintaro	23/2/2011

3.3 Macam-Macam Kerusakan

Identifikasi awal dilakukan melalui pengamatan secara visual terhadap objek trafo yang mengalami gangguan, dengan kondisi belitan dan inti trafo dikeluarkan dari dalam tangki (untank). Adapun hasil temuan identifikasi sbb:



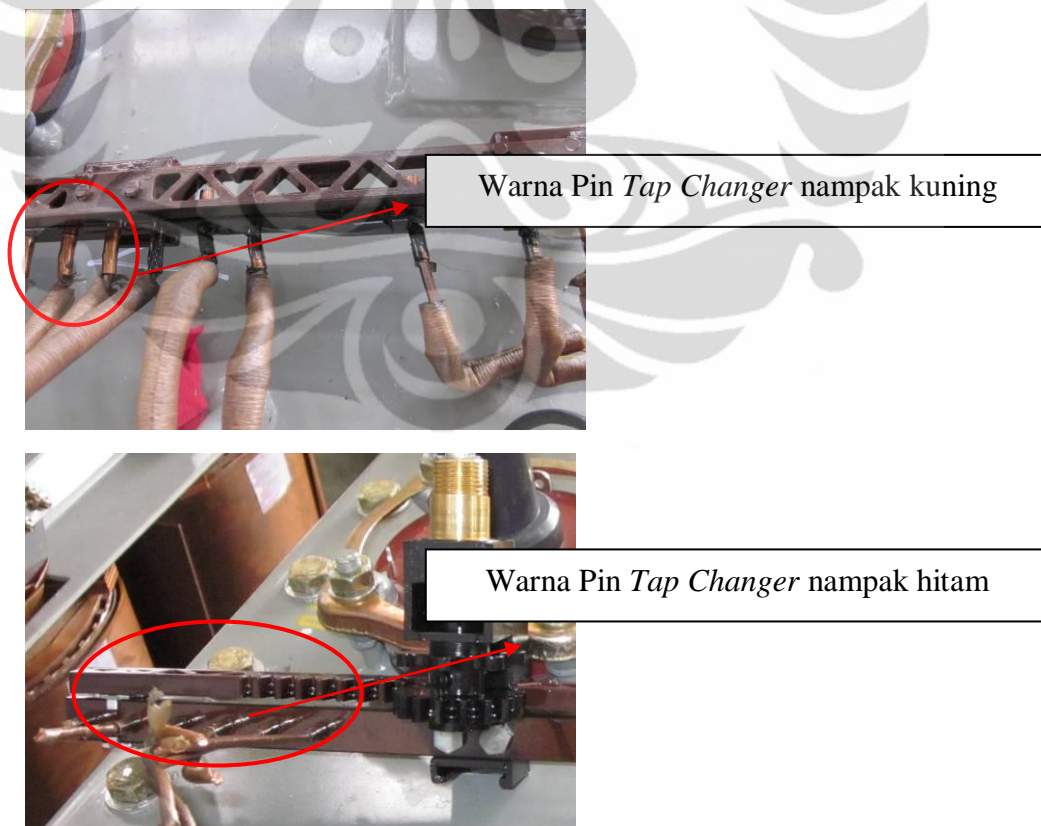
Gambar.3.1 Hasil Identifikasi

a. Minyak isolasi berwarna hitam



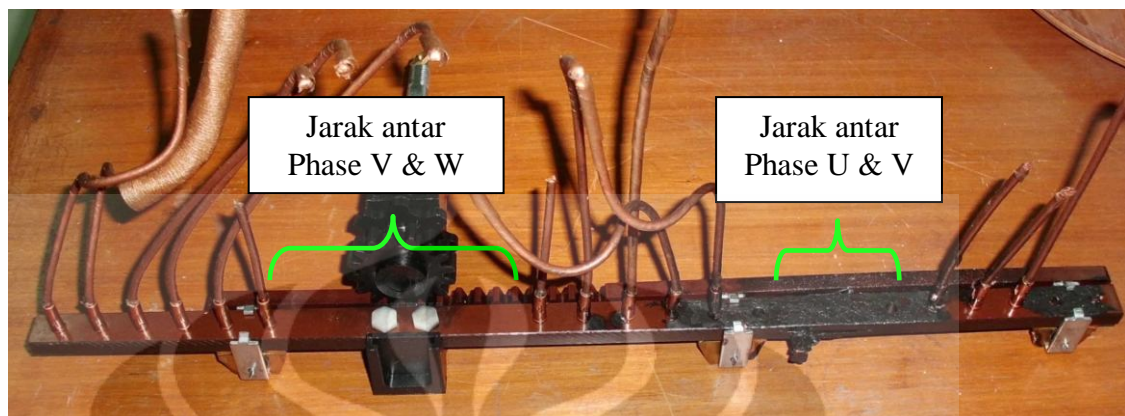
Gambar.3.2 Gambar Minyak Salah Satu Transformator

b. Perbedaan warna pin *tap changer*



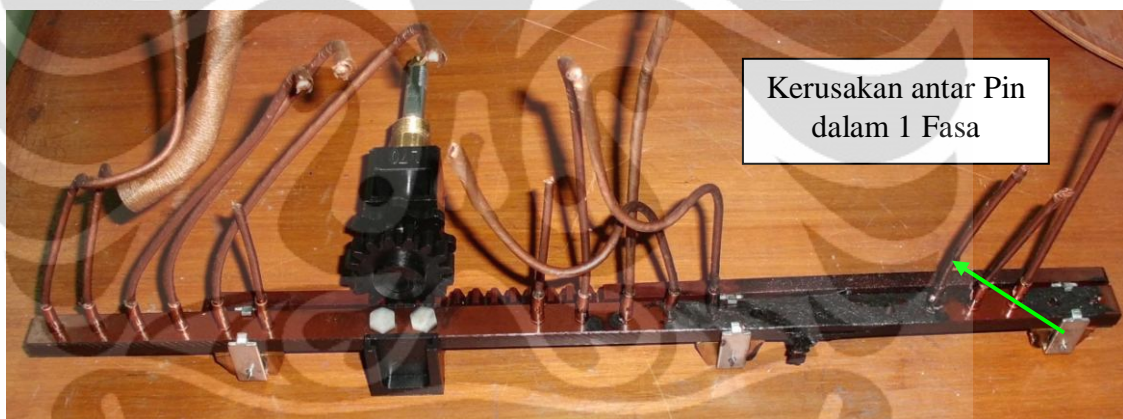
Gambar.3.3 Gambar Perbedaan Warna Pin *Tap Changer*

c. Isolasi antar fasa U dan V terbakar



Gambar.3.4 Daerah Kerusakan Antar Fasa U dan V

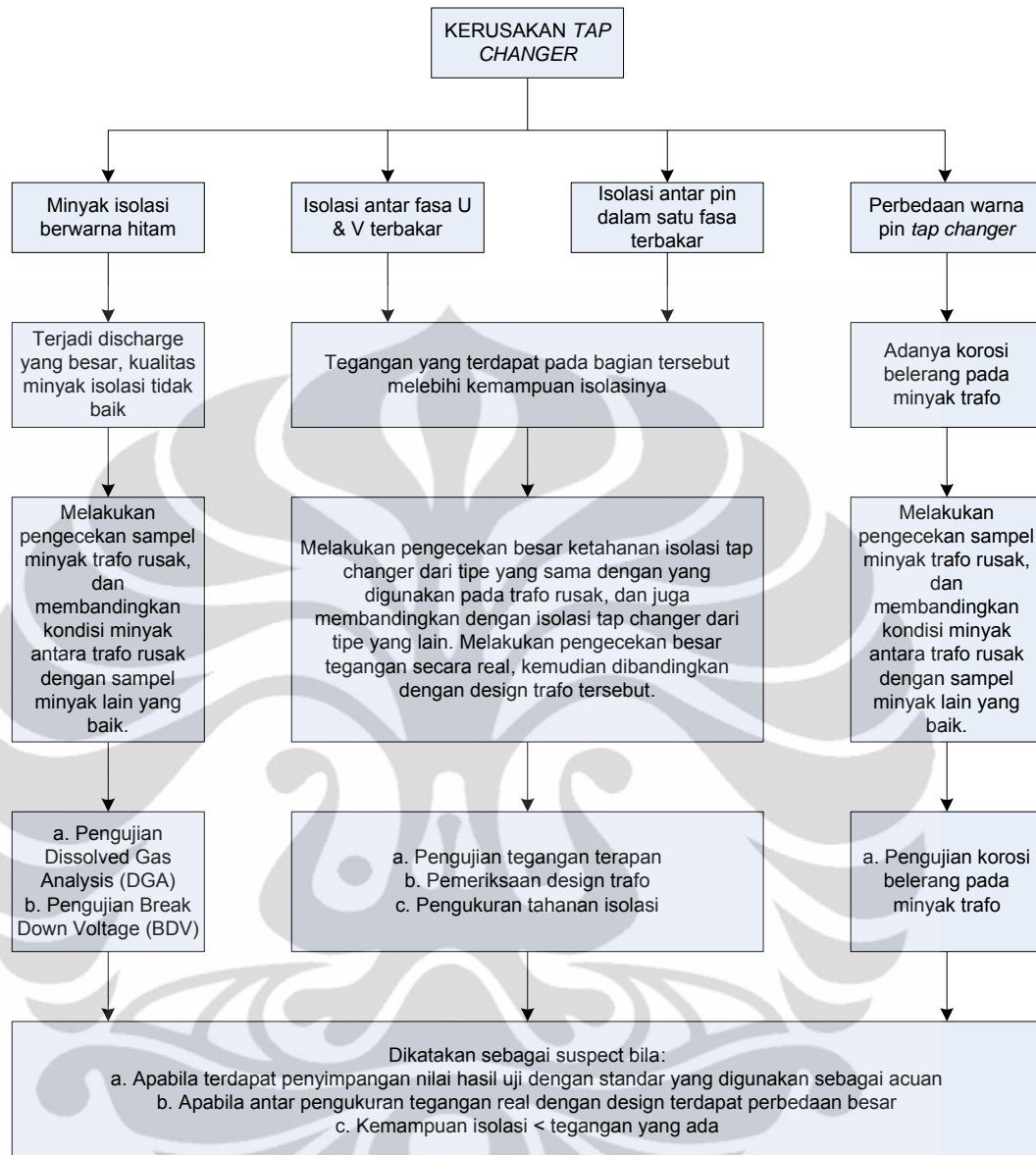
d. Isolasi antar pin dalam satu fasa terbakar



Gambar.3.5 Daerah Kerusakan Antar Pin dalam Satu Fasa

3.4 Skenario Investigasi

Adapun berdasarkan hasil-hasil identifikasi visual, maka untuk proses *investigasi* dibuat alur seperti diagram berikut:



Gambar.3.6 Diagram skenario investigasi

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada proses pengujian yang dilakukan, tidak semua sampel trafo rusak dilakukan pengujian, karena indikasi yang terdapat pada semua trafo sama dan juga beberapa transformator yang rusak langsung dilakukan pembongkaran untuk perbaikan oleh pihak pabrikan. Sehingga pengujian yang dilakukan berupa sampling pada beberapa sampel saja. Dalam proses pengujian yang dilakukan, ada beberapa item pengujian yang dilakukan oleh pihak lain, antara lain pengujian *Dissolved Gas Analysis* DGA dan pengujian korosi belerang.

4.1 Pengujian Gas Terlarut / *Dissolved Gas Analysis* (DGA)

4.1.1 Kondisi sampel

Kondisi minyak isolasi pada trafo yang terbakar berwarna hitam, dimungkinkan hal tersebut terjadi karena *discharge* yang besar sehingga timbul busur api yang menyebabkan suatu komponen (yang dalam hal ini adalah *tap changer*) terbakar. Adapun metode uji yang digunakan untuk masalah ini melalui pengujian *Dissolved Gas Analysis* (DGA). Dalam hal ini dilakukan pengambilan sampel minyak trafo yang rusak, minyak trafo yang diambil berasal dari transformator Area Bintaro.

4.1.2 Metode uji

Pada pengujian ini menggunakan *Gas Chromatography* ASTM D.3612. Adapun standard yang digunakan adalah IEEE C57.104-1991 *Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers*.

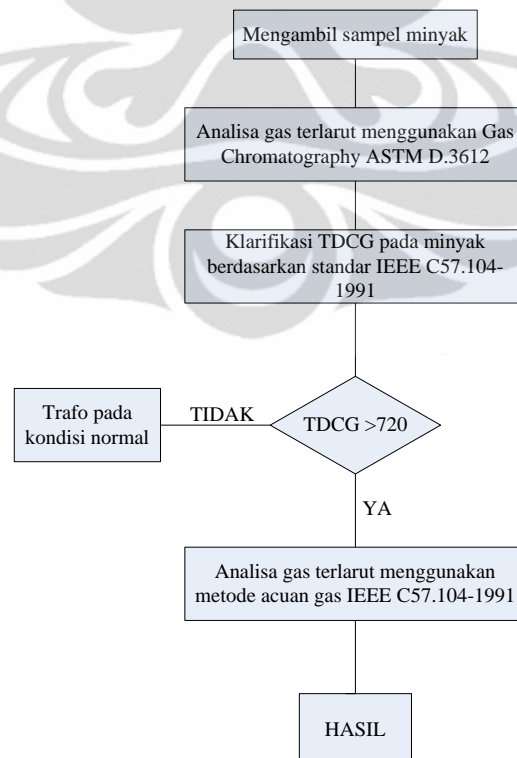
Tabel.4.1 Konsentrasi Gas Terlarut Standar IEEE C57.104-1991

STATUS	BATAS ACUAN KONSENTRASI GAS TERLARUT (ppm)							
	CO	CH ₄	CO ₂	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	H ₂	TDCG
Kondisi 1	350	120	2500	35	50	65	100	720
Kondisi 2	351-570	121-400	2501-4000	36-50	51-100	66-100	101-700	721-1920
Kondisi 3	571-1400	401-1000	4001-10000	51-80	101-200	101-150	701-1800	1921-4630
Kondisi 4	>1400	>1000	>10000	>80	>200	>150	>1800	>4630

Keterangan:

1. Kondisi 1 : *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) pada level ini mengindikasikan bahwa operasi transformator memuaskan. Bila salah satu gas nilainya melebihi batasan level harus diinvestigasi dengan cepat.
2. Kondisi 2 : *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) pada kondisi ini menandakan komposisi gas sudah melebihi batas normal. Bila salah satu gas nilainya melebihi batasan level harus diinvestigasi dengan cepat. Lakukan tindakan untuk mendapatkan trend. Gangguan mungkin akan terjadi
3. Kondisi 3 : *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) pada level ini mengindikasikan pemburukan tingkat tinggi. Bila salah satu gas nilainya melebihi batasan level harus diinvestigasi dengan cepat. Lakukan tindakan untuk mendapatkan trend. Gangguan kemungkinan besar akan terjadi
4. Kondisi 4 : *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) pada level ini mengindikasikan pemburukan yang sangat tinggi. Melanjutkan operasi transformator dapat mengarah pada kerusakan transformator.

4.1.3 Langkah Pengujian Gas Terlarut Menggunakan *Gas Chromatography*



Gambar.4.1 Langkah pengujian gas terlarut menggunakan *gas Chromatography*

4.1.4 Analisa Hasil Pengujian

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, didapat hasil sbb:

Tabel.4.2 Hasil pengujian *Dissolved Gas Analysis*

	CO	CH ₄	CO ₂	C ₂ H ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	H ₂	TDCG
Hasil Uji (ppm)	0	943	292	2580	811	0	1157	5491
Standar (ppm)	<1400	<1000	<10000	<80	<200	<150	<1800	<4630

Batas standar yang digunakan adalah kondisi maksimum (kondisi 4), berdasarkan Standar IEEE C57.104-1991. Pada kondisi ini nilai *Total Dissolved Combustible Gas* (TDCG) > 4630, berarti transformator berada pada kondisi 4. Juga dimungkinkan terjadi panas berlebih/*overheating* dan busur api, karena nilai gas C₂H₄ > 200 ppm dan C₂H₂ > 80 ppm. Dengan demikian asumsi yang digunakan memang mendukung, bahwa proses terbakarnya tap changer karena adanya tegangan busur. Berdasarkan hasil tersebut, maka untuk proses kelanjutannya diperlukan pengujian yang berkaitan dengan isolasi, karena tegangan busur ada kaitannya dengan isolasi.

4.2 Pengujian Korosi Belerang dan Tegangan Tembus Minyak

4.2.1 Kondisi sampel

Minyak trafo rusak berwarna hitam, diduga adanya korosi belerang pada minyak trafo yang menyebabkan kemampuan isolasi minyak menurun. Pengujian ini menunjukkan kemungkinan korosi yang dihasilkan dari adanya belerang bebas atau senyawa belerang yang tidak stabil dalam minyak isolasi. Dengan diasumsikan adanya korosi belerang pada minyak trafo, dapat menyebabkan tingkat isolasi minyak transformator menurun, maka dilakukan pula pengujian tegangan tembus minyak/*Break Down Voltage (BDV)*.

4.2.2 Metode Uji

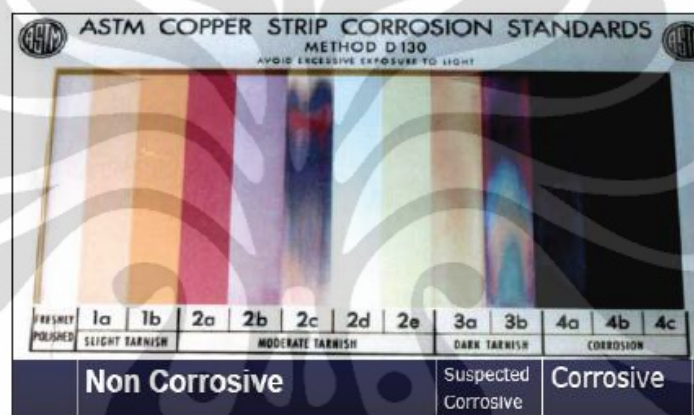
Pada pengujian korosi belerang menggunakan metode ASTM 1275B. Sedangkan pengujian tegangan tembus menggunakan metode IEC 156.

4.2.3 Langkah Pengujian

4.2.3.1 Korosi Belerang

Pengujian ini dilakukan dengan memanaskan minyak transformator beserta tembaga pada suhu $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 48 jam, lalu setelah itu tembaga dibandingkan dengan standar/kalibrator. Adapun sampel minyak yang digunakan pada pengujian ini terdapat 3 buah sampel, antara lain:

- Sampel A, minyak trafo area bintang (trafo rusak)
- Sampel B, minyak trafo yang ditarik dari gudang PLN Distribusi
- Sampel C, minyak trafo hasil perbaikan/akan dikirim



Gambar.4.2 Tingkat korosi belerang

4.2.3.2 Pengujian Tegangan Tembus



Gambar.4.3 Alat uji *dielectric test*

Pengujian dilakukan dengan memasukkan minyak uji kedalam tabung yang didalamnya terdapat 2 buah elektroda dengan jarak 2,5mm. Adapun sampel minyak yang digunakan pada pengujian ini sama dengan sampel minyak yang digunakan pada pengujian korosi belerang. Berdasarkan standar IEC 156, kategori besar tegangan tembus dibagi sbb:

Tabel.4.3 Kriteria Tegangan Tembus Minyak

Jenis Trafo	Baik	Cukup	Buruk
O,A	> 60 kV	50-60 kV	< 50 kV
B	> 50 kV	40-50 kV	< 40 kV
C	> 40 kV	40-40 kV	< 30 kV

Keterangan:

O : Jenis trafo tenaga > 400 kV

A : Jenis trafo tenaga 170 kV - 400 kV

B : Jenis trafo tenaga 72,5 kV - 170 kV

C : Jenis trafo tenaga < 72,5 kV

4.2.4 Analisa Hasil Pengujian

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, diperoleh hasil sbb:

- Sampel A, tidak korosif (2b), BDV = 42 kV
- Sampel B, tidak korosif (1b), BDV = 71 kV
- Sampel C, tidak korosif (1b), BDV = 62 kV

Berdasarkan hasil tersebut, bahwa kondisi isolasi minyak cukup baik dan juga tidak ditemukan adanya korosi belerang pada minyak isolasi.

4.3 Pengukuran Tahanan Isolasi, Pengujian Tegangan Terapan, dan Pemeriksaan *Design* Transformator

4.3.1 Kondisi sampel

Isolasi antar fasa U dan V terbakar, isolasi antar pin dalam satu fasa terbakar. Diduga adanya discharge, tegangan berlebih dan kesalahan koneksi/design trafo yang mempengaruhi isolasi tap changer, baik isolasi antar fasa U dan V maupun antar pin dalam satu fasa.

4.3.2 Metode Uji

Adapun metode/jenis pengujian yang digunakan untuk *point* ini, antara lain:

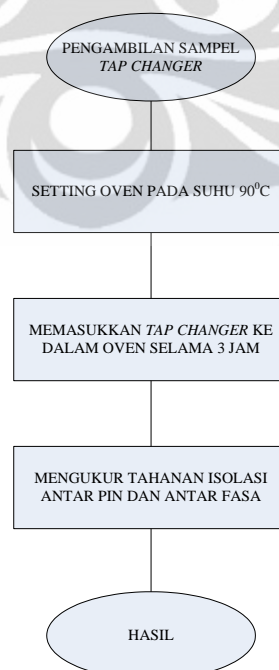
- Pengukuran tahanan isolasi
- Pengujian tegangan terapan
- Pemeriksaan design transformator

Karena daerah kerusakan berada pada antara fasa U dan V, maka semua pengujian dan pengukuran yang dilakukan terfokus pada posisi tersebut.

4.3.3 Langkah Pengujian

4.3.3.1 Pengukuran Tahanan Isolasi

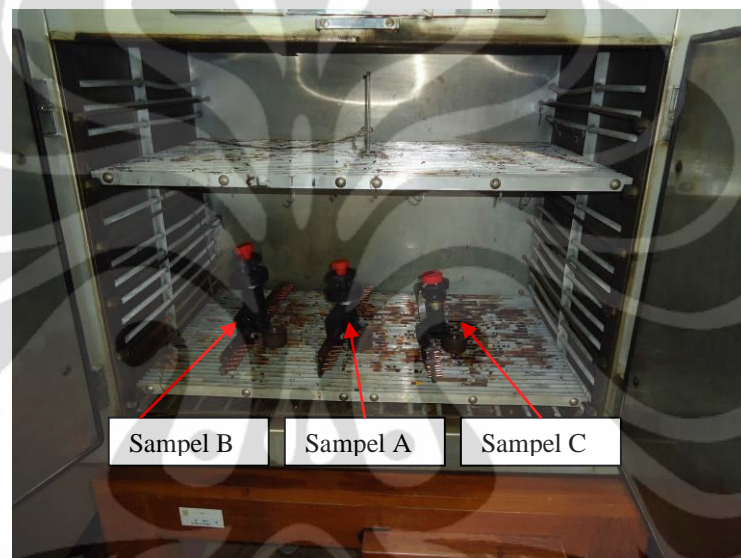
Pada pengujian ini, diasumsikan kondisi ruang/dalam hal ini minyak trafo pada suhu *extreme* (yang dimaksud *extreme* disini adalah melebihi batas maksimum kenaikan suhu minyak transformator dengan acuan suhu tahunan indonesia 30°C), yaitu dengan kenaikan suhu minyak 60°C , dan suhu ruang 30°C , sehingga dibuat simulasi ruang dengan suhu 90°C . Adapun simulasi ruang yang digunakan adalah menggunakan oven. Pengukuran dilakukan menggunakan megger 1kV. Tujuan pengujian dengan metode seperti ini adalah untuk mengetahui karakter isolasi bakelit (termasuk dalam kelas B, dengan suhu kerja maksimum 130°C .^[3]) tap changer apabila trafo memiliki suhu seperti itu.



Gambar.4.4 Flowchart pengukuran tahanan isolasi

Adapun pada pengujian ini menggunakan 3 buah sampel, antara lain:

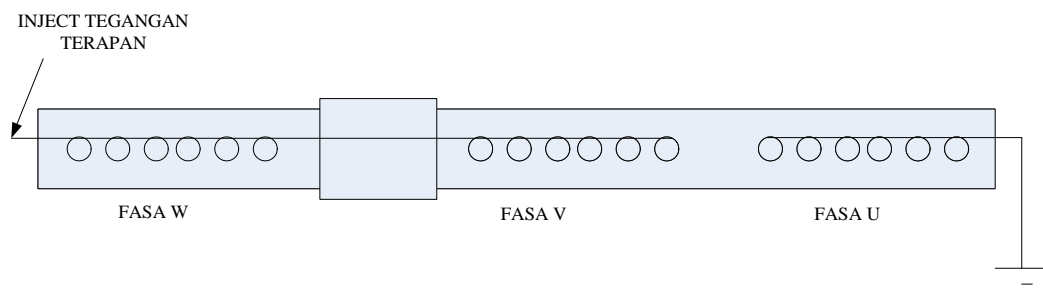
- Sampel A, Sampel baru dari jenis *tap changer* transformator rusak dengan spesifikasi 20 kV 30 A 5 posisi, jarak antara tutup tangki ke bagian aktif 70 mm (L70).
- Sampel B, Sampel baru dari merek yang sama dengan sampel A dengan spesifikasi 20 kV 63 A 5 posisi, panjang 100 mm (L100).
- Sampel C, Sampel baru dari merek lain dengan spesifikasi 20 kV 30 A 5 posisi



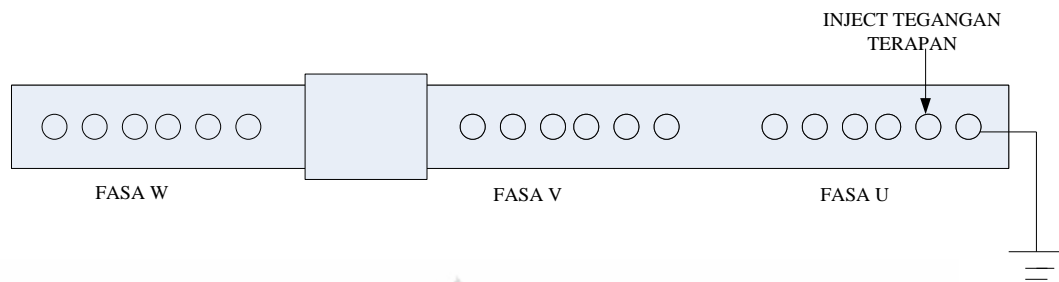
Gambar.4.5 Proses pemanasan pada suhu 90°C 3 jam

4.3.3.2 Pengujian Tegangan Terapan

Pada pengujian ini dilakukan guna mengetahui tingkat isolasi antar fasa dan juga antar pin pada *tap changer*, pengujian dilakukan dengan memberikan tegangan hingga terjadi *flashover*. Adapun sampel yang digunakan sama dengan sampel pengukuran tahanan isolasi



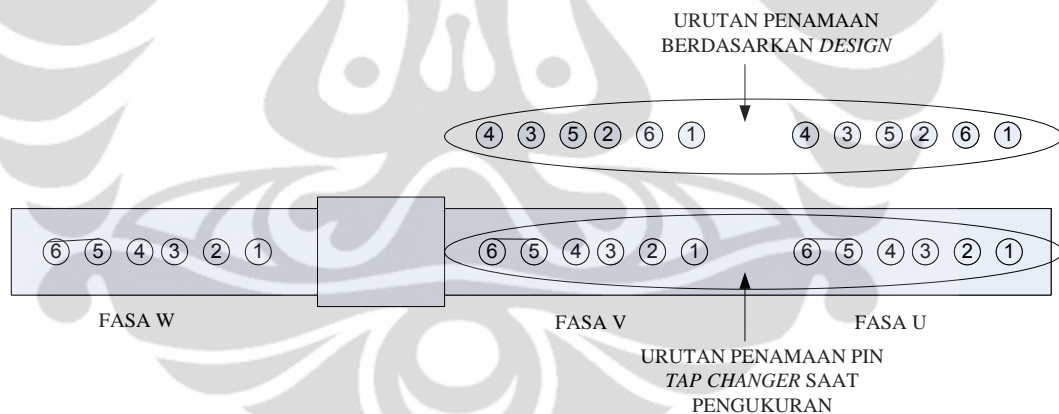
Gambar.4.6 Konfigurasi pengujian tegangan terapan antar fasa



Gambar 4.7 Konfigurasi pengujian tegangan terapan antar pin dalam satu fasa

4.3.3.3 Pemeriksaan Design Transformator

Pada point ini, pemeriksaan/pengecekan *design* trafo dilakukan langsung pada satu unit transformator berjenis yang sama dengan yang mengalami kerusakan, proses yang dilakukan dengan cara *compare* antara hasil pengukuran dengan *design* trafo. Adapun cara yang dilakukan untuk melakukan pengukuran ialah dengan memberikan tegangan supply 3 fasa pada sisi primer sebesar 207 V, lalu mengukur nilai tegangan antar pin dalam satu fasa, juga antar pin berbeda fasa.



Gambar.4.8 Penamaan pin *tap changer* VS *design* (menunjukkan posisi tap 1)

4.3.4 Analisa Hasil Pengujian

4.3.4.1 Pengukuran Tahanan Isolasi

Adapun hasil pengukuran tahanan isolasi sbb:

Tabel.4.4 Hasil pengukuran tahanan isolasi sampel A

Pengukuran	Fasa U						Fasa V						Fasa W					
	Pin						Pin						Pin					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1 (M Ω)	9	5			6	9	9	5			5	9	10	6			6	10
2 (M Ω)							50	60	65	65	75	85	120	130	140	140	150	160

Tabel.4.5 Hasil pengukuran tahanan isolasi sampel B

Pengukuran	Fasa U						Fasa V						Fasa W					
	Pin						Pin						Pin					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1 (M Ω)	7	3			3	7	8	4			4	8	9	4			5	10
2 (M Ω)							45	55	60	60	65	80	125	150	160	160	170	180

Tabel.4.6 Hasil pengukuran tahanan isolasi sampel C

Pengukuran	Fasa U						Fasa V						Fasa W					
	Pin						Pin						Pin					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1 (M Ω)	9	5			4,5	7	6	3			4	7	7	4			4	8
2 (M Ω)							35	40	45	45	58	65	85	90	95	95	100	105

Keterangan:

- Pengukuran 1 : Pengukuran individual masing-masing fasa, antara pin yang menunjukkan posisi tap 3 sebagai earth terhadap pin-pin lain dalam satu fasa, satuan pengukuran dalam M Ω .
- Pengukuran 2 : Pengukuran fasa U tap 3 sebagai earth, terhadap pin-pin pada fasa lain, satuan pengukuran dalam M Ω .

Pengukuran dilakukan terhadap 3 sampel yang berbeda bertujuan untuk mengetahui serta membandingkan tingkat isolasi antara sampel tap changer yang bermasalah dengan tipe lain. Berdasarkan data tersebut, dapat dikatakan bahwa sampel tap changer yang digunakan pada transformator yang mengalami gangguan memiliki karakter isolasi yang sama dengan sampel B, dan bahkan justru karakteristik/nilainya lebih baik dibanding dengan sampel C.

4.3.4.2 Pengujian Tegangan Terapan

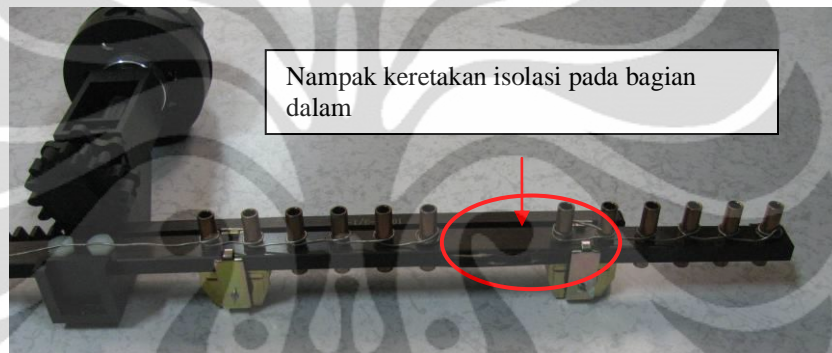
Pada pengujian ini digunakan 2 kondisi, yaitu pada kondisi dengan media udara dan media oli trafo. Dilakukannya pengujian pada kondisi media udara karena diasumsikan juga jika *tap changer* tidak terendam minyak trafo pada saat beroperasi.

Adapun hasil pengujian tegangan terapan antar fasa U dan V sebagai berikut:

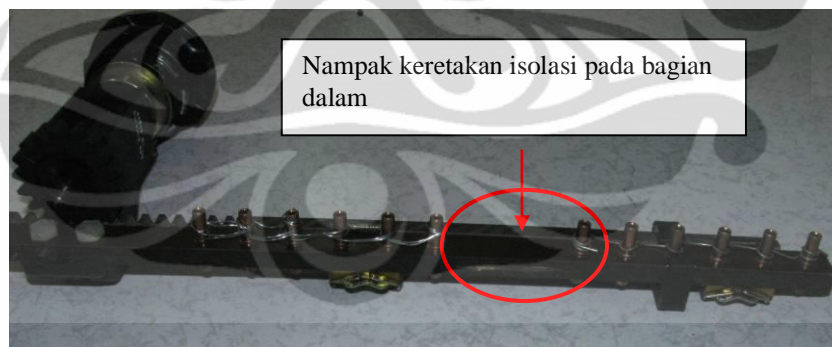
Tabel.4.7 Hasil pengujian tegangan terapan antar fasa U – V dengan media udara

SAMPEL	FASA U - FASA V	KETERANGAN
A	27 kV	Terjadi flash over pada permukaan
B	27 kV	Terjadi flash over pada bagian dalam isolasi
C	26 kV	Terjadi flash over pada bagian dalam isolasi

Berdasarkan hasil pengujian tegangan terapan antar fasa tersebut, terlihat pula bahwa tingkat isolasi *tap changer* sampel A justru lebih baik dibandingkan dengan dua sampel lainnya. Adapun bentuk-bentuk kerusakan pengujian tegangan terapan antar fasa terlihat sebagai berikut:



Gambar.4.9 Kerusakan isolasi pada sampel B



Gambar.4.10 Kerusakan isolasi pada sampel C

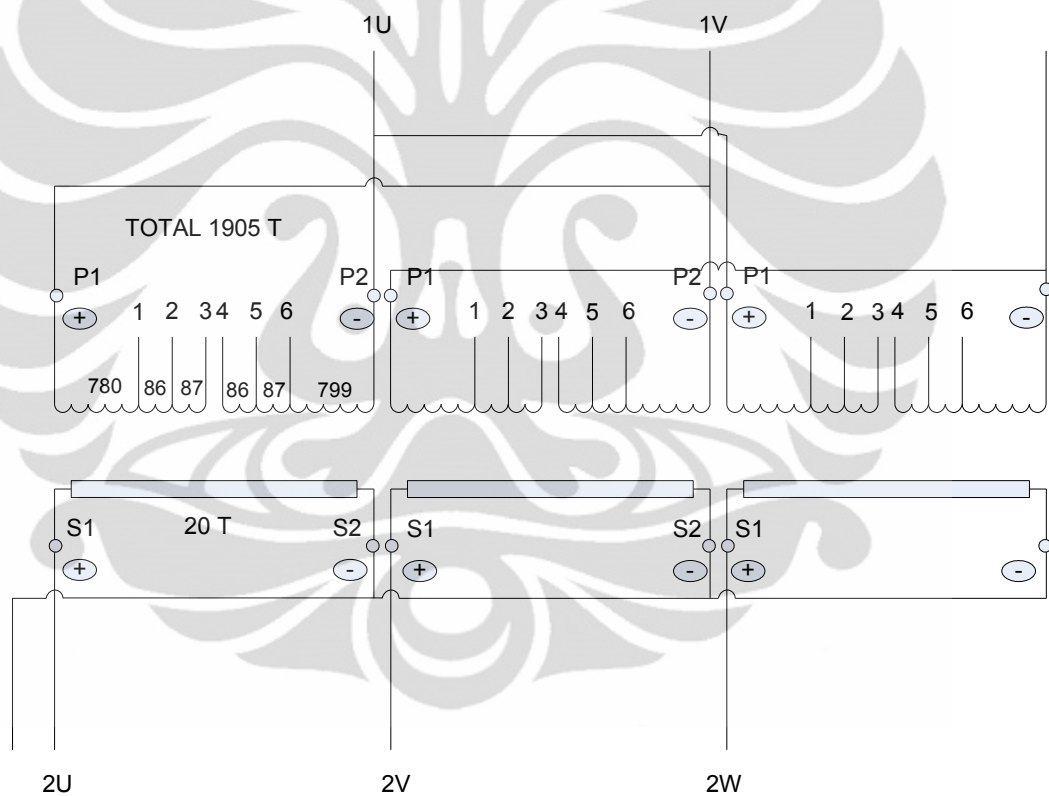
Adapun hasil pengujian tegangan terapan antar pin dalam satu fasa sebagai berikut:

Tabel.4.8 Hasil pengujian tegangan terapan antar Pin dalam satu fasa

PIN	FASA U		FASA V	
	Dengan Media Oli	Dengan Media Udara	Dengan Media Oli	Dengan Media Udara
1 - 2	37 kV	12 kV	37 kV	12 kV

Karena sampel B dan C mengalami kerusakan pada isolasi, maka pada pengujian tegangan terapan antar pin dalam satu fasa ini hanya menggunakan 1 sampel yaitu sampel A. Pada pengujian ini *flash over* yang terjadi semua pada bagian permukaan isolasi, yang berarti tidak ada masalah material isolasi pada tap changer. Namun sebaliknya dengan kondisi sampel B dan C pada pengujian tegangan terapan antar fasa, justru terdapat masalah material isolasi, karena kondisi yang menyatakan isolasi baik adalah dengan terjadinya *flash over* pada bagian permukaan.

4.3.4.3 Pemeriksaan Design Transformator



TAP 1 = 4 - 3

TAP 2 = 3 - 5

TAP 3 = 5 - 2

TAP 4 = 2 - 6

TAP 5 = 6 - 1

Gambar.4.11 Gambar design transformator gangguan

Tabel.4.9 Perbandingan tegangan antar pin dalam satu fasa, antara pengukuran langsung dengan *design*

POSISI TAP	PIN	FASA U		FASA V	
		Pengukuran (V)	Design (V)	Pengukuran (V)	Design (V)
1	1-2	37,1	37,6	37,2	37,6
	2-3	27,99	28,3	27,99	28,3
	3-4	18,6	18,8	18,6	18,8
	4-5	9,3	9,34	9,25	9,34
2	1-2	28,52	28,3	28,5	28,3
	2-3	19,13	18,9	19,19	18,9
	3-4	9,5	9,5	9,54	9,5
	5-6	9,65	9,3	9,63	9,3
3	1-2	20,74	18,8	20,7	18,8
	2-3	10,48	9,5	10,59	9,5
	4-5	10,67	9,3	10,67	9,3
	5-6	20,9	18,8	20,92	18,8
4	1-2	10,74	9,3	10,8	9,3
	3-4	11,04	9,5	10,91	9,5
	4-5	21,18	18,9	21,77	18,9
	5-6	32,84	28,3	32,65	28,3
5	2-3	11,31	9,3	11,31	9,3
	3-4	22,48	18,8	22,59	18,8
	4-5	33,73	28,3	34	28,3
	5-6	45,1	37,6	45,7	37,6

Berdasarkan tabel diatas, dapat dikatakan bahwa antara pengukuran langsung pada Pin-Pin *tap changer* adalah sama dengan design

Dengan tegangan supply sebesar 207 Volt, maka rasio perkalian untuk membandingkan dengan kondisi sebenarnya pada masing-masing TAP adalah:

- TAP 1 : $22000/207$, maka rasionya adalah 106,3
- TAP 2 : $21000/207$, maka rasionya adalah 101,45
- TAP 3 : $20000/207$, maka rasionya adalah 96,62
- TAP 4 : $19000/207$, maka rasionya adalah 91,79
- TAP 5 : $18000/207$, maka rasionya adalah 86,96

Setelah dilakukan perhitungan perkalian antara tegangan hasil pengukuran dengan nilai rasionya, diperoleh bahwa tegangan maksimum antar PIN dalam satu fasa adalah sebesar 3,943 kV (Posisi TAP 1, Pengukuran Pin 1-2).

Tabel.4.10 Resume pengujian

NO	PENGUJIAN	HASIL	KETERANGAN
1	<i>Dissolved Gas Analysis</i>	<i>Total Dissolved Combustible Gas (TDCG) > 4630</i> , mengindikasikan berada pada kondisi 4	Dimungkinkan terjadi panas berlebih dan busur api
2	Korosi belerang	Sampel A, kategori 2b Sampel B, kategori 1b Sampel C, kategori 1b	Tidak korosif
3	Tegangan tembus	Sampel A, <i>Break Down Voltage (BDV) = 42 kV</i> Sampel B, <i>Break Down Voltage (BDV) = 71 kV</i> Sampel C, <i>Break Down Voltage (BDV) = 62 kV</i>	Kondisi minyak isolasi dalam keadaan cukup baik
4	Tahanan isolasi	Isolasi sampel A>B>C	Karakteristik isolasi sampel A lebih baik
5	Tegangan terapan	Tegangan isolasi antar fasa U - V = 37 kV Tegangan isolasi antar pin satu fasa = 12 kV	Untuk isolasi yang kurang baik, dapat mengakibatkan retak pada pengujian ini
6	Pemeriksaan design transformator	Tegangan maksimum antar pin 3,943 kV	Kemampuan isolasi lebih besar, dibanding besar tegangan antar pin

BAB 5

KESIMPULAN

Setelah asumsi-asumsi hasil identifikasi dibuktikan dengan beberapa pengujian tersebut. Ada beberapa point yang bisa disimpulkan:

1. Hasil pengujian *Dissolved Gas Analysis (DGA)* yaitu nilai *Total Dissolved Combustible Gas (TDCG)* sebesar 5491, berarti transformator berada pada kondisi 4. Berdasarkan hal tersebut, bahwa hasil pengujian *Dissolved Gas Analysis (DGA)* sejalan dengan asumsi yang digunakan, karena adanya *over heating* dan *arching* hingga menimbulkan tap changer terbakar.
2. Berdasarkan hasil pengujian korosi belerang dan tegangan tembus minyak, diperoleh hasil bahwa sampel A tidak korosif (2b) dengan BDV 42 kV, sampel B tidak korosif (1b) dengan BDV 71 kV, sampel C tidak korosif (1b) dengan BDV 62 kV. Dengan demikian asumsi terjadi korosi belerang dan buruknya kualitas minyak trafo yang digunakan tidak terbukti.
3. Untuk pengukuran tahanan isolasi (megger) setelah dilakukan pemanasan selama 3 jam dalam kondisi suhu 90°C , pada saat pengukuran panas tap changer semakin menurun, namun seiring pengukuran yang dilakukan diluar oven, justru tahanan isolasi naik. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa apabila terjadi *over heat* pada trafo, nilai isolasi bisa menurun.
4. Dengan pengujian tegangan terapan baik antar fasa U dan V, maupun antar pin, menunjukkan tingkat ketahanan isolasi dari *tap changer*. Diperoleh hasil bahwa kemampuan isolasi antar fasa U-V rata-rata berkisar 27 kV pada kondisi media udara, kemampuan isolasi antar pin 12 kV pada kondisi media udara, dan pada media oli sebesar 37 kV.

Pada pengujian ini, apabila kondisi isolasi tidak baik dapat mengakibatkan retak seperti sampel B dan C.

5. Pada pemeriksaan tegangan antar pin *tap changer* (*design* transformator) diperoleh nilai tegangan terbesar adalah 3,943 kV yaitu pada pin 1-2 apabila *tap changer* diposisikan pada posisi tap 1. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa besar tegangan antar pin lebih kecil dibandingkan dengan ketahanan isolasi yang dimiliki bakelit isolasi *tap changer*. Sehingga dengan kondisi ini, bahwa asumsi terdapatnya kesalahan design tidak terbukti dan potensi discharge bisa terjadi jika kondisi isolasi tidak baik.

Berdasarkan semua point-point kesimpulan tersebut, akhirnya dapat diperoleh garis lurus untuk mengasumsikan penyebab terjadinya kerusakan ialah bahwa adanya *over heat* pada isolasi *tap changer* yang disebabkan kondisi isolasi *tap changer* yang tidak baik hingga akhirnya mengakibatkan tegangan busur/*arching*.

DAFTAR PUSTAKA

- PT. PLN (2007). SPLN D3.002-1:2007, Spesifikasi Transformator Distribusi Bagian 1:Transformator Fasa Tiga, 20 kV-400 V dan Transformator Fasa Tunggal, 20 kV-231 V dan $20/\sqrt{3}$ kV-231 V. Jakarta:PLN.
- PT. PLN (1982). SPLN 49-1:1982, Minyak Isolasi. Jakarta:PLN.
- Hardityo, Rahmat.(2008, Agustus). Deteksi dan Analisis Indikasi Kegagalan Transformator Dengan Metode Analisis Gas Terlarut. Depok.
- IEEE (2008). C57.104, IEEE Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil-Immersed Transformers. New York.
- Lewand, Lance (2007). Testing for Corrosive Sulfur Effects. www.netaworld.org
- IEC-156, Insulating Liquid Determinan of Breakdown Voltage at Power Frequency Test Method, 1995.

DAFTAR ACUAN

- [1] <http://www.esdm.go.id/berita/listrik/39-listrik/1807-perkembangan-program-percepatan-10000-mw.html>
- [2] <http://www.pln.co.id/?p=606>
- [3] <http://dunia-listrik.blogspot.com/2009/03/ilmu-bahan-listrik-bahan-penyekat.html>

