

MILIK PERPUSTAKAAN

SKRIPSI UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

**ANALISIS TAHANAN BELITAN DAN TEGANGAN ISOLASI
SERTA RUGI BEBAN DARI INDUCED OVER VOLTAGE
YANG TERJADI PADA SAAT TRAFO
DIOPERASIKAN PADA JARINGAN**



ARYA EKO PUTRA
105 821 451 14

SYAIFUL
105 821 1356 14

PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2021

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
SIBAGA PERPUSTAKAAN & PENERBITAN

Tgl. Pengantar	21/09/2021
No. Surat	-
Jumlah exp.	1 exp.
Tempo	Semb. Alumni
No. Pendaftaran	-
No. Absen	R/0037/ELT/21 CD
	PUT
	a'

**ANALISIS TAHANAN BELITAN DAN TEGANGAN ISOLASI
SERTA RUGI BEBAN DARI INDUCED OVER VOLTAGE
YANG TERJADI PADA SAAT TRAF0
DIOPERASIKAN PADA JARINGAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

Disusun dan diajukan oleh

ARYA EKO PUTRA
105 821 451 14

SYAIFUL
105 821 1356 14

**PROGRAM STUDI TEKNIK LISTRIK
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2021**



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221
Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: elektroft@unismuh.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS TAHANAN BELITAN DAN TEGANGAN ISOLASI SERTA RUGI BEBAN DARI INDUCED OVER VOLTAGE YANG TERJADI PADA SAAT TRAF0 YANG DIOPERASIKAN PADA JARINGAN**

Nama : 1. Arya Eko Putra
2. Syaiful

Sambuk : 1. 105 82 1451 14
2. 105 82 1356 14

Makassar, 9 September 2021

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II


Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc


Rizal Ahdiyut Duyo, S.T.,M.T

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro


Adriansyah, S.T., M.T.
NBM : 1044 202



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: www.unismuh.ac.id, e_mail: elektroft@unismuh.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Arya Eko Putra** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 1451 14 dan **Syaiful** dengan nomor induk Mahasiswa 105 82 1356 14, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0010/SK-Y/20201/091004/2021, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Selasa, 31 Agustus 2021.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

Makassar,

02 Shafar 1443 H

9 September 2021 M

- a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar
Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag
- b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Prof. Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, M.T

2. Penguji

- a. Ketua : Dr. Umar Katu, S.T., M.T
- b. Sekretaris : Adriani, S.T., M.T

3. Anggota

- 1. Dr. Eng. Ir. H. Zulfajri Basri Hasanuddin, M.Eng :
- 2. Anugrah, S.T., M.M
- 3. Dr. Ir. Hj. Hatsah Nirwana, M.T

Mengetahui

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Rizal Ahdiyat Duyo, S.T., M.T

Dekan



Dr. P. H. Nurdawaty, S.T., M.T., IPM

NBM 195/108

ABSTRAK

Abstrak : Arya Eko Putra dan Syaiful (2021) Analisis Tahanan Belitan Dan Tegangan Isolasi Serta Rugi Beban Dari Induced Over Voltage Yang Terjadi Pada Saat Trafo Yang Dioperasikan Pada Jaringan dibimbing oleh DR. Ir Zahir Zainuuddin, M.Sc, Rizal A Duyo, S.T., M.T. Adapun tujuan dari pada penelitian ini adalah Untuk mengetahui tahanan belitan yang menggambarkan nilai rugi belitan dari transformator. Untuk mendapatkan tegangan isolasidan induksi tegangan lebih dari gangguan-gangguan Mengetahui perbandingan tegangan ratio selain dengan ukuran jumlah tegangan sisi primer . Metode yang dipergunakan pada penelitiann ini adalah mengadakan penelitian dan pengambilan data di Penelitian dilaksanakan di PT. Kalla Electncal System Di Makassar. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini adalah.Terhadap tahanan belitan, dimana besarnya nilai tahanan belitan ini menggambarkan nilai rugi belitan (I^2R) dari transformator tersebut pada saat berbeban.Untuk tegangan isolasi (dielectric test) yang berupa pengujian tegangan terapan (applied voltage test) dan pengujian induksi tegangan lebih (induced over voltage) merupakan simulasi dari gangguan-gangguan yang terjadi pada saat trafo dioperasikan di jaringan. Pengukuran rugi dan arus beban nol selain untuk mengukur rugi dari inti besi dan arus eksitasi juga untuk memeriksa tahanan isolasi transformator terhadap tegangan tinggi yang timbul pada transformator tersebut. Pada perbandingan tegangan (ratio) selain mengukur jumlah tegangan sisi primer dan sekunder juga dapat mengidentifikasi gangguan pada trafo seperti hubungan belitan terputus (open Cirkuit) dan koneksi hubungan belitan. Pengukuran rugi berbeban selain untuk mengukur rugi tahanan pada trafo juga dapat mengetahui jatuh tegangan yang terjadi pada saat beroperasi. Makin besar nilai impedansi (Z) suatu transformator maka makin besar pula jatuh (drop) tegangan yang ada pada trafo, dan makin kecil nilai tegangan impedansinya maka makin besar pula arus hubung singkat yang akan dialami trafo tersebut.

Kata kunci ; Trafo, Tahan, Tegangan dan Belitan

ABSTRACT

Abstract : Arya Eko Putra and Syaiful (2021) Analysis of Winding Resistance and Insulation Voltage and Load Loss From Induced Over Voltage Occurs When The Transformer Is Operated On The Network Supervised by DR. Ir Zahir Zainuuddin, M.Sc, Rizal A Duyo, S.T., M.T. The purpose of this study is to determine the winding resistance which describes the winding loss value of the transformer. To get the isolation voltage and the induced voltage over the disturbances. Knowing the ratio voltage ratio other than the measure of the sum of the primary side voltages. The method used in this research is conducting research and data collection in the research carried out at PT. Kalla Electrical System in Makassar. The results obtained in this study are. Against winding resistance, where the magnitude of the winding resistance value describes the value of the winding loss (I^2R) of the transformer when it is loaded. For the insulation voltage (dielectric test) in the form of applied voltage test and The induced over voltage test is a simulation of the disturbances that occur when the transformer is operated in the network. Measurement of loss and zero load current in addition to measuring the loss of the iron core and excitation current is also to check the insulation resistance of the transformer against the high voltage that occurs in the transformer. In the comparison of voltages (ratio) in addition to measuring the amount of voltage on the primary and secondary sides, it can also identify disturbances in the transformer such as disconnected windings (open circuit) and winding connections. Measurement of load loss in addition to measuring the resistance loss on the transformer can also find out the voltage drop that occurs during operation. The greater the value of the impedance (Z) of a transformer, the greater the voltage drop on the transformer, and the smaller the value of the impedance voltage, the greater the short circuit current that the transformer will experience.

Keywords ; Transformer, Resistance, Voltage and Winding

KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Wr. Wb,

Puji syukur kami panjatkan kehadirat ALLAH SWT karena dengan segala limpahan rahmat dan karunia-Nya kami dapat menyelesaikan penyusunan skripsi dengan judul “ANALISIS TAHANAN BELITAN DAN TEGANGAN ISOLASI SERTA RUGI BEBAN DARI INDUCED OVER VOLTAGE YANG TERJADI PADA SAAT TRAF0 DIOPERASIKAN PADA JARINGAN”. Laporan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata satu (S1) di Prodi Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar

Kami menyadari dalam penyusunan skripsi ini banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Tiada kata lain yang mampu terucap dari lisan ini selain kata “terima kasih” yang sebesar-besarnya sebagai bentuk penghargaan dan penghormatan atas segala bentuk bantuan, doa dan bimbingannya selama menjalani masa studi. Ucapan ini saya berikan kepada:

- 1) Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag, Selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar
- 2) Dr. Ir. Hj. Numawaty, ST, MT, IPM Selaku Dekan Fakultas Teknik.
- 3) Para Dosen dan Staf Fakultas Teknik Unversitas Muhammadiyah Makassar.
- 4) Adriani S.T., M.T. Selaku Ketua Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik.
- 5) Rahmania, S.T., M.T. Selaku Sekertaris Prodi Teknik Elektro Fakultas Teknik.

- 6) Dr. Ir. H. Zahir Zainuddin, M. Sc dan Rizal Ahdiyat Duyo, S.T., M.T.
Selaku Dosen Pembimbing.
- 7) Teman-teman kami khususnya angkatan 2014 (ELEKTRO) Fakultas
Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, terima kasih atas dukungan
dan doanya.
- 8) Dan terkhusus kepada kedua orang tua kami serta keluarga kami yang telah
memberikan dorongan dan motivasi baik secara moril maupun materil.

Dalam penyusunan skripsi ini kami telah berusaha untuk memberikan yang terbaik, namun karena keterbatasan sebagai manusia biasa yang tidak lepas dari kekurangan, kami masih menyadari bahwa masih terdapat kekurangan-kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, namun dengan keterbatasan yang ada kami berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan dikembangkan lebih lanjut.

Amin Yarabbal Alamin.

Makassar, Juli 2021

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMA PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Batasan Masalah	4
E. Manfaat Penelitian	4
F. Metode Penelitian	5
G. Sistematika Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Jenis Transformator	7
B. Prinsip Kerja Transformator	14

C. Rangkaian Ekvivalen.....	17
D. Penentuan Parameter.....	18
E. Rugi – Rugi.....	19
F. Konstuksi dan Ciri-ciri Transfobator Distribusi.....	21
G. Komponen - Komponen Transformator.....	21
H. Gambar blok pengukuran.....	28
I. Transpormator.....	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	49
A. Waktu dan Tempat.....	49
B. Metode Penelitian.....	49
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	51
A. Data hasil penelitia.....	51
B. Pengujian Rutin.....	52
BAB V PENUTUP.....	58
A. Kesimpulan.....	58
B. Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Transformator Dengan Lilitan Sekunder Terbuka	15
Gambar 2.2. Transformator Dengan Beban pada sisi sekunder	16
Gambar 2.3. Rangkaian Ekvivalen Transformator	17
Gambar 2.4. Jenis Transformator berdasarkan Konstruksi Inti	22
Gambar 2.5. Belitan Konsentris	23
Gambar 2.6 Rangkaian pengukuran impedansi dan rugi berbeban	28
Gambar 2.7 Rangkaian pengukuran rugi dan arus beban nol	29
Gambar 2.8 Rangkaian pengujian TT terhadap TR dan tangki	31
Gambar 2.9 Rangkaian pengujian TR terhadap TT dan tangki	31
Gambar 2.10 Rangkaian pengujian tegangan induksi	32
Gambar 2.11 Pengukuran tahanan belitan primer hubungan delta (A)	36
Gambar 2.12 Pengukuran tahanan belitan sekunder hubungan bintang (Y)	37
Gambar 2.13 Kelompok vektor hubungan $Yzn5$	38
Gambar 2.14 Rangkaian pengukuran impedansi dan rugi berbeban	40
Gambar 2.15 Rangkaian pengukuran rugi dan arus beban nol	44
Gambar 2.16 Rangkaian pengujian TT terhadap TR dan tangki	46
Gambar 2.17 Rangkaian pengujian TR terhadap TT dan tangki	46
Gambar 2.18 Rangkaian pengujian tegangan induksi	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Batas kenaikan Temperatur Isolasi.....	24
--	----



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Seiring dengan meningkatnya ilmu pengetahuan dan teknologi dewasa ini menyebabkan tingginya kebutuhan akan pemanfaatan energi di berbagai aspek kehidupan. Salah satu sumber energi yang paling banyak digunakan hingga saat ini adalah sumber energi listrik. Energi listrik mempunyai banyak keunggulan dibandingkan sumber energi lainnya, karena sifatnya yang fleksibel dan mudah dikonversi dari sumber energi lain, demikian juga sebaliknya. Hal inilah yang menyebabkan energi listrik merupakan salah satu pilihan utama pemakai energi.

Tingginya kebutuhan akan tenaga listrik tersebut, maka dibutuhkan pula suatu sistem yang dapat mengelolah energi listrik yang ada saat ini agar energi listrik tersebut dapat disumberdayakan guna memenuhi kebutuhan masyarakat akan energi listrik saat ini maupun di masa yang akan datang. Oleh karena itu, diperlukan suatu perencanaan yang teliti, terperinci dan sistematis dalam perencanaan sistem tenaga listrik seperti desain sistem pembangkit, jaringan transmisi dan sistem jaringan distribusinya. Perencanaan tersebut juga harus memperhatikan beberapa aspek lain yang disesuaikan dengan perkembangan sistem daya/beban yang disesuaikan dengan pengaruhnya dari segi sosial dan ekonomi.

Salah satu bagian dari sistem tenaga listrik yang menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkitan sampai ke konsumen atau pelanggan adalah sistem distribusi mempunyai fungsi yang penting sebagai komponen dari sistem tenaga

listrik khususnya dalam penyaluran tenaga listrik ke konsumen maka perlu dilakukan suatu studi sebagai salah satu upaya memaksimalkan pemenuhan kebutuhan energi listrik terhadap konsumen yakni (masyarakat).

Peranan tenaga kelistrikan sangat dibutuhkan untuk menunjang kegiatan sehari-hari. Misalnya pada peralatan listrik transformator yang berperan penting dalam penyediaan tenaga listrik dalam jumlah yang cukup serta kontinuitas pelayanan yang memadai dalam menyalurkan energi listrik ke tempat yang dibutuhkan.

Berbagai data dan analisis kerusakan transformator di lingkungan PT. PLN, memperlihatkan bahwa angka kerusakan akibat ketidakmampuan transformator untuk menahan gangguan (fault) yang terjadi adalah cukup besar, dan sisi lain yang tidak menguntungkan adalah seringnya gangguan hubung singkat pada jaringan, terutama pada jaringan udara yang tergantung pada keadaan lingkungan, karakteristik jaringan dan peralatan yang terpasang. Disamping itu kemampuan sistem proteksi tidak bisa terlalu diharapkan. Karena kondisi tersebut, maka setiap transformator yang diproduksi harus melalui pengujian rutin, jenis atau khusus untuk menyatakan layak atau tidaknya transformator tersebut digunakan.

PT. PLN melalui standar SPLN dengan Spesifikasi Transformator Distribusi, mensyaratkan pengujian rutin terhadap setiap transformator distribusi. Dengan berlakunya standar tersebut dapat diartikan bahwa pengujian rutin merupakan mata uji wajib bagi desain atau prototype suatu transformator distribusi yang akan digunakan dilingkungan PT. PLN.

Standar yang digunakan sebagai acuan pembahasan adalah IEC General dan SPLN. Standar tersebut merupakan spesifikasi yang bersifat umum dan mengatur berbagai jenis, kapasitas, dan konstruksi transformator.

Dalam penelitian ini, pembahasan dibatasi pada transformator distribusi yang umum digunakan di lingkungan PT. PLN yaitu transformator distribusi dua belitan dengan tegangan pengenal 20 kV - 400 V (fase tiga). Selain itu, transformator distribusi yang dibuat untuk kondisi penggunaan khusus seperti transformator tegangan ganda (B1-B2) dan transformator jenis kering tidak termasuk dalam lingkup pembahasan.

Mata uji pengujian jenis yang tidak termasuk pengujian rutin (pengujian impuls dan kenaikan suhu) tidak dibahas karena tidak mempunyai hubungan langsung dengan penilaian/evaluasi uji hubung singkat.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis tertarik untuk menjadikan sebagai bahan tugas akhir dengan judul: "**Analisis Tahanan Belitan Dan Tegangan Isolasi Serta Rugi Beban Dari Induced Over Voltage Yang Terjadi Pada Saat Trafo Yang Dioperasikan Pada Jaringan**".

B. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Transformator yang didesain harus mampu menahan berbagai jenis gangguan internal dan eksternal yang terjadi.
2. Kemampuan transformator dalam menahan semua gangguan harus diperhitungkan, baik yang sifatnya tidak langsung maupun yang sifatnya langsung merusak, misalnya gangguan yang memperburuk

3. Kemampuan material isolasi, dan sebagai pembuktian ketepatan desain tersebut hanya dapat dilakukan melalui pengukuran yang merupakan perumpamaan dari keadaan-keadaan saat gangguan.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui tahanan belitan yang menggambarkan nilai rugi belitan dari transformator.
2. Untuk mendapatkan tegangan isolasi dan induksi tegangan lebih dari gangguan-gangguan
3. Mengetahui perbandingan tegangan ratio selain dengan ukuran jumlah tegangan sisi primer

D. Batasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan yang ada pada tugas akhir ini, maka penulis merasa perlu untuk membatasi masalah. Adapun batasan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah

1. Sistem pengujian rutin transformator distribusi tiga fasa.
2. Analisis pengujian rutin transformator distribusi tiga fasa.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah :

1. Pengukuran rugi berbeban selain untuk mengukur rugi tahanan pada trafo juga dapat mengetahui jatuh tegangan yang terjadi pada saat beroperasi.
2. Memberikan gambaran tentang berbagai jenis pengujian rutin transformator distribusi tiga fasa.

3. Memberikan hasil analisis tentang pengujian rutin transformator distribusi tiga phasa.

F. Metode Penelitian

1. Survei

Survei adalah melakukan kunjungan atau pengamatan secara langsung pada PT. PLN (Persero) untuk mendapatkan data-data yang diperlukan dalam penyusunan tugas akhir.

2. Wawancara

Wawancara adalah mengadakan tatap muka atau wawancara secara langsung dengan pimpinan perusahaan serta beberapa staf personalia yang ada kaitannya dengan penyusunan tugas akhir ini.

3. Studi literatur

Studi literatur adalah suatu kegiatan yang dilakukan dengan mengadakan studi dari buku-buku/pustaka yang berkaitan dengan masalah yang dibahas dalam penulisan ini.

G. Sistematika Penelitian

Pembahasan dalam penelitian tugas akhir ini dilakukan secara sistimatis dari umum ke pembahasan inti. Adapun garis besar isi tugas akhir ini adalah:

Bab I : PENDAHULUAN

Merupakan pendahuluan yang memuat latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan pembahasan, batasan masalah dan manfaat penelitian serta metode penelitian dan sistematika penelitian

Bab II : TINJAUAN PUSTAKA

Merupakan teori dasar tentang trafo, Jenis Transformator Prinsip Kerja Transformer, Rangkaian Ekuivalen Transformator, Penentuan Parameter, Rugi-Rugi Transformator, Ciri-Ciri Transformator Distribusi, Komponen-Komponen Transformator, Jenis Transformator dan Klasifikasi Pengujian Pengujian Rutin yang dilakukan pada transformator distribusi.

Bab III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini membahas tentang waktu, tempat dan alur penelitian serta metode penelitian.

Bab IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Merupakan pembahasan tentang analisis sistem, pengujian rutin transformator distribusi tiga fasa yang meliputi standar pengujian, metode/cara pengujian, dan evaluasi/penilaian.

Bab V : Merupakan bab penutup yang terdiri dari kesimpulan dari seluruh isi pembahasan pada bab-bab sebelumnya, serta saran sebagai pelengkap.

BAB II

TINJAUAN PIUSTAKA

A. Jenis Tranpormator

Transformator merupakan salah satu material/peralatan yang paling penting untuk pemindahan dan pembagian tenaga listrik secara praktis, efektif dan ekonomis dalam lapangan yang luas. Kerugian yang terjadi dalam transformator pada muatan normal adalah kecil. Ada 2 macam kerugian yang terpenting di dalam trafo, yaitu :

1) Kerugian tembaga (kerugian watt Cu)

Besarnya kerugian tembaga tergantung dari besarnya muatan pada transformator.

2) Kerugian besi (kerugian Fe)

Besarnya kerugian Fe adalah tetap meskipun transformator dihubungkan dan dimuati secara terus menerus pada siang dan malam.

Hal-hal yang perlu diadakan penelitian sebelum pemasangan trafo pada jaring-jaring yang bertegangan, yaitu :

- Sifat-sifat dari transformator apakah sesuai jaringan yang ada atau tidak.
- Kondisi trafo tersebut apakah masih dalam keadaan baik atau tidak.
- Peralatan pengaman (bila ada) apakah masih dalam keadaan baik atau tidak.

Sifat-sifat pokok dari suatu transformator dapat dilihat pada nama pelatnya. Dengan mengetahui data-data dari nama pelat, maka dapat

diketahui apakah trafo tersebut sesuai atau tidak dengan jaringan dimana trafo tersebut akan dipasang.

Salah satu komponen transformator adalah inti besi yang merupakan unsur utama pembuatan transformator dan elemen inilah yang menentukan mutu sebuah transformator. Ada 3 jenis konstruksi Inti Besi yang sering digunakan dalam pembuatan transformator, yaitu :

1) Strip-wound Core

Jenis ini diterapkan pada transformator fase tunggal atau fase tiga dengan ukuran yang sesuai (compact size) yang memiliki tingkat bising rendah dan karakteristik sirkit magnetisasi yang sangat baik.

2) Step-lap Core

Jenis step-lap core sangat cocok untuk diterapkan pada transformator fase tunggal atau fase tiga, transformator ukuran kompak core type atau shell type sehingga menghasilkan sirkit magnetisasi yang sangat baik untuk mendapatkan rugi besi yang sangat rendah dan meningkatkan kekuatan mekanis transformator.

3) Stacking Core

Pada jenis ini, inti besi disambung dengan lembaran baja silikon yang mempunyai sudut 45° sehingga mendapatkan kekuatan mekanis yang baik. Kekuatan ini diterapkan pada transformator fase tiga dengan kapasitas yang besar. Dengan menggunakan baja silikon berkualitas tinggi akan menghasilkan rugi besi yang rendah.

Transformator mempunyai beberapa peralatan pelengkap yang terdiri dari :

- Perlengkapan Standar Transformator, terdiri dari :
 - a) Pelat nama data-data teknik dan pelat serta pengawatan
 - b) Indikator tinggi minyak (gelas penduga)
 - c) Lubang pengisi minyak
 - d) Kuping pengangkat
 - e) Lubang penguras minyak 0 Thermometer
 - f) Pelat nama pabrikan/merek perniagaan
 - g) Roda transformator
- Perlengkapan Tambahan Transformator, terdiri dari ;
 - a) Konstruksi tangki hermetically sealed
 - Alat pembatas tekanan
 - Pengisian nitrogen
 - Thermometer dengan dua kontak dan kotak terminal
 - b) Kostruksi tangki konvensional
 - Conservator dengan silica gel
 - Relay Buchholz
 - Thermometer dengan dua kontak
 - Kotak terminal

Pembebanan transformator terutama dibatasi oleh ketuaan atau penurunan kemampuan isolasi yang merupakan fungsi waktu dan suhu. Pembebanan transformator secara ekonomis dapat ditentukan dengan menghitung ketuaan dan karakteristik transformator, dalam hal ini dapat ditentukan dengan mengadakan analisis perhitungan kerugian biaya selama transformator dipakai dan biaya

operasi transformator. Perubahan dari kedua biaya ini dapat digunakan untuk menentukan pembebanan ekonomis dari transformator untuk kondisi saat ini yang dibandingkan dengan kondisi sebelumnya dan membuat kerangka serta penelahan kembali untuk suatu kebijaksanaan khusus seperti penggantian transformator-transformator yang diperkirakan akan rusak, perbaikan faktor beban, perubahan susunan tarif dan sebagainya.

Petunjuk pembebanan transformator-transformator daya yang direndam dalam minyak mempunyai harapan masa pakai yang normal, bila transformator bekerja pada batas kVA dengan suhu rata-rata 32°C dan suhu paling tinggi hingga 98°C (IS : 6600-1972). Petunjuk ini didasarkan pada percobaan-percobaan laboratorium dan aturan hidup isolator 6°C . Spesifikasi Amerika (1974) memberikan petunjuk pembebanan yang lebih nyata untuk transformator distribusi dengan kenaikan suhu rata-rata 55°C berdasarkan uji coba di lapangan. Dalam hal ini metode untuk menghitung persentase kerugian masa pakai dalam waktu yang pendek untuk beban harian dengan suhu yang sesuai kenyataan telah diterangkan. Untuk pemakaian beban yang disarankan, fluktuasi siklus beban yang nyata harus diubah menjadi siklus beban dan suhu yang equivalent. Sebuah transformator yang mencatu beban berfluktuasi menimbulkan kerugian berfluktuasi pula, pengaruhnya sama dengan beban tengah-tengah yang tepat untuk periode waktu yang sama. Hal ini disebabkan oleh karakteristik penyimpanan panas dari bahan-bahan pada transformator.

Suhu lingkungan merupakan faktor penting dalam menentukan masa pakai transformator pada saat membebaninya. Ini ditambahkan pada kenaikan suhu

untuk setiap beban dalam menentukan suhu tertinggi transformator, yang sebaliknya menentukan kerugian masa pakai transformator. Suhu lingkungan bulanan yang didapat dengan menghitung rata-rata suhu harian selama beberapa tahun, yang dapat diperoleh dari jawatan meteorologi.

Secara garis besar bentuk pemasangan transformator distribusi terbagi atas 2, yaitu (AS Pabla, 199):

a) Pemasangan luar Transformator dapat dipasang dengan salah satu cara berikut ini :

- Pemasangan langsung

Langsung diklem dengan klem yang cocok dengan tiang. Cara ini cukup baik untuk transformator kecil sampai 25 kVA saja.

- Pemasangan pada tiang H

Transformator dipasang dengan lengan silang yang dipasang diantara dua tiang dan diikat erat. Cara ini sesuai untuk transformator berkapasitas hingga 200 kVA.

- Pemasangan pada platform

Sebuah platform dibuat pada suatu struktur yang terdiri dari 4 (empat) tiang untuk menentukan transformator. Cara ini dianjurkan pada tempat-tempat yang berbahaya bila menempatkan transformator di atas tanah.

- Pemasangan di lantai

Cara ini cocok untuk semua ukuran transformator. Permukaan lantai hams lebih tinggi dari sekelilingnya guna mengatasi banjir. Sebaiknya

dibuat dari pondasi beton. Jika sejumlah transformator ditempatkan berdekatan sekali, maka harus dibuatkan dinding pemisah yang tahan api untuk mengurangi kerusakan yang timbul jika terjadi kecelakaan atas salah satu transformator tersebut. Di sekeliling transformator yang terpasang di lantai harus direncanakan adanya aliran udara bebas pada semua transformator. Jika mungkin, transformator yang terpasang di luar harus dilindungi terhadap sinar matahari secara langsung. Hal ini akan meningkatkan umur cat dan juga memperpanjang umur transformator. Untuk menjaga agar tidak terjadi gerakan jika ada badai roda-roda. Transformator harus diganjal sesudah dipasang ditempat yang tetap.

Transformator yang dimaksudkan untuk pemasangan di dalam dapat memiliki kotak kabel terpasang baik langsung padanya atau dilengkapi dengan selubung bila kabel-kabel dibatasi pada kotak terminal kabel yang terpasang terpisah di dekatnya. Pasangan terakhir ini memudahkan pemindahan transformator tanpa mengganggu kabel-kabelnya.

Tingkat pulsa transformator distribusi umumnya kurang dan untuk melindungi tingkat isolasinya dibutuhkan penangkal petir pada kutub-kutub transformator 11 kV untuk perlindungan terhadap petir. Sedang pada sisi tegangan rendah atau saluran tegangan rendah tidak dibutuhkan penangkal karena kemungkinan bagian tegangan rendah ini terkena petir kecil ditinjau dari faktor-faktor berikut, yaitu :

- a) Saluran tegangan rendah lebih rendah dibandingkan dengan saluran tegangan tinggi, sehingga lebih kemungkinannya kena petir.

- b) Saluran tegangan rendah melewati daerah-daerah berpenduduk atau melewati tanah dan rintangan-rintangan yang tertutup dengan bangunan-bangunan, pohon-pohon dan sebagainya.
- c) Adanya kawat netral pentanahan atau kawat tanah terpisah pada saluran tegangan rendah meredam besarnya pulsa petir sepanjang isolator saluran karena pengaruh kopling kapasitif kawat pentanahan dan juga meratakan gelombang, dalam hal ini menurunkan kecepatan kenaikan tegangan.
- d) Pada sisi tegangan rendah, karena banyaknya cabang, arus pukulan petir harus disebar. Sehingga pukulan tersebut melemah.
- e) Pukulan petir yang hebat mungkin dipindahkan pada sisi tegangan tinggi (beberapa kali dari tegangan rendah). Penangkal pada sisi tegangan tinggi dapat membantu membuang lonjakan tegangan tinggi, atau pukulan-pukulan ini dapat menyebabkan lonjakan pada isolator tegangan rendah tanpa menyebabkan kerusakan.

Penangkal tegangan rendah mungkin perlu untuk dataran yang luas seperti padang pasir di Rajasthan. Di daerah yang banyak petir mungkin penangkal petir tegangan rendah banyak dibutuhkan, seperti di beberapa bagian dari Kerala yang mempunyai petir lebih dari 100 hari petir tiap tahun.

Transformator adalah perangkat yang dapat memindahkan energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian lainnya. Dalam pemindahan tersebut transformator dapat menaikkan nilai tegangan atau dapat menurunkan tegangan. Transformator terdiri dari inti dan belitan- belitan yaitu belitan primer dan belitan

sekunder. Bagian yang mendapatkan suplai tegangan disebut belitan primer sedangkan bagian yang dihubungkan dengan beban di sebut belitan sekunder.

Berdasarkan penggunaannya maka transformator dapat di bagi menjadi:

- Transformator daya
- Transformator distribusi
- Transformator instrumen atau transformator pengukuran
- Transformator. Pengujian

B. Prinsip Kerja Transformator

1. Prinsip kerja transformator dengan rangkaian sekunder terbuka

Bila tegangan bolak-balik V_1 diberikan pada belitan primer dengan belitan sekunder terbuka (tanpa beban). Seperti diperlihatkan pada gambar 2.1 maka pada belitan primer akan mengalir arus penguatan I_0 yang menghasilkan fluks bolak-balik didalam inti. Fluks yang mengalir dalam inti akan memotong kedua belitan sehingga akan menginduksikan tegangan pada kedua belitan.

Sehingga pada belitan sekunder akan diinduksikan tegangan sebesar :

$$e_2 = 4,44 N_2 f \Phi_{maks} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana :

e_2 = Tegangan yang di induksikan pada sekunder (Volt)

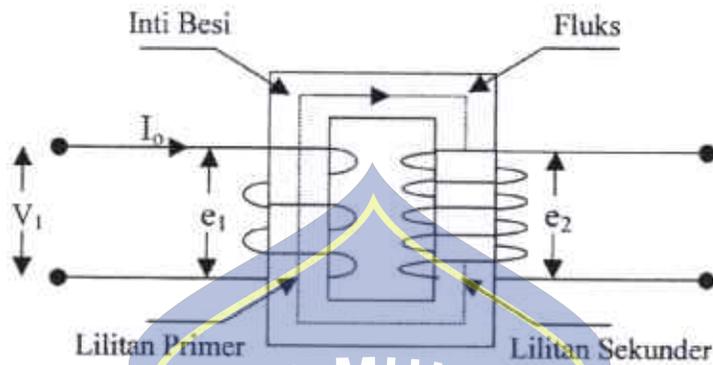
N_2 = Jumlah lilitan pada sekunder (lilit)

f = Frekuensi (Hz)

Φ = Fluks yang di hasilkan (Wb)

Karena di potong oleh Fluks yang sama maka tegangan yang di induksikan dalam setiap lilitan dari kedua belitan adalah sama. Bila e_1 adalah tegangan yang

diinduksikan dalam setiap lilitan primer dan e_2 adalah tegangan yang di induksikan pada lilitan sekunder maka tegangan setiap lilitan pada kedua belitan berturut-turut adalah e_1/N_1 dan e_2/N_2 dengan N adalah jumlah lilitan



Gambar 2.1 Transformator Dengan Lilitan Sekunder Terbuka

Dengan tahanan primer kecil maka e_1 akan hampir sama dengan V_1 sedangkan e_2 akan sama dengan V_2 karena pada sekunder tidak ada arus yang mengalir. Sehingga akan didapat suatu persamaan :

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (2.2)$$

dimana :

a = Perbandingan transformasi

e_1 = Tegangan yang diinduksikan pada primer (Volt)

V_1 = Tegangan pada sisi primer (Volt)

V_2 = Tegangan pada sisi sekunder (Volt)

N_1 = Jumlah lilitan primer (lilit)

N_2 = Jumlah lilitan sekunder (lilit)

2. Prinsip kerja transformator dengan rangkaian sekunder berbeban

Bila pada terminal sekunder di hubungkan dengan beban seperti diperlihatkan pada gambar 2.2 maka pada belitan sekunder akan mengalir arus, Sehingga arus pada primer menjadi:

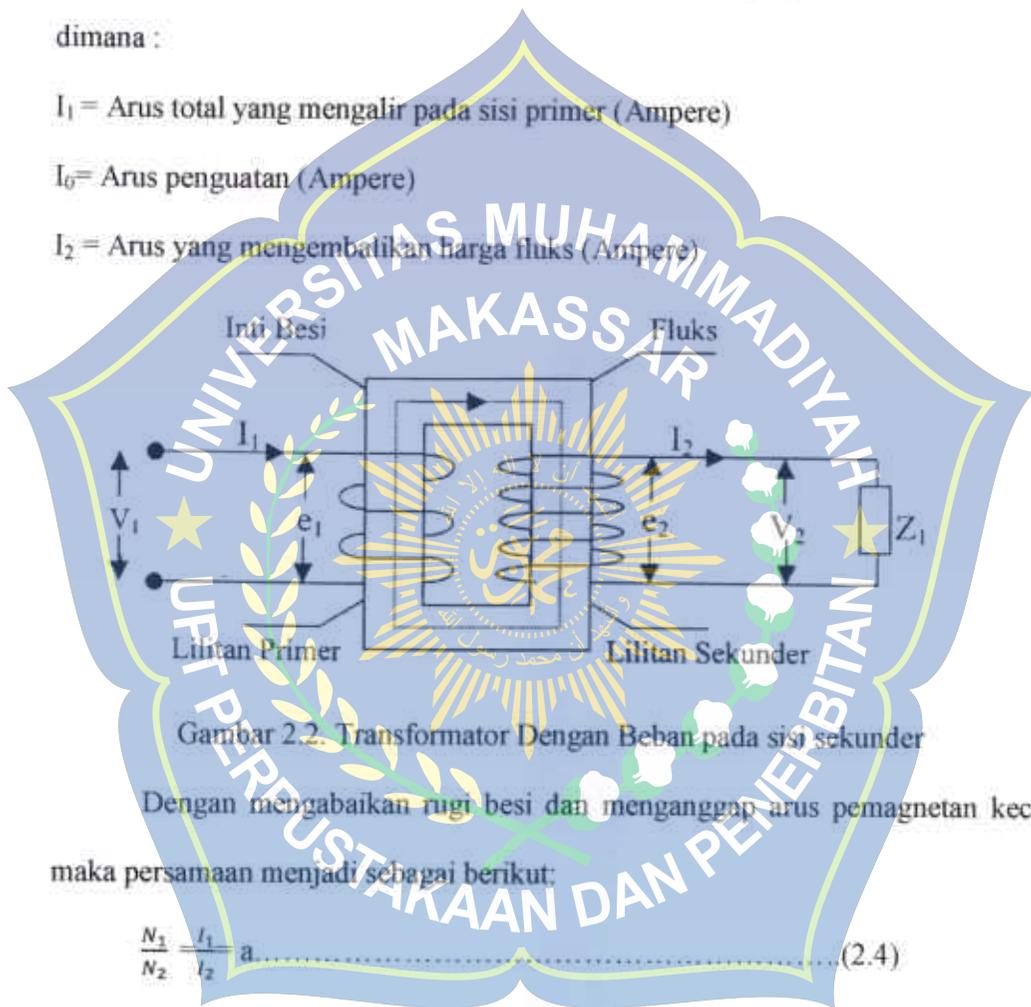
$$I_1 = I_0 + I_2 \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

I_1 = Arus total yang mengalir pada sisi primer (Ampere)

I_0 = Arus penguatan (Ampere)

I_2 = Arus yang mengembalikan harga fluks (Ampere)



Gambar 2.2. Transformator Dengan Beban pada sisi sekunder

Dengan mengabaikan rugi besi dan menganggap arus pemagnetan kecil maka persamaan menjadi sebagai berikut:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{I_1}{I_2} = a \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana :

a = Perbandingan transformasi

I_1 = Arus yang mengalir di sisi primer (Ampere)

I_2 = Arus yang mengalir di sisi sekunder (Ampere)

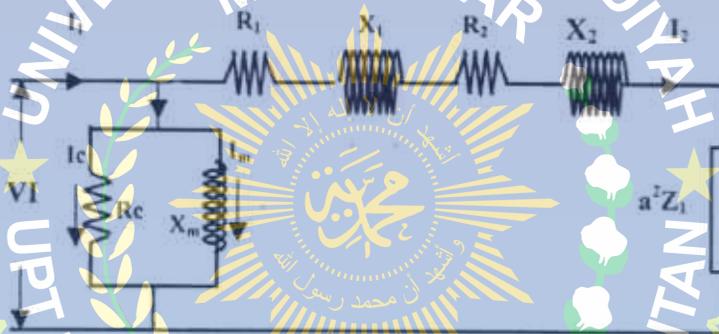
N_2 = Jumlah lilitan pada sisi sekunder

N_1 = Jumlah lilitan pada sisi primer

Persamaan (2.2) dan (2.4) diatas merupakan persamaan yang hanya berlaku pada transformator ideal. Jika nilai $a > 1$ maka transformator tersebut adalah transformator penurun tegangan (step down) dan bila $a < 1$ maka transformator tersebut adalah transformator penaik tegangan (step up).

C. Rangkaian Ekuivalen

Untuk mengetahui penyimpangan suatu transformator dari sifat ideal maka diadakan analisis transformator melalui rangkaian ekuivalen. Rangkaian ekuivalen dari suatu transformator dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.3. Rangkaian Ekuivalen Transformator

Adanya fluks bocor pada belitan primer ditunjukkan dengan X_1 dan sekunder dengan X_2 . Rugi-rugi tahanan ditunjukkan dengan R_1 dan R_2 . Arus I_c merupakan arus rugi tembaga sehingga perkaliannya dengan tegangan V_1 merupakan tegangan yang hilang. Arus I_m merupakan arus pemagnetan yang menghasilkan fluks (Φ)

D. Penentuan Parameter

Untuk menentukan parameter transformator maka dilakukan dua pengujian yaitu beban nol dan pengujian hubungan singkat

Pengujian beban nol dilakukan dengan memberikan tegangan pada sisi primer dengan sisi sekunder terbuka (tanpa beban). Rugi-rugi I^2R primer yang disebabkan oleh arus penguatan seluruhnya dapat diabaikan sehingga daya masuk pi hampir sama besar dengan rugi inti P_i .

Dalam pengujian beban nol didapat persamaan sebagai berikut:

$$R_c = \frac{VI}{I_c} \quad (2.5)$$

$$X_m = \frac{VI}{I_m} \quad (2.6)$$

Dengan:

$$I_m = I_o \cos \theta \quad (2.7)$$

$$I_c = I_o \sin \theta \quad (2.8)$$

Dimana:

R_c = Tahanan beban Nol (Ohm)

X_m = Reaktansi pemagnetan (Ohm)

VI = Tegangan pada terminal primer (Volt)

I_c = Arus rugi tembaga (Ampere)

I_m = Arus pemagnetan (Ampere)

I_o = Arus penguatan (Ampere)

θ = Faktor daya

Pengujian hubungan singkat dilakukan dengan menghubungkan singkatan terminal sekunder dan memberikan tegangan sebesar (2 s/d 12 %) dari tegangan

Nominal pada terminal primer atau memberikan arus 75 - 100 % yang diberi tegangan, Jika V_{sc} , I_{sc} dan P_{sc} masing-masing adalah tegangan, Arus primer dan daya masuk yang diberikan, maka akan didapat persamaan sebagai berikut:

$$Z_{ek} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$R_{ek} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$R_{ek} = V|Z_{ek}|^2 - R_{ek}^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

Z_{ek} = Impedansi ekivalen

V_{sc} = Tegangan hubung singkat

R_{ek} = Tahanan ekivalen

I_{sc} = Arus hubung singkat

X_{ek} = Reaktansi ekivale

P_{sc} = Daya pada saat di hubung singkat

E. Rugi – Rugi

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya keluaran dengan daya masukan total. Untuk mengetahui efisiensi maka rugi-rugi transformator yang harus dihitung terlebih dahulu. Rugi-rugi transformator terdiri dari :

1. Rugi Inti

Kerugian tanpa beban atau kerugian inti diakibatkan oleh efek histeresis (Rugi histeresis) dan arus pusar dalam inti (Rugi arus eddy). Kerugian inti pada transformator adalah tetap pada semua beban jika transformator dikenai frekuensi dan tegangan yang ditentukan

Rugi histeresis adalah rugi yang disebabkan fluks bolak balik pada inti besi, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$P_h = K_h \cdot F \cdot B^1_{maks} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

P_h = Rugi histeresis (Watt)

K_h = Konstanta

B_{maks} = Fluks maksimum (Weber)

Rugi arus eddy yaitu rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi dan dirumuskan sebagai berikut:

$$P_c = K_c \cdot F^2 \cdot B^2_{maks} \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

P_c = Rugi arus eddy (Watt)

K_c = Konstanta

B_{maks} = Fluks maksimum (Weber)

Jadi rugi tanpa beban atau rugi inti adalah

$$P_i = P_h + p_c \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

P_i = Rugi - rugi inti (Watt)

2. Rugi Tembaga

Arus beban yang mengalir melalui lilitan transformator menghasilkan kerugian daya yang besarnya tergantung beban yang sedang dicatu transformator.

Jika R_1 dan R_2 diketahui maka rugi tembaganya adalah :

$$P_{cu} = I^2 \cdot R_{ek} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

P_{cu} = Rugi tembaga (Watt)

I = Arus akibat adanya beban (Ampere)

R = Tahanan ekivalen (Ohm)

F. Konstruksi dan Ciri-ciri Transformator Distribusi

1. Ciri-ciri Transformator Distribusi

Suatu transformator distribusi dalam beberapa hal berbeda dengan transformator pada umumnya. Transformator distribusi memiliki beberapa ciri-ciri sebagai berikut:

- a. Perbandingan jumlah lilitannya (turn ratio N) lebih besar daripada perbandingan pada transformator tenaga (power transformator)
- b. Kapasitas kVA-nya kecil dibandingkan dengan kapasitas transformator tenaga
- c. Transformator yang digunakan adalah transformator 3 fasa. Hal ini disebabkan dalam pengujian dilakukan fasa demi fasa
- d. Umumnya salah satu ujung lilitannya (terminal) ditanahkan (grounded) untuk keperluan keamanan dan pengaman

G. Komponen - Komponen Transformator

1. Inti

Inti sebuah transformator terbuat dari campuran baja dan silikon yang mempunyai rugi histeresis yang kecil dan permeabilitas tinggi. Jika permeabilitas suatu bahan itu tinggi maka fluks cenderung mengalir dalam bahan tersebut dari pada udara sehingga fluks bocor di udara lebih kecil.

Bahan dari inti transformator adalah campuran baja silikon yang di buat lembaran tipis melalui proses pengerolan secara panas (hot rolling) maupun secara dingin (cold rolling).

Berdasarkan kedudukan belitan terhadap inti, maka jenis transformator dapat dibagi dua seperti pada gambar 2.4, yaitu :

- a. Core type (jenis inti), bila kedudukan belitan mengelilingi inti.
- b. Shell type (jenis cangkang), bila belitan dikelilingi inti.



Gambar 2.4. Jenis Transformator berdasarkan Konstruksi Inti

2. Belitan

Belitan primer dan sekunder suatu transformator terdiri dari sejumlah lilitan kawat tembaga dengan diameter kawat tembaga di tentukan dari kerapatan arus yang akan dialirkan. Kedua belitan tersebut dililitkan pada inti yang dipisahkan oleh kertas isolasi

Macam - macam belitan transformator dapat digolongkan sebagai berikut:

a. Belitan Konsentris

Dipakai untuk transformator type inti dan type cangkang, setiap cabang digulung secara berkelompok yang terdiri dari lilitan primer dan lilitan

sekunder yang dapat berupa silinder — silinder konsentris seperti pada gambar 2.5.

Belitan tegangan rendah ditempatkan didekat inti, type belitan konsentris terdiri dari :

- Belitan Cross Over
- Belitan Helical
- Belitan Continuous disk
- Belitan Spiral

Gambar 2.5. Belitan Konsentris

b. Belitan Sandwich

Digunakan pada transformator jenis cangkang. Kedua belitan tegangan tinggi dan tegangan rendahnya disusun atas beberapa bagian untuk menghemat bahan isolasi, maka setiap belitan distribusi di letakkan diantara belitan tegangan rendahnya. Belitan sandwich mempunyai keuntungan yaitu mempunyai fluks bocor yang rendah dan nilai reaktansi bocornya dapat dikendalikan dengan membagi belitan, pembagian belitan yang lebih banyak akan menghasilkan fluks bocor yang lebih kecil.

3. Isolasi

Isolasi berfungsi untuk memisahkan secara listrik dua atau lebih pengantar yang berdekatan sehingga tidak terjadi lompatan bunga api (flash over)

Menurut bahan yang digunakan maka isolasi dapat dibagi menjadi tiga golongan untuk:

- a. Bahan Solid / padat
- b. Bahan Cairan (Oil)
- c. Bahan Gas

Sedangkan berdasarkan fungsinya adalah sebagai berikut:

- a. Penyangga atau penggantung (solid support)
- b. Bahan pengisi (filling media)
- c. Bahan penutup (Covering materials)

Bila ditinjau dari segi batas kenaikan temperatur maka isolasi dapat dikategorikan seperti pada table 2.1

Tabel 2.1 Batas kenaikan Temperatur Isolasi

Suhu sistem Kelas Isolasi (Pub.IEC 762) (°C)	Suhu Titik Terpanas pada Belitan (° C)		Batas Kenaikan suhu rata-rata (°C)
	Pengenalan	Tertinggi yang diizinkan	
(A) 105	95	140	60
(E) 120	No	155	75
(B) 130	120	165	80
(F) 155	145	190	100
(H) 180	175	220	125
(C) 220	210	250	150

Berdasarkan cara penggunaannya di dalam transformator, maka bahan isolasi dapat digolongkan kedalam dua bagian, yaitu :

a. Isolasi Mayor.

Isolasi mayor merupakan isolasi yang terdapat diantara :

- Belitan tegangan rendah dan tegangan tinggi.
- Belitan tegangan rendah dan inti
- Belitan dan body

Isolasi diantara belitan tegangan rendah dan inti atau diantara belitan tegangan rendah dan tegangan tinggi biasanya berbentuk silinder-silinder isolasi dengan satu atau beberapa lapisan. Tiap lapisan silinder terbuat dari press board atau kertas yang dilapisi Vernis.

b. Isolasi Minor

Isolasi mayor merupakan isolasi yang terdapat diantara :

- Belitan tegangan rendah dan tegangan tinggi.
- Belitan tegangan rendah dan inti
- Belitan dan body

Isolasi diantara belitan tegangan rendah dan inti atau diantara belitan tegangan rendah dan tegangan tinggi biasanya berbentuk silinder-silinder isolasi dengan satu atau beberapa lapisan. Tiap lapisan silinder terbuat dari press board atau kertas yang dilapisi Vernis.

Isolasi minor merupakan isolasi yang di tempatkan diantara lilitan/ lapisan transformator. Bahan isolasi ini biasanya berupa kertas atau kain yang di vernis ataupun berupa pressboard. Penentuan isolasi belitan makin tinggi tegangan, makin tebal pula isolasinya & bergantung pula pemebilitas bahan

4. Tangki

Tangki biasanya terbuat dari besi baja ringan atau aluminium. Aluminium mempunyai kelebihan tahan karat dan dapat mengurangi berat tangki. Sedangkan baja pun mempunyai kelebihan antara lain mempunyai kekuatan mekanis yang lebih baik di samping itu biaya materilnya juga murah.

Jenis tangki yang biasa digunakan pada transformator adalah sebagai berikut:

- b. Tangki datar
- c. Tangki yang menggunakan tabung (konservator)
- d. Tangki dengan sirip radiator

Konstruksi dari tangki transformator erat kaitannya dengan sistim pendinginan. Metode - metode pendinginan transformator dapat diuraikan sebagai berikut:

- b. Sistim pendinginan AN (Air Natural)
- c. Sistim pendinginan AB (Air Blast)
- d. Sistim pendinginan ON (Oil Natural)
- e. Sistim pendinginan OB (Oil Blast)
- f. Sistim pendinginan OFN (Oil Force Natural)
- g. Sistim pendinginan OFB (Oil Force Blast)
- h. Sistim pendinginan OW (Oil Water)
- i. Sistim pendinginan OFW (Oil Force Water)
- j. Sistim pendinginan Kombinasi

(ON/OB,ON/OFN,ON/OFW,ON/OB,OFB,ON/OW/OFW) Pembuatan

tangki transformator harus memperhatikan sistim pendinginan yang digunakan.

5. Bushing

Bushing berfungsi sebagai terminal antara ujung belitan yang keluar dari tangki transformator dengan sistim dari luar dan terbuat dari porselin atau keramik.

Untuk memperkuat daya isolasinya maka bushing biasanya diisi dengan minyak, kertas isolasi dan sebagainya.

a. Peralatan Pelengkap Transformator Distribusi

Perlengkapan yang harus ada pada setiap trafo meliputi:

1) Roda

Roda pada transformator diperlukan untuk memudahkan pemindahan dari transformator karena bobot dari transformator sangat berat.

2) Oil level

Yang berfungsi untuk mengetahui titik tertinggi kondisi minyak yang ada dalam trafo.

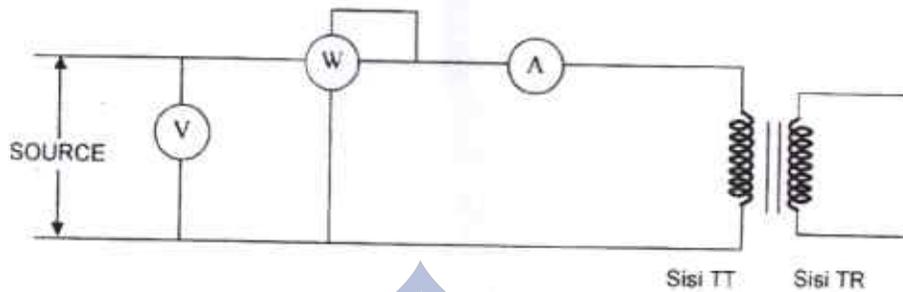
3) Thermometer

Alat ukur ini untuk mengetahui temperatur daripada trafo.

4) Radiator (Corrugated fin)

Berfungsi untuk mendinginkan / tempat sirkulasi minyak pendingin trafo.

H. Gambar blok pengukuran



Gambar2.6 Rangkaian pengukuran impedansi dan rugi berbeban

Pengukuran dilakukan pada suhu ruang dengan memberikan arus secara bertahap hingga Ammeter menunjukkan 50 s/d 100% arus pengenal. Pada nilai arus tersebut dilakukan pembacaan wattmeter dan voltmeter. Nilai-nilai yang ditunjukkan tersebut adalah nilai pada arus uji dan pada suhu ruang.

Keterangan:

A = Amperemeter

V = Voltmeter

W = Wattmeter

Nilai pada arus nominal dan pada suhu ruang (tl) adalah :

$$P_{in} = \left(\frac{I_n}{I_u}\right)^2 \times P_u$$

$$V_{in} = \left(\frac{I_n}{I_u}\right)^2 \times V_u$$

dimana:

I_n = Arus nominal sesuai tegangan sadapan (Ampere)

P_u = Nilai penunjukan wattmeter (Watt)

P_{in} = Nilai pengukuran daya sebenarnya (Watt)

I_u = Nilai arus pada ammeter (Ampere)

V_u = Nilai pembacaan voltmeter (Volt)

V_m = Nilai pengukuran tegangan sebenarnya (Volt)

1. Pengukuran Rugi dan Arus Beban Nol

Selain untuk mengukur rugi inti besi dan arus eksitasi, pengukuran rugi dan arus beban nol juga dapat berfungsi untuk memeriksa ketahanan isolasi transformator terhadap tegangan tinggi yang timbul pada transformator tersebut serta untuk mengetahui apakah transformator yang diukur hubung singkat atau tidak.

Pengukuran dilakukan pada suhu ruang dengan memberikan suplai tegangan semisal tegangan nominal dengan frekuensi pengenal ke salah satu terminal belitan. Karena kemampuan peralatan, sisi yang disuplai adalah sisi tegangan rendah.

Berdasarkan IEC 76-1, pengukuran rugi dan arus beban nol dapat dilakukan bila perbedaan nilai tegangan adalah $< 3\%$.



Gambar2.7 Rangkaian pengukuran rugi dan arus beban nol

Keterangan :

A = Amperemeter

V = Voltmeter

W = Wattmeter

Tegangan diberikan secara bertahap sehingga voltmeter harga rata-rata menunjukkan nilai tegangan pengenal. Pada saat nilai tegangan tersebut tercapai, dilakukan pembacaan pada voltmeter-rms, ammeter dan wattmeter. Nilai rugi beban nol adalah ;

$$P_o = P_u \times \left(\frac{V_n}{V_u} \right)^2$$

dimana:

P_o = Rugi beban nol

P_u = Penunjukan wattmeter

V_n = Tegangan nominal (Volt)

V_u = Tegangan pada alat ukur (Volt)

Rugi beban nol dinyatakan baik bila nilainya tidak melebihi 15% nilai nominal yang ditentukan oleh standar dan total rugi-rugi transformator (rugi beban nol ditambah rugi berbeban) tidak melebihi 10% dari nilai total rugi-rugi yang ditentukan.

Arus beban nol adalah arus yang mengalir pada belitan pada saat transformator tidak dibebani. Nilai arus beban nol yang diambil adalah nilai rata-rata dari arus ketiga fasa belitan. Toleransi terhadap nilai nominal standar untuk arus beban nol adalah + 30%

2. Pengujian Tegangan Terapan

Pengujian tegangan terapan bertujuan untuk menguji ketahanan isolasi antara belitan dengan belitan dan antara belitan dengan badan (tangki + inti besi)

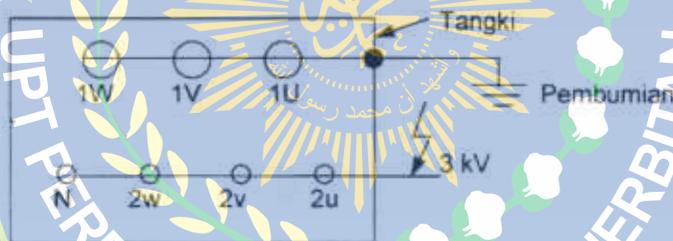
transformator. Tegangan diberikan dengan memberikan tegangan bolak-balik secara bertahap hingga tercapai nilai tegangan uji, kemudian dipertahankan pada nilai tersebut selama 1 menit.

Nilai tegangan uji transformator distribusi menurut IEC-76 adalah :

- Belitan tegangan tinggi ($1U + 1V + 1W$ terhadap $2u + 2v + 2w +$ badan) yaitu 50 kV
- Belitan tegangan rendah ($2u + 2v + 2w$ terhadap $1U + 1V + 1W +$ badan) yaitu 3 kV



Gambar 2.8 Rangkaian pengujian TT terhadap TR dan tangki



Gambar 2.9 Rangkaian pengujian TR terhadap TT dan tangki

Transformator dinyatakan tahan/baik terhadap tegangan bila selama pengujian tidak terjadi tegangan tembus (breakdown voltage).

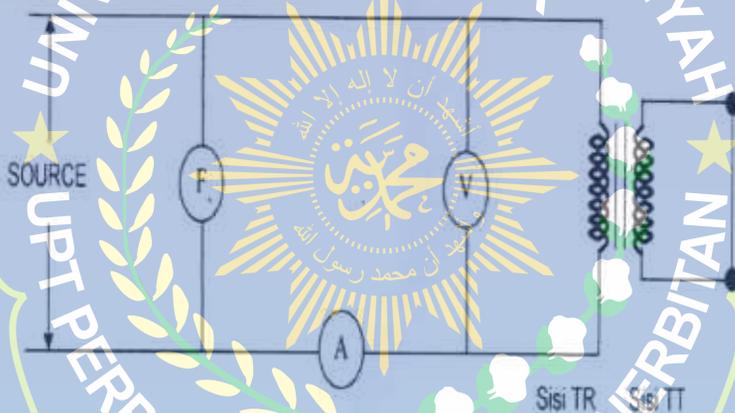
3. Pengujian Tegangan Lebih Induksi

Pengujian tegangan lebih induksi bertujuan untuk menguji ketahanan isolasi antar lilitan dan antar fasa belitan transformator. Pengujian dilakukan

dengan memberikan suplai tegangan sinusoidal ke salah satu terminal belitan, hingga sisi yang tidak dilengkapi pengubah sadapan (sisi tegangan rendah) mencapai dua kali tegangan pengenalnya (2Un). Untuk menghindari kejenuhan inti yang akan memperbesar arus uji, dapat digunakan suplai yang frekuensinya lebih besar dari frekuensi nominal. Lamanya pengujian (waktu sejak tercapainya nilai uji) ditentukan oleh frekuensi suplai yang digunakan, namun dibatasi antara 15 s/d 60 detik.

Lama pengujian berdasarkan frekuensi suplai yang digunakan menurut standar IEC - 76 adalah :

$$t = 120 \times \frac{\text{Frekuensi (50Hz)}}{\text{Frekuensi uji (Hz)}} \text{ (detik)}$$



Gambar 2.10 Rangkaian pengujian tegangan induksi

Keterangan :

A = Amperemeter

F = Frekuensi meter

V = Voltmeter

I. Transformator

Transformator yang didesain harus mampu menahan berbagai jenis gangguan internal dan eksternal yang terjadi. Sejak dalam proses desain, kemampuan transformator dalam menahan semua gangguan harus diperhitungkan, baik yang sifatnya tidak langsung maupun yang sifatnya langsung merusak. Misalnya gangguan yang memperburuk kemampuan material isolasi, dan sebagainya. Pembuktian ketepatan desain tersebut hanya dapat dilakukan melalui pengujian yang merupakan perumpamaan (simulasi) dari keadaan-keadaan saat gangguan.

i. Klasifikasi Pengujian

Berdasarkan IEC Publikasi 76-1 Tahun 1993 pengujian transformator dibedakan menjadi tiga klasifikasi, yaitu :

1. Pengujian rutin, yaitu pengujian yang harus diterapkan pada setiap transformator, meliputi:
 - a. Pengukuran tahanan belitan
 - b. Pengukuran perbandingan tegangan dan pemeriksaan kelompok vektor
 - c. Pengukuran tegangan impedansi dan rugi berbeban
 - d. Pengukuran arus dan rugi beban nol
 - e. Pengujian tegangan terapan
 - f. Pengujian tegangan lebih induksi
2. Pengujian jenis, yaitu pengujian yang dilakukan terhadap satu transformator yang merupakan prototype dari suatu desain, untuk memperlihatkan bahwa

keseluruhan transformator dengan desain tersebut memenuhi spesifikasi yang tidak tercakup pada pengujian rutin yang meliputi:

- a. Pengujian kenaikan suhu
 - b. Pengujian tegangan impuls
3. Pengujian khusus, yaitu pengujian yang dapat dilakukan dengan kesepakatan/persetujuan antara pabrikan dan pembeli, meliputi:
- a. Pengujian tegangan impuls untuk terminal netral
 - b. Penentuan kapasitansi belitan - pembumian dan antar belitan
 - c. Penentuan karakteristik tegangan transfer peralihan
 - d. Pengukuran impedansi urutan nol untuk transformator fase tiga
 - e. Pengujian ketahanan hubung singkat
 - f. Penentuan tingkat kebisingan
 - g. Pengukuran harmonik arus beban nol
 - h. Pengukuran daya dari kipas dan pompa minyak
 - i. Pengukuran tahanan isolasi belitan - pembumian, dan pengukuran faktor disipasi ($\tan \delta$)

PT. PLN dalam kapasitasnya sebagai pembeli, melalui SPLN 50 - 1997 melakukan pengujian terhadap desain dari suatu transformator merupakan suatu proses yang harus dilalui sebelum desain tersebut dipabrikasi secara massal.

ii. Pengujian Rutin

1. Pengukuran Tahanan Belitan

Tahanan belitan diukur pada suhu ruang melalui terminal-terminal transformator dengan menggunakan alat ukur dengan arus searah. Karena

merupakan fungsi suhu, maka nilai suhu selama pengukuran tahanan harus diketahui. Nilai tahanan yang didapat merupakan nilai pada suhu pengukuran. Nilai tahanan belitan, secara umum menggambarkan nilai rugi belitan (rugi IR) dari transformator tersebut pada saat berbeban.

Alat yang dapat digunakan untuk mengukur tahanan belitan transformator distribusi antara lain:

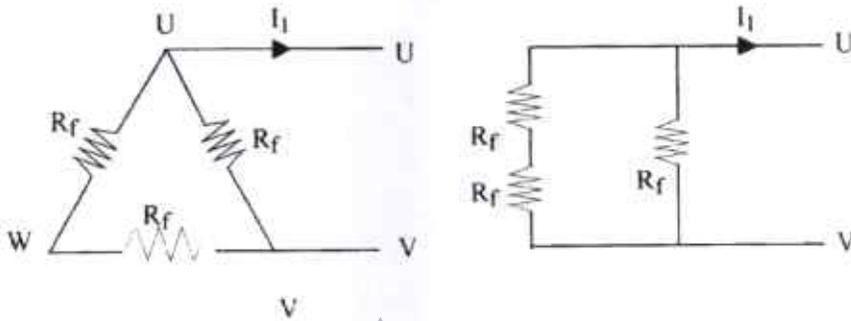
- a. Belitan tegangan rendah : Kelvin/Double bridge,
- b. Belitan tegangan tinggi : Wheatstone bridge (transformator s/d 315 kVA) dan Kelvin/Double bridge (transformator > 315 kVA)

Selain itu dapat juga digunakan rangkaian pengukur arus searah dengan metode jatuh tegangan (Volt Amp methode). Dengan mengatur besar arus uji, pengukuran dengan cara ini dapat dilakukan untuk mengukur belitan rendah maupun tegangan tinggi.

Hal yang perlu diperhatikan pada pengukuran tahanan belitan transformator adalah konstanta waktu belitan. Karena hal tersebut, belitan baru dapat diukur setelah waktu untuk mencapai kondisi ajeg (steady state) tercapai.

Belitan dapat diukur bila transformator telah terendam minyak dan tanpa penguatan (eksitasi) selama paling sedikit tiga jam. Suhu minyak rata-rata harus ditentukan dan suhu tersebut merupakan suhu belitan saat pengukuran tahanan. Suhu minyak rata-rata diambil dari suhu rata-rata antara suhu minyak bagian atas dan suhu minyak bagian bawah.

Pengukuran tahanan belitan primer hubungan delta (A):



Gambar 2.11 Pengukuran tahanan belitan primer hubungan delta (A)

Keterangan:

R_f = Tahanan belitan (tahanan fasa)

$$\text{Arus fasa } (I_f) = \frac{I_1}{\sqrt{3}}$$

$$\frac{1}{R_{UV}} = \frac{1}{R_f} + \frac{1}{R_f + R_f}$$

$$\frac{1}{R_{UV}} = \frac{3R_f}{2R_f^2}$$

$$R_{UV} = 2/3 R_f$$

$$R_f = 3/2 R_{UV}$$

$$\text{Rugi tiap Fasa} = I_f^2 \cdot R_f$$

$$= \left(\frac{I_1}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot R_f$$

$$= I_1^2 \cdot 1/2 R_{UV}$$

$$\text{Rugi tiga fasa} = 3 \times I_1^2 \cdot 1/2 R_{UV}$$

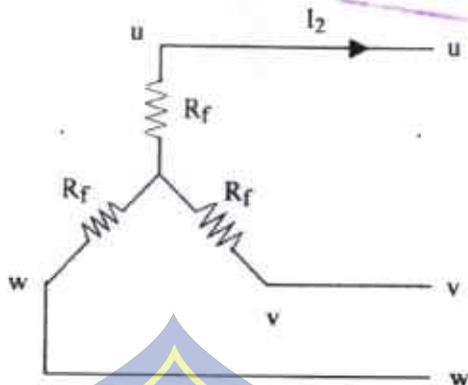
$$= I_1^2 \cdot 3/2 R_{UV}$$

Dalam Praktek $R_{UV} = R_{VW} = R_{WU}$

$$\text{Maka rugi tiga fasa} = I_1^2 \cdot \frac{R_{UV} + R_{VW} + R_{WU}}{2}$$

Pengukuran tahanan belitan sekunder hubungan bintang (Y)

MILIK PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
MAKASSAR



Gambar 2.12 Pengukuran tahanan belitan sekunder hubungan bintang (Y)

$$R_{UV} = 2 R_f$$

$$R_f = \frac{1}{2} R_{UV}$$

$$I_f = I_2$$

$$\text{Rugi tiap fasa} = I_f^2 \cdot R_f$$

$$= I_2^2 \cdot \frac{1}{2} R_{UV}$$

$$\text{Rugi tiga fasa} = 3 \times I_2^2 \cdot \frac{1}{2} R_{UV}$$

$$= I_2^2 \cdot \frac{3}{2} R_{UV}$$

Dalam praktek $R_{UV} = R_{VW} = R_{WU}$

$$\text{Maka rugi tiga fasa} = I_2^2 \cdot \frac{R_{UV} + R_{VW} + R_{WU}}{2}$$

2. Pengukuran Perbandingan Tegangan dan Pemeriksaan Kelompok Vektor

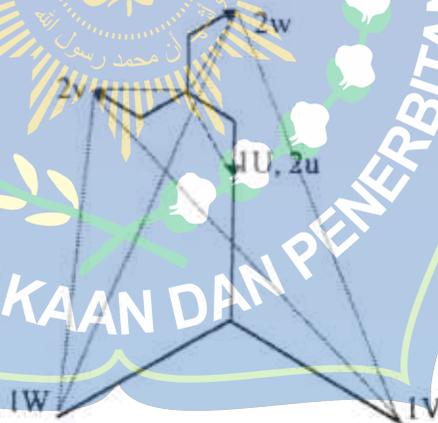
Pengukuran perbandingan tegangan bertujuan untuk memeriksa perbandingan transformasi tegangan antara belitan tegangan tinggi dengan rendah, dan dilakukan pada setiap sadapan. Cara pengukuran sadapan dapat menggunakan alat pengukur perbandingan tegangan (transformer turn ratio meter) dan dilakukan pada suhu ruang. Selain mengukur perbandingan tegangan, melalui pengukuran ini

dapat diidentifikasi gangguan-gangguan pada transformator, seperti hubungan belitan terputus (open circuit) dan koneksi hubungan belitan.

Untuk transformator distribusi, toleransi dari perbedaan perbandingan tegangan pada sadapan utama terhadap nilai nominalnya adalah nilai terkecil dari ketentuan yaitu nilai perbandingan nominal $\pm 0,5\%$

Pemeriksaan kelompok vektor dilakukan dengan cara menghubungkan salah satu terminal tegangan tinggi dengan satu terminal tegangan rendah (biasanya terminal 1U dengan 2u). Tegangan sekitar 200 Volt disuplai ke sisi tegangan tinggi, kemudian tegangan setiap terminal diukur dan dibandingkan secara kualitatif dengan besaran tegangan berdasarkan diagram hubungan. kemudian tegangan setiap terminal diukur dan dibandingkan secara kualitatif dengan besaran tegangan berdasarkan diagram hubungan.

Sebagai contoh, untuk kelompok Yzn5, untuk polaritas subtractive : besaran tegangan terminal adalah $1V-2v = 1V-2w = 1W-2w > 1W-2v$



Gambar 2.13 Kelompok vektor hubungan Yzn5

3. Pengukuran Rugi Berbeban dan Tegangan Impedansi

Pengukuran rugi berbeban bertujuan untuk mengetahui rugi-rugi pada belitan bila transformator tersebut dibebani dengan arus pengenalnya. Melalui pengukuran rugi berbeban, sekaligus akan diperoleh nilai tegangan impedansi. Kedua nilai tersebut dispesifikasikan pada arus pengenal dan pada suhu acuan 75 °C (menurut SPLN 8-1 : 1991). Untuk julat tegangan sadapan yang $> 5\%$, pengujian dilakukan untuk posisi sadapan nominal (20 kV), sadapan dengan arus minimum (22

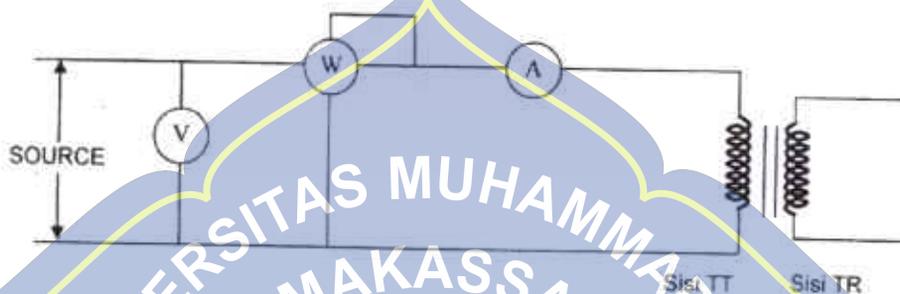
Tegangan impedansi didefinisikan sebagai tegangan pada frekuensi pengenal yang harus dipasang ke sisi input transformator pada saat output terhubung singkat, agar dapat mengalir arus senilai arus pengenal. Nilai tegangan impedansi akan menentukan nilai jatuh tegangan dan pada sisi lain mempengaruhi arus hubung singkat yang terjadi. Tegangan impedansi dinyatakan dalam persen terhadap tegangan beban nol transformator tersebut.

Metode pengukuran rugi berbeban dan tegangan impedansi adalah dengan menghubungkan singkatkan terminal fase salah satu belitan dan sisi belitan lainnya dihubungkan dengan sumber tegangan yang dapat memasok 50 s/d 100% arus pengenal. Untuk pertimbangan praktis, umumnya sisi yang dihubung singkat adalah sisi tegangan rendah. Rangkaian pengukuran untuk transformator fasa tunggal adalah seperti pada Gambar 2.2.

Untuk transformator fasa tiga, pengukuran dapat menggunakan metode tiga wattmeter atau, sebagai alternatif dengan metode dua wattmeter.

Voltmeter digunakan untuk mengukur tegangan impedansi dan wattmeter untuk fungsi pengukuran rugi berbeban.

Pengukuran dilakukan pada suhu ruang dengan memberikan arus secara bertahap hingga Ammeter menunjukkan 50 s/d 100% arus pengenal. Pada nilai arus tersebut dilakukan pembacaan wattmeter dan voltmeter. Nilai-nilai yang ditunjukkan tersebut adalah nilai pada arus uji dan pada suhu ruang.



Gambar 2.14 Rangkaian pengukuran impedansi dan rugi berbeban

Keterangan :

A = Amperemeter

V = Voltmeter

W = Wattmeter

Nilai pada arus nominal dan pada suhu ruang (t_1) adalah :

$$P_{in} = \left(\frac{I_n}{I_u}\right)^2 \times P_u \dots \dots \dots (2.1)$$

$$V_{in} = \left(\frac{I_n}{I_u}\right)^2 \times V_u \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana:

I_n = Arus nominal sesuai tegangan sadapan (Ampere)

P_u = Nilai penunjukan wattmeter (Watt)

P_{in} = Nilai pengukuran daya sebenarnya (Watt)

I_u = Nilai arus pada ammeter (Ampere)

V_u = Nilai pembacaan voltmeter (Volt)

V_{in} = Nilai pengukuran tegangan sebenarnya (Volt)

Nilai rugi berbeban di atas (P_{in}) akan berbeda dengan rugi belitan secara perhitungan (rugi $I^2 R$).

Rugi belitan secara perhitungan adalah :

$$P_{hit} = I_1^2 \times \Sigma R_1 + I_2^2 \times \Sigma R_2 \quad \dots (2.3)$$

dimana :

I_1 = Arus pengenal sisi tegangan tinggi sesuai tegangan sadapan

I_2 = Arus pengenal sisi tegangan rendah

ΣR_1 = Jumlah tahanan per fasa dari belitan sisi tegangan tinggi pada posisi sadapan yang diukur ($R_{1u} + R_{1v} + R_{1w}$)

ΣR_2 = Jumlah tahanan per fasa dari belitan sisi tegangan rendah ($R_{2u} + R_{2v} + 2w$)

Nilai R_1 dan R_2 yang digunakan untuk perhitungan rugi $I^2 R$ ini adalah nilai pada suhu yang sama dengan suhu saat pengukuran rugi berbeban.

Bila suhu pengukuran berbeda maka nilai tahanan harus dikonversi ke suhu pengukuran rugi berbeban.

Nilai tahanan belitan menjadi:

$$R_{t2} = R_{t1} \times \left(\frac{235 + t_2}{235 + t_1} \right) \text{ untuk belitan tembaga} \quad \dots (2.4)$$

$$R_{t2} = R_{t1} \times \left(\frac{225 + t_2}{225 + t_1} \right) \text{ untuk belitan aluminium} \quad \dots (2.5) \quad 225 + t_1$$

Perbedaan nilai rugi belitan secara pengukuran dengan perhitungan rugi I^2R disebabkan adanya rugi sasar (stray losses) yang diakibatkan karena fluksi bocor atau induksi medan magnet yang mengalir ke tangki transformator, kabel lead, clamping, dan lain-lain, sehingga nilai rugi sasar adalah :

$$P_{stray} = P_{in} - P_{hit} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Rugi berbeban dan tegangan impedansi pada suhu 75°C diperoleh dengan menggunakan faktor koreksi suhu, sesuai material belitan yang digunakan.

$$fk = \left(\frac{235+75}{235+t_2} \right) \text{ untuk belitan tembaga} \quad \dots\dots (2.7)$$

$$= \left(\frac{225+75}{225+t_2} \right) \text{ untuk belitan aluminium} \quad \dots\dots (2.8)$$

fk = Faktor koreksi suhu, sesuai material belitan yang digunakan

t_2 = Suhu saat pengukuran rugi berbeban

Rugi belitan berbanding lurus dengan suhu, sedangkan rugi sasar berbanding terbalik dengan suhu, sehingga rugi belitan pada suhu 75 °C adalah :

$$P_{75} = P_{hit} \times fk + \frac{P_{stray}}{fk} \text{ atau}$$

$$P_{75} = I_1^2 \times \Sigma R_1 \times fk_1 + I_2^2 \times \Sigma R_2 \times fk_2 + \frac{P_{stray}}{fk} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Nilai rugi berbeban dibandingkan dengan nilai nominal pada standar.

Toleransi yang diberikan adalah maksimum 15% dari rugi berbeban.

Tegangan impedansi yang didapat dari pengukuran dijadikan dalam persen menjadi:

$$U_{Zd} = \frac{V_{in}}{V_n} \times 100\%$$

dimana :

V_{in} = Tegangan pengukuran pada saat t_1 (Volt)

V_n = Tegangan nominal transformator (Volt)

Tegangan impedansi juga merupakan jumlah vektoris dari tegangan resistif (u_r) dan tegangan induktif (u_x).

Pada suhu t_2 :

$$U_{z t_2} = V_m = \sqrt{u_x t_2^2 + u_r t_2^2} \dots \dots \dots (2.10)$$

dimana: $u_x t_2 = \sqrt{V_{in}^2 - u_r t_2^2}$

pada suhu 75°C , $u_z = u_{z 75}$

$$\sqrt{u_x 75^2 + u_r 75^2}$$

karena $u_x t_2 = u_x 75$, maka

$$\sqrt{u_x t_2^2 + u_r 75^2}$$

Dengan mengeliminasi rugi sasar yang nilainya pada 75°C relatif kecil, maka tegangan resistif dan tegangan induktif dapat ditentukan dengan :

$$U_{r75} = \frac{P_{75}}{\sqrt{3} \times I_1} \dots \dots \dots (2.11)$$

$$U_{x75} = \frac{P_{in}}{\sqrt{3} \times I_1} \dots \dots \dots (2.12)$$

Sehingga tegangan impedansi pada suhu 75°C menjadi :

$$\begin{aligned} U_z &= \sqrt{u_x t_2^2 + \left(\frac{P_{75}}{\sqrt{3} \times I_1}\right)^2} \\ &= \sqrt{V_{in}^2 - u_r t_2^2 + \left(\frac{P_{75}}{\sqrt{3} \times I_1}\right)^2} \\ &= \sqrt{V_{in}^2 - \left(\frac{P_{in}}{\sqrt{3} \times I_1}\right)^2 + \left(\frac{P_{75}}{\sqrt{3} \times I_1}\right)^2} \dots \dots \dots (2.13) \end{aligned}$$

Tegangan impedansi dinyatakan dalam persen terhadap tegangan beban nol-nya, sehingga:

$$u_z(\%) = \frac{u_z}{V_n} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

Untuk sadapan nominal, toleransi nilai tegangan impedansi adalah 10 % dari nilai nominal pada standar, sedangkan untuk sadapan lain adalah 15 %.

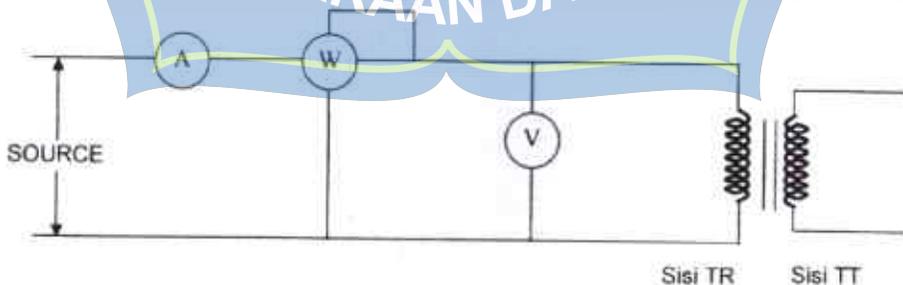
4. Pengukuran Rugi dan Arus Beban Nol

Selain untuk mengukur rugi inti besi dan arus eksitasi, pengukuran rugi dan arus beban nol juga dapat berfungsi untuk memeriksa ketahanan isolasi transformator terhadap tegangan tinggi yang timbul pada transformator tersebut serta untuk mengetahui apakah transformator yang diukur hubung singkat atau tidak.

Pengukuran dilakukan pada suhu ruang dengan memberikan suplai tegangan senilai tegangan nominal dengan frekuensi pengenal ke salah satu terminal belitan. Karena kemampuan peralatan, sisi yang disuplai adalah sisi tegangan rendah.

Berdasarkan IEC 76-1, pengukuran rugi dan arus beban nol dapat dilakukan bila perbedaan nilai tegangan adalah < 3%.

Rangkaian pengukuran rugi berbeban diperlihatkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.15 Rangkaian pengukuran rugi dan arus beban nol

Keterangan :

A = Amperemeter

V = Voltmeter

W = Wattmeter

Tegangan diberikan secara bertahap sehingga voltmeter harga rata-rata menunjukkan nilai tegangan pengenal. Pada saat nilai tegangan tersebut tercapai, dilakukan pembacaan pada voltmeter-rms, ammeter dan wattmeter. Nilai rugi beban nol adalah ;

$$P_o = P_w \times \left(\frac{V_n}{V_u}\right)^2 \dots\dots\dots (2.15)$$

dimana:

P_o = Rugi beban nol

P_w = Penunjukan wattmeter

V_n = Tegangan nominal (Volt)

V_u = Tegangan pada alat ukur (Volt)

Rugi beban nol dinyatakan baik bila nilainya tidak melebihi 15% nilai nominal yang ditentukan oleh standar dan total rugi-rugi transformator (rugi beban nol ditambah rugi berbeban) tidak melebihi 10% dari nilai total rugi-rugi yang ditentukan.

Arus beban nol adalah arus yang mengalir pada belitan pada saat transformator tidak dibebani. Nilai arus beban nol yang diambil adalah nilai rata-rata dari arus ketiga fasa belitan. Toleransi terhadap nilai nominal standar untuk arus beban nol adalah + 30%.

5. Pengujian Tegangan Terapan

Pengujian tegangan terapan bertujuan untuk menguji ketahanan isolasi antara belitan dengan belitan dan antara belitan dengan badan (tangki + inti besi) transformator. Tegangan diberikan dengan memberikan tegangan bolak-balik secara bertahap hingga tercapai nilai tegangan uji, kemudian dipertahankan pada nilai tersebut selama 1 menit.

Nilai tegangan uji transformator distribusi menurut IEC-76 adalah :

- Belitan tegangan tinggi (1U + 1V + 1W terhadap 2u + 2v + 2w + badan) yaitu 50 kV
- Belitan tegangan rendah (2u + 2v + 2w terhadap 1U + 1V + 1W + badan) yaitu 3 kV



Gambar 2.16 Rangkaian pengujian TT terhadap TR dan tangki



Gambar 2.17 Rangkaian pengujian TR terhadap TT dan tangki

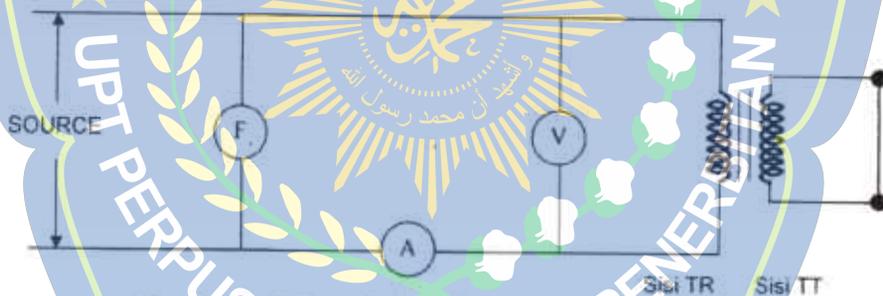
Transformator dinyatakan tahan/baik terhadap tegangan bila selama pengujian tidak terjadi tegangan tembus (breakdown voltage).

6. Pengujian Tegangan Lebih Induksi

Pengujian tegangan lebih induksi bertujuan untuk menguji ketahanan isolasi antar lilitan dan antar fasa belitan transformator. Pengujian dilakukan dengan memberikan suplai tegangan sinusoidal ke salah satu terminal belitan, hingga sisi yang tidak dilengkapi pengubah sadapan (sisi tegangan rendah) mencapai dua kali tegangan pengenalnya ($2U_n$). Untuk menghindari kejenuhan inti yang akan memperbesar arus uji, dapat digunakan suplai yang frekuensinya lebih besar dari frekuensi nominal. Lamanya pengujian (waktu sejak tercapainya nilai uji) ditentukan oleh frekuensi suplai yang digunakan, namun dibatasi antara 15 s/d 60 detik.

Lama pengujian berdasarkan frekuensi suplai yang digunakan menurut standar IEC - 76 adalah:

$$t = 120 \times \frac{\text{Frekuensi (50Hz)}}{\text{Frekuensi uji (Hz)}} \text{ (detik)} \quad (2.16)$$



Gambar 2.18 Rangkaian pengujian tegangan induksi

Keterangan :

A = Amperemeter

F = Frekuensi meter

V = Voltmeter

Transformator dinyatakan tahan/baik terhadap tegangan induksi, bila selama pengujian tidak terjadi tegangan tembus (breakdown voltage).

7. Hasil Pengukuran dan Pengujian Rutin

Dari pengukuran dan pengujian rutin diperoleh rasio perbandingan tegangan, tahanan belitan, polaritas, rugi tanpa beban (besi), arus beban nol, rugi berbeban (tembaga), impedansi dan pengujian ketahanan dielektrik untuk menentukan layak atau tidaknya untuk dilanjutkan pengujian ketahanan hubung singkat dinamis.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat

a. Waktu

Pembuatan aplikasi ini akan dilaksanakan selama 6 bulan, mulai dari bulan Pebruari 2021 sampai dengan Juni 2021 sesuai dengan perencanaan waktu yang terdapat pada jadwal penelitian.

b. Tempat

Pengambilan data pada PT. Kalla Electrical System.

B. Metode Penelitian

Alur Penelitian



Gambar 3.1 Alur Penelitian

Metode penelitian ini berisikan langkah-langkah yang ditempuh penulis dalam menyusun tugas akhir ini. Metode penelitian ini disusun untuk memberikan arah dan cara yang jelas bagi penulis sehingga penyusunan tugas akhir ini dapat berjalan dengan lancar.

Dalam penulisan tugas akhir, metode yang digunakan adalah:

1. Penelitian Pustaka (Library Research)

Yaitu penelitian atau pengumpulan data-data dengan jalan membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur, tulisan-tulisan, dan bahan-bahan kuliah yang penulis peroleh selama mengikuti perkuliahan guna memperoleh landasan teori yang berhubungan dengan materi yang menjadi pembahasan dalam penulisan tugas akhir.

2. Penelitian Lapangan (Field Research)

Yaitu penelitian yang dilakukan secara langsung terhadap obyek penelitian, yaitu studi instalasi daya listrik pada Pengambilan data pada PT. Kalla Electrical System dengan cara :

a. Observasi (Pengamatan Langsung)

Penulis mengadakan pengamatan langsung terhadap obyek yang diteliti guna mengumpulkan data-data,

b. Interview (Wawancara)

Penulis melakukan tanya jawab secara langsung untuk memperoleh data-data dengan pihak-pihak yang memahami permasalahan ini.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Data hasil penelitian

Data transformator yang di ukur dan diuji adalah transformator dengan spesifikasi sebagai berikut:

Jenis	: Transformator Distribusi
Rating	: 4kVA , 3 Phasa
Tegangan	: Primer : 20.000 Volt Sekunder : 380 Volt
Frekuensi	: 50 Hz
Hubungan	: Yzn5
Polarities	: Subtractive
Pendingin	: ONAN

Berdasarkan spesifikasi diatas, maka dapat dihitung arus primer yaitu :

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{S}{V_1 \sqrt{3}} \\ &= \frac{4000}{2000 \sqrt{3}} \\ &= 0,115 \text{ A} \end{aligned}$$

Sedangkan arus sekunder yaitu

$$\begin{aligned} I_2 &= \frac{S}{V_2 \sqrt{3}} \\ &= \frac{4000}{380 \sqrt{3}} \\ &= 6,077 \text{ A} \end{aligned}$$

B. Pengujian Rutin

1. Pengukuran Tahanan Belitan

Alat yang dapat digunakan untuk mengukur tahanan belitan transformator distribusi antara lain:

- a. Belitan tegangan rendah : Kelvin/Double bridge atau Micro Ohm meter.

Nilai hasil pengukuran tahanan pada sisi tegangan rendah adalah :

$$2u-2v : 718,45 \Omega \quad 2u-2n : 361,23 \Omega$$

$$2u-2v : 718,4 \Omega \quad 2u-2n : 361,05 \Omega$$

$$2u-2v : 718,2 \Omega \quad 2u-2n : 362,00 \Omega$$

Sehingga nilai tahanan perhitungan (R_2) pada sisi tegangan rendah yaitu :

$$R_2 = \frac{R_{2U-2V} + R_{2V-2W} + R_{2W-2U}}{2}$$

$$R_2 = \frac{718,45 + 718,4 + 718,2}{2}$$
$$= 1,0775 \Omega$$

- b. Belitan tegangan tinggi : Wheatstone bridge (transformator s/d 315 kVA) dan Kelvin/Double bridge (transformator > 315 kVA), atau Micro Ohmeter. Nilai hasil pengukuran tahanan pada sisi tegangan tinggi adalah :

$$1U - 1V = 346,6 \Omega, \quad 1V - 1W = 346,55 \Omega, \quad 1W - 1U = 346,6 \Omega.$$

Sehingga nilai tahanan perhitungan (R_1) pada sisi tegangan tinggi yaitu :

$$R_1 = \frac{R_{1U-1V} + R_{1V-1W} + R_{1W-1U}}{2}$$

$$R_1 = \frac{346,6 + 346,55 + 346,6}{2}$$

$$= 519,875 \Omega$$

2. Pengukuran Perbandingan Tegangan dan Pemeriksaan Kelompok Vektor

Pengukuran ini menggunakan alat pengukur perbandingan tegangan (Turn transformer ratio meter) dan dilakukan pada suhu ruang.

Nilai hasil pengukuran perbandingan (rasio) sisi tegangan tinggi terhadap sisi tegangan rendah adalah :

$$\frac{1U-1V}{2u-2n} = 91,16 \quad \frac{1V-1W}{2u-2n} = 91,15 \quad \frac{1W-1U}{2u-2n} = 91,15$$

Nilai diatas diperoleh dan pengukuran sisi primer dengan tegangan phasa - phasa, dan pada sisi sekunder dengan tegangan phasa - netral yaitu : $a = \frac{20000}{380 / \sqrt{3}}$

Pemeriksaan kelompok vektor dilakukan dengan cara menghubungkan salah satu terminal tegangan tinggi dengan satu terminal tegangan rendah (biasanya terminal 1U dengan 2u). Tegangan sekitar 200 Volt disuplai ke sisi tegangan tinggi, kemudian tegangan setiap terminal diukur dan dibandingkan secara kualitatif dengan besaran tegangan berdasarkan diagram hubungan.

Untuk kelompok Yzn5, untuk polaritas subtractive : besaran tegangan terminal adalah :

$$1V-2v = 205 \text{ volt}$$

$$1V-2w = 205 \text{ volt}$$

$$1W-2w = 205 \text{ volt}$$

$$1W-2v = 198 \text{ volt}$$

3. Pengukuran Rugi Berbeban dan Tegangan Impedansi

Pengukuran rugi berbeban bertujuan untuk mengetahui rugi-rugi pada belitan bila transformator tersebut dibebani dengan arus pengenalnya. Melalui

pengukuran rugi berbeban, sekaligus akan diperoleh nilai tegangan impedansi.

Rugi belitan (P_{cu}) secara perhitungan adalah :

$$\begin{aligned}P_{hit} &= I_1^2 \times \Sigma R_1 + I_2^2 \times \Omega R_2 \\ &= 0,115^2 \cdot 519,875 + 6,0772 \cdot 1,0775 \\ &= 6,932 + 39,798 \\ &= 46,730 \text{ watt}\end{aligned}$$

Dari hasil pengukuran pada suhu ruang 32°C diperoleh nilai-nilai sebagai berikut :

$$V_u = 240 \text{ volt}$$

$$P_u = 40 \text{ watt}$$

$$I_u = 0,105 \text{ A}$$

$$I_n = 0,115 \text{ A}$$

Sehingga nilai tegangan dan daya yaitu:

$$V_{in} = \left(\frac{I_n}{I_u}\right) \times V_u$$

$$\begin{aligned}V_{in} &= \frac{0,115}{0,105} \times 240 \\ &= 263,932 \text{ volt}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_m &= \left(\frac{I_n}{I_u}\right)^2 \times P_u \\ &= \left(\frac{0,115}{0,105}\right)^2 \times 40 \\ &= 48,375 \text{ watt}\end{aligned}$$

Nilai rugi berbeban di atas (P_{cu}) akan berbeda dengan rugi belitan secara perhitungan ($I^2 R$).

Perbedaan nilai rugi belitan secara pengukuran dengan perhitungan rugi $I^2 R$ disebabkan adanya rugi sasar (stray losses) yang diakibatkan karena fluksi bocor

atau induksi medan magnet yang mengalir ke tangki transformator, kabel lead, clamping, dan lain-lain, sehingga nilai rugi sasar adalah :

$$P_{\text{stray}} = P_{\text{in}} - P_{\text{hit}}$$

$$= 1,645 \text{ watt}$$

Rugi bebahan dan tegangan impedansi pada suhu 75°C diperoleh dengan menggunakan faktor koreksi suhu, sesuai material belitan yang digunakan.

$$fk = \left(\frac{235+75}{235+t_2} \right) \quad (\text{untuk belitan tembaga})$$

$$= 1,161$$

Rugi belitan berbanding lurus dengan suhu, sedangkan rugi sasar berbanding terbalik dengan suhu, sehingga rugi belitan pada suhu 75 °C adalah :

$$P_{75} = P_{\text{in}} \times fk + \frac{P_{\text{stray}}}{fk} \text{ atau,}$$

$$= 46,730 \times 1,161 + \frac{1,645}{1,161}$$

$$= 55,672 \text{ watt}$$

Tegangan impedansi yang didapat dari pengukuran dijadikan dalam persen menjadi :

$$U_{Zt1} = \frac{V_{Zt1}}{V_n} \times 100\%$$

$$U_{Zt1} = \frac{240}{20000} \times 100\%$$

$$= 1,32\%$$

Nilai tegangan resistansi pada suhu t1 :

$$U_{Rt1} = \frac{P_{\text{in}}}{P_n} \times 100\%$$

$$U_{Rt1} = \frac{48,375}{4000} \times 100\%$$

$$= 1,209\%$$

Sedangkan nilai tegangan reaktansi pada suhu t_1 yaitu

$$\begin{aligned} U_{x_{t1}} &= \sqrt{u_z^2 - u_{r_{t2}}^2} \\ &= \sqrt{(1,320)^2 - (1,209)^2} \\ &= 0,528\% \end{aligned}$$

Nilai tegangan reaktansi pada kondisi t_2 atau 75°C selalu sama yaitu

$$u_{x_{t1}} = u_{x_{t2}} \text{ atau } u_{x_{75}} = 0,528\%$$

Nilai tegangan resistansi pada suhu t_2 atau 75°C adalah :

$$\begin{aligned} U_{r_{75}} &= \frac{P_{75}}{P_n} \times 100\% \\ &= \frac{55,672}{4000} \times 100\% \\ &= 1,392\% \end{aligned}$$

Sehingga tegangan impedansi pada suhu 75°C menjadi:

$$\begin{aligned} U_{x_{75}} &= \sqrt{u_{x_{t2}}^2 - u_{r_{t2}}^2} \\ &= \sqrt{0,524^2 - 1,392^2} \\ &= 0,528\% \end{aligned}$$

4. Pengukuran Rugi dan Arus Beban Nol

Selain untuk mengukur rugi inti besi dan arus eksitasi, pengukuran rugi dan arus beban nol juga berfungsi untuk memeriksa ketahanan isolasi transformator terhadap tegangan tinggi yang timbul pada transformator tersebut serta untuk mengetahui apakah transformator yang diukur hubung singkat atau tidak. Dari hasil pengukuran pada suhu ruang 30°C diperoleh nilai-nilai sebagai berikut:

$$V_n = 380 \text{ volt}$$

$$P_{fe} = 78.5 \text{ watt}$$

$$I_u = 0,112 \text{ A}$$

Nilai arus beban nol yang diambil adalah nilai rata-rata dari arus ketiga fasa belitan.

$$\begin{aligned} I_o &= \frac{I_u}{I_n} \times 100\% \\ &= \frac{0,112}{6,077} \times 100\% \\ &= 1,843\% \end{aligned}$$

5. Pengujian Tegangan Terapan

Dari SPLN 50:1997 dan IEC 76, untuk kelas tegangan 24 kV tegangan uji terapannya adalah 50 kV, dan untuk kelas tegangan 1 kV, tegangan uji terapan yang diberikan adalah 3 kV. Transformator dinyatakan tahan / baik terhadap tegangan tegangan tembus (breakdown voltage), selama 60 detik pengujian dilakukan.

6. Pengujian Tegangan Lebih Induksi

Pada pengujian ini frekuensi generator uji yang dipakai adalah 100 Hz, sehingga diperoleh lama pengujian induksi tegangan lebih yang diberikan yaitu:

$$\begin{aligned} t &= 120 \times \frac{50}{100} \\ &= 60 \text{ detik} \end{aligned}$$

Transformator dinyatakan tahan/baik terhadap tegangan induksi selama 60 detik pengujian dan tidak terjadi tegangan tembus (breakdown voltage).

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil pengukuran dan pengujian rutin pada kedua trafo distribusi 3 fasa tegangan 20 kV/400 V dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

I. Pengujian rutin transformator tiga fasa meliputi:

- Terhadap tahanan belitan, dimana besarnya nilai tahanan belitan ini menggambarkan nilai rugi belitan (I^2R) dari transformator tersebut pada saat berbeban.
- Untuk tegangan isolasi (dielectric test) yang berupa pengujian tegangan terapan (applied voltage test) dan pengujian induksi tegangan lebih (induced over voltage) merupakan simulasi dari gangguan-gangguan yang terjadi pada saat trafo dioperasikan di jaringan. Pengukuran rugi dan arus beban nol selain untuk mengukur rugi dari inti besi dan arus eksitasi juga untuk memeriksa tahanan isolasi transformator terhadap tegangan tinggi yang timbul pada transformator tersebut.
- Pada perbandingan tegangan (ratio) selain mengukur jumlah tegangan sisi primer dan sekunder juga dapat mengidentifikasi gangguan pada trafo seperti hubungan belitan terputus (open Cirkuit) dan koneksi hubungan belitan.
- Pengukuran rugi berbeban selain untuk mengukur rugi tahanan pada trafo juga dapat mengetahui jatuh tegangan yang terjadi pada saat beroperasi.

- Makin besar nilai impedansi (Z) suatu transformator maka makin besar pula jatuh (drop) tegangan yang ada pada trafo, dan makin kecil nilai tegangan impedansinya maka makin besar pula arus hubung singkat yang akan dialami trafo tersebut.

B. SARAN

1. Ketelitian dalam pengukuran dan pengujian transformator sangatlah perlu diperhatikan, hal ini diperlukan untuk mengetahui sejauh mana nilai karakteristik trafo dapat berfungsi dengan baik.
2. Diperlukan kehati-hatian yang lebih dalam hal pengujian tegangan isolasi (dielectric) karena pengujian tersebut dilaksanakan dalam keadaan bertegangan tinggi.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdul khadir 2020 ", *Transformator*", Jakarta , Elex Media Komputindo.
- B.M. Weady, *Sistem Tenaga Listrik, Edisi Ketiga*, Aksara Persada Indonesia, 2020
- Feinberg R, *Modern Power Transformator Practice*, The Macnillan Press ltd, 2019
- Gonen Turan, 2020 ", *Modern Power System Analysis* ",Canada, John wiley and sons Inc
- Jhon Parson and H.G. *Barnet, Electrical Translation and Distribution Reference Book*, Westinghouse Electrical Corporation, Eats Pittsburg, Fourth Edition, 2020.
- Kadir Wahid ,2020 "*Transmisi Tegangan Listrik*", Jakarta, UI-Press.
- Perusahaan Listrik Negara (PLN)" *Sistem Proteksi Transformator*", Pusklat, 2020
- Sutoyo. . Maslin, 2020"*Transformator* Yogyakarta, Andi Offset
- Soemarto Sudirman Jr., *Pola Pengaman Sistem Distribusi*, Topik 1, Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta, 2019.
- Standar Listrik Indonesia , *Pedoman Pembebanan Transformator Tenaga Jenis Kering, SLI 132*, Departemen Pertambangan Dan Energi, Jakarta, 2019
- Tahir Harahap Jr., *Studi Distribusi Sulawesi Selatan dan Tenggara*, Perusahaan Listrik Negara, Makassar, 2019.
- Zuhal, *Dasar Teknik Tenaga Dan Elektronika Daya* , PT Gramedia Pustaka Utama, 1993

