

TUGAS AKHIR

ANALISIS HASIL PENGUJIAN RASIO BELITAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI TERHADAP KELAYAKAN OPERASI PADA PT. SUMBETRI MEGAH

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

**IMAM AKBARI
2007220062P**



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

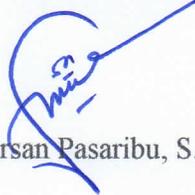
Nama : Imam Akbari
NPM : 2007220062P
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisis Hasil Pengujian Rasio Belitan Transformator
Distribusi Terhadap Kelayakan Operasi Pada PT. Sumbetri
Megah
Bidang ilmu : Sistem Kontrol

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 Oktober 2023

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

Dosen Pembanding I / Penguji



Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd

Dosen Pembanding II / Penguji



Noorly Evalina, S.T., M.T



Program Studi Teknik Elektro

Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Imam Akbari
Tempat /Tanggal Lahir : Tebing Tinggi, 25 Desember 2001
NPM : 2007220062P
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“ANALISIS HASIL PENGUJIAN RASIO BELITAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI TERHADAP KELAYAKAN OPERASI PADA PT. SUMBETRI MEGAH”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 20 Oktober 2023
Saya yang menyatakan,



Imam Akbari

ABSTRAK

Energi listrik memegang peranan yang sangat penting dalam kehidupan manusia, sehingga energi listrik harus terdistribusi dengan baik. Salah satu peralatan utama dalam sistem distribusi energi listrik adalah transformator distribusi, yang menerima tegangan menengah 20kV kemudian diturunkan ke level tegangan rendah 400V. Karena perannya yang sangat penting, maka transformator distribusi harus layak dioperasikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis standar kelayakan trafo distribusi dan proses dalam pengujian rasio belitan trafo distribusi serta menganalisis bagaimana pengujian rasio belitan dapat menentukan kelayakan operasi suatu trafo distribusi. Standar kelayakan operasi suatu transformator mengacu pada Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) dan/ atau *International Electrotechnical Commission (IEC) Standard*. Salah satu pengujian utama trafo distribusi ialah pengujian rasio belitan yang dimana prosesnya dimulai dengan pemasangan instalasi pengujian dari alat uji ke trafo yang akan diuji sampai dengan pengoperasian alat uji. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah metode hitung secara sistematis. Dalam penelitian ini terdapat 4 sampel transformator distribusi yang jika dilihat dari hasil pengujian rasio belitannya, 2 unit layak operasi, 1 unit tidak layak operasi, dan 1 unit yang secara teori tidak layak operasi namun dapat dipertimbangkan beroperasi pada saat kondisi tertentu. Terdapat juga contoh kelainan dari hasil dari pengukuran rasio belitan transformator yang kemudian dapat diketahui apa penyebab kelainan tersebut. Hasil pengujian rasio belitan dapat dijadikan salah satu metode untuk mengetahui kelayakan operasi suatu transformator distribusi serta dapat dijadikan pedoman maupun bahan pertimbangan untuk mengambil keputusan pada suatu transformator distribusi.

Kata Kunci : Sistem Distribusi, Transformator, Pengujian, Rasio Belitan

ABSTRACT

Electrical energy plays a very important role in human life, so electrical energy must be well distributed. One of the main equipment in the electrical energy distribution system is the distribution transformer, which receives a medium voltage of 20kV then is lowered to a low voltage level of 400V. Due to its very important role, the distribution transformer must be worthy of operation. This study aims to analyze the feasibility standards of distribution transformers and the process in testing the ratio of distribution transformer windings and analyze how winding ratio testing can determine the feasibility of operating a distribution transformer. The feasibility standard for operating a transformer refers to the State Electricity Company Standard (SPLN) and / or International Electrotechnical Commission (IEC) Standard. One of the main tests of distribution transformers is winding ratio testing where the process begins with the installation of the test installation from the test equipment to the transformer to be tested until the operation of the test equipment. The method used in this study is a systematic calculation method. In this study there are 4 samples of distribution transformers which when viewed from the results of winding ratio testing, 2 units are suitable for operation, 1 unit is not fit for operation, and 1 unit that is theoretically not fit for operation but can be considered operating under certain conditions. There are also examples of abnormalities from the results of measuring the transformer winding ratio which can then be known what causes the abnormalities. The results of winding ratio testing can be used as a method to determine the feasibility of operating a distribution transformer and can be used as a guideline or consideration for taking advantage of a distribution transformer.

Keywords : Distribution System, Transformer, Test, Winding Ratio

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “**Analisis Hasil Pengujian Rasio Belitan Transformator Distribusi Terhadap Kelayakan Operasi Pada PT. Sumbetri Megah**” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing sekaligus Ketua Program Studi Teknik Elektro yang telah banyak membimbing dan mengarahkan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Ir. Abdul Aziz Hutasuhut, M.M. selaku Koordinator Pembidangan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu.
5. Bapak Azwaruddin dan Ibu Paini, M.Pd. selaku orang tua yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi.
6. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak T.Saiful, S.T. selaku manajer Pabrik Transformator di PT. Sumbetri Megah yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan analisis.
8. Bapak Ridho Maesa Purba selaku Kepala Bagian *Quality Assurance* yang telah membantu mengumpulkan data.

9. Teman seperjuangan Program Studi Teknik Elektro kelas A3 Malam yang tidak dapat saya sebutkan namanya satu persatu yang telah membantu dan mendukung.

Tugas akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang sifatnya membangun untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia kelistrikan.

Medan, 27 Januari 2023

Imam Akbari

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tinjauan Pustaka Relevan	5
2.2 Landasan Teori	8
2.2.1 Sistem Distribusi	8
2.2.2 Klasifikasi Sistem Distribusi Energi Listrik.....	9
2.2.3 Konfigurasi Sistem Distribusi	12
2.2.4 Gardu Distribusi	12
2.2.5 Prinsip Kerja Transformator.....	18
2.2.6 Transformator Distribusi	21
2.2.7 Komponen Transformator Distribusi.....	25
2.2.8 Hubungan Belitan Trafo 3 Fasa	32
2.2.9 Pengujian Pada Transformator	36
2.2.10 Kehandalan dan Ketidakhandalan Pada Transformator	51
BAB III METODELOGI PENELITIAN	53
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	53
3.2 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	53

3.3 Metode Penelitian	54
3.4 Prosedur Penelitian	56
3.4.1 Alat dan Bahan	56
3.4.2 Gambar Rangkaian Penelitian	59
3.4.3 Langkah-Langkah Penelitian.....	59
BAB IV HASIL DAN ANALISA	63
4.1 Trafo Distribusi 1	63
4.1.1 Hasil Trafo Distribusi 1	63
4.1.2 Analisa Trafo Distribusi 1	64
4.2 Trafo Distribusi 2.....	67
4.2.1 Hasil Trafo Distribusi 2	67
4.2.2 Analisa Trafo Distribusi 2	68
4.3 Trafo Distribusi 3.....	71
4.3.1 Hasil Trafo Distribusi 3	71
4.3.2 Analisa Trafo Distribusi 3	72
4.4 Trafo Distribusi 4.....	75
4.4.1 Hasil Trafo Distribusi 4	75
4.4.2 Analisa Trafo Distribusi 4	76
4.5 Contoh <i>Case</i> Hasil Pengujian Rasio Belitan Transformator.....	78
4.5.1 Hasil Tidak Beraturan.....	78
4.5.2 Hasil Rasio Belitan 0.0000	81
BAB V PENUTUP	82
5.1 Kesimpulan	82
5.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA	84
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengelompokan sistem distribusi energi listrik	9
Gambar 2.2	Bagian-bagian sistem distribusi primer	10
Gambar 2.3	Komponen sistem distribusi sekunder	11
Gambar 2.4	Pola jaringan distribusi dasar	12
Gambar 2.5	Skema gardu distribusi	13
Gambar 2.6	Gardu distribusi tipe cantol	14
Gambar 2.7	Bagan satu garis gardu distribusi tipe tiang cantol	14
Gambar 2.8	Tiang portal dan panel distribusi	16
Gambar 2.9	Bagan satu garis gardu distribusi tipe tiang portal	17
Gambar 2.10	Gardu beton.....	17
Gambar 2.11	Kubikel dan rak tegangan rendah pada gardu beton	18
Gambar 2.12	Prinsip kerja transformator	19
Gambar 2.13	Transformator tipe inti dan tipe cangkang	20
Gambar 2.14	Transformator distribusi 1 phasa	22
Gambar 2.15	Transformator distribusi 3 phasa	22
Gambar 2.16	Transformator konvensional	23
Gambar 2.17	Transformator distribusi CSP	24
Gambar 2.18	Transformator distribusi CSPB	24
Gambar 2.19	Core magnetic transformator distribusi.....	25
Gambar 2.20	Belitan/ kumparan transformator distribusi	26
Gambar 2.21	Tangki dan konservator transformator	27
Gambar 2.22	<i>Low voltage bushing</i> dan <i>high voltage bushing</i>	28
Gambar 2.23	Minyak transformator dan kertas isolasi transformator	30
Gambar 2.24	Tap changer pada transformator	31

Gambar 2.25	Hubungan bintang – bintang	32
Gambar 2.26	Hubungan segitiga – segitiga	33
Gambar 2.27	Hubungan bintang - segitiga	34
Gambar 2.28	Hubungan segitiga – bintang	34
Gambar 2.29	Hubungan zig – zag	35
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	53
Gambar 3.2	Sarung tangan keselamatan	54
Gambar 3.3	Sepatu keselamatan	54
Gambar 3.4	Helm keselamatan	55
Gambar 3.5	Turn ratio meter beserta kelengkapannya	55
Gambar 3.6	Tang amper	56
Gambar 3.7	Objek penelitian	56
Gambar 3.8	Gambar rangkaian penelitan	57
Gambar 3.9	Halaman dashboard turn ratio meter	57
Gambar 3.10	Halaman pengaturan tanggal dan jam	58
Gambar 3.11	Posisi letak tombol “cancel” pada turn ratio meter	58
Gambar 3.12	Menu three-phase test pada turn ratio meter	59
Gambar 3.13	Sub menu three-phase test pada turn ratio meter	59
Gambar 3.14	Tampilan pengaturan spesifikasi trafo pada turn ratio meter	60
Gambar 3.15	Contoh hasil rasio belitan trafo distribusi	60
Gambar 4.1	<i>Name plate/ rating plate</i> trafo 1	63
Gambar 4.2	<i>Print out</i> hasil pengujian rasio belitan trafo 1	63
Gambar 4.3	<i>Name plate/ rating plate</i> trafo 2	67
Gambar 4.4	<i>Print out</i> hasil pengujian rasio belitan trafo 2	67
Gambar 4.5	<i>Name plate/ rating plate</i> trafo 3	71
Gambar 4.6	<i>Print out</i> hasil pengujian rasio belitan trafo 3	71

Gambar 4.7	<i>Name plate/ rating plate</i> tarfo 4	75
Gambar 4.8	<i>Print out</i> hasil pengujian rasio belitan trafo 4	75
Gambar 4.9	Posisi netral pada trafo distribusi	79
Gambar 4.10	Instalasi yang benar dan salah	79
Gambar 4.11	Hasil uji instalasi yang benar dan salah	80
Gambar 4.12	Hasil pengukuran rasio belitan dengan hasil 0.0000	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Macam - macam pengujian transformator	29
Tabel 2.2	Macam - macam pengujian.....	36
Tabel 2.3	Hubungan antara tegangan nominal	45
Tabel 2.4	Hubungan antara tingkatan isolasi dielektrik	46
Tabel 3.1	Jadwal pelaksanaan penelitian.....	51
Tabel 4.1	Standar hasil pengukuran rasio belitan transformator	62
Tabel 4.2	Rekapitulasi hasil pengujian rasio belitan trafo 1	64
Tabel 4.3	Rekapitulasi hasil pengujian rasio belitan trafo 2	68
Tabel 4.4	Rekapitulasi hasil pengujian rasio belitan trafo 3	72
Tabel 4.5	Rekapitulasi hasil pengujian rasio belitan trafo 4	76

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada era ini energi listrik memegang peranan yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Di Indonesia pemanfaatan energi listrik secara tepat dapat membantu pertumbuhan ekonomi negara. Karena wilayah negara Indonesia yang relatif luas, maka diperlukan sistem transmisi dan distribusi yang handal dalam penyaluran energi listrik dari sumber energi listrik sampai ke beban. Dalam pola pendistribusian energi listrik ke pengguna pada suatu wilayah, sistem tegangan menengah digunakan sebagai jaringan utama. Sistem ini adalah upaya utama untuk mengurangi/ menghindari rugi-rugi penyaluran (*losses*) dengan kualitas persyaratan tegangan yang harus dipatuhi oleh PT PLN Persero selaku pemegang kuasa usaha utama sebagaimana diatur dalam UU Ketenagalistrikan No. 30 Tahun 2009.

Salah satu peralatan utama dalam penyaluran energi listrik ialah trafo distribusi, yang berfungsi mengkonversikan tegangan listrik. Transformator ini semestinya diharapkan dapat bekerja pada performa yang diinginkan. Karena apabila peralatan ini tidak bekerja dengan semestinya, maka pendistribusian energi listrik menjadi terganggu dan bahkan dapat menyebabkan terhentinya asupan listrik pada suatu jaringan listrik yang saling terinterkoneksi satu sama lain. Terhentinya asupan listrik tersebut tentunya merugikan berbagai pihak, mulai dari konsumen listrik ataupun produsen listrik yang dalam hal ini PT PLN.

Acuan kelayakan operasi pada suatu trafo distribusi ialah standar dan hasil uji pada trafo distribusi itu. Salah satu pengujian utama kelayakan operasi trafo distribusi ialah pengujian rasio belitan. Pengujian perbandingan rasio belitan pada kumparan transformator dilakukan dengan menggunakan alat ukur TTR (*Transformer Turn Ratio*). Alat ukur ini merupakan alat ukur yang wajib dimiliki oleh setiap pemilik/ *user* transformator. Pengujian rasio belitan pada kumparan transformator merupakan salah satu pengujian rutin (*routine test*) yang diujikan

pada transformator distribusi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan belitan antara belitan kumparan primer dan sekunder.

Dalam pelaksanaannya, petugas lapangan pemasangan trafo distribusi sering kali mendapati trafo distribusi yang baru saja dipasang di gardu distribusi mengalami gagal enerjais. Hal ini dapat terjadi dikarenakan trafo distribusi yang dipasang ternyata belum layak beroperasi. Sehingga pekerjaan para petugas lapangan pemasangan trafo distribusi menjadi sia-sia. Hal ini juga menimbulkan ketidaknyamanan bagi pelanggan yang pada akhirnya dapat menimbulkan amarah pelanggan. Peristiwa ini disebabkan oleh berbagai alasan, salah satunya ialah penyimpanan transformator yang handal dan tidak handal dalam satu gudang yang sama. Untuk mengetahui kelayakan operasi suatu transformator distribusi maka diperlukan suatu metode yang mudah dan cepat sehingga efisien waktu dalam pelaksanaannya di lapangan. Metode pengujian rasio belitan pada suatu transformator dapat dijadikan satu pilihan untuk menyelesaikan masalah ini.

Oleh karena itu, penelitian ini sangat berguna untuk mengetahui hasil pengujian rasio belitan transformator distribusi terhadap kelayakan operasi.

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian di atas, dapat diketahui rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana standar kelayakan operasi transformator distribusi.
2. Bagaimana proses pengujian rasio belitan pada transformator distribusi.
3. Bagaimanna pengujian rasio belitan dapat menentukan kelayakan operasi suatu transformator distribusi.

1.3 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah :

1. Perbandingan hasil uji rasio belitan transformator distribusi yang dianalisis berspesifikasi/ berstandar SPLN dan/atau *International Electrotechnical Commision (IEC) Standard*.

2. Proses pengujian rasio belitan transformator distribusi dilakukan menggunakan alat ukur *turn ratio meter* dan metode hitung secara matematis.
3. Tidak membahas penyebab terjadinya kerusakan pada transformator distribusi.
4. Tidak membahas biaya pengujian pada transformator distribusi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu :

1. Menganalisis standar kelayakan operasi transformator distribusi.
2. Menganalisis proses pengujian rasio belitan pada transformator distribusi.
3. Menganalisis bagaimana pengujian rasio belitan dapat menentukan kelayakan operasi suatu transformator distribusi.

1.5 Manfaat

Manfaat penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui standar kelayakan operasi transformator distribusi.
2. Mengetahui proses pengujian rasio belitan pada transformator distribusi.
3. Mengetahui kelayakan operasi suatu transformator distribusi berdasarkan hasil uji rasio belitannya.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini diuraikan secara singkat sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan tentang pendahuluan, latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang tinjauan pustaka relevan, yang mana berisikan tentang teori – teori penunjang keberhasilan di dalam masalah pembuatan tugas akhir ini. Ada juga teori dasar yang berisikan tentang

penjelasan dari dasar teori dan penjelasan komponen utama yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan tentang lokasi penelitian, alat dan bahan penelitian, proses – proses yang dilakukan dalam penelitian, dan tata cara dalam pengujian.

BAB IV HASIL DAN ANALISA

Pada bab ini menjelaskan tentang analisis data dari penelitian, serta penyelesaian masalah yang terdapat di dalam penelitian ini.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dari penelitian ini serta saran – saran positif yang bersifat membangun

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka Relevan

Salah satu bagian penting dari jaringan distribusi energi listrik adalah adanya transformator distribusi atau biasa disebut dengan trafo distribusi. Transformator distribusi ialah peralatan utama dari jaringan distribusi energi listrik. Trafo distribusi ini memiliki fungsi yang khusus yaitu untuk menurunkan tegangan, yaitu tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah, agar tegangan yang digunakan sesuai dengan *rating* dan spesifikasi peralatan listrik yang digunakan pelanggan atau beban pada umumnya. Gangguan pada trafo ini dapat menyebabkan berbagai macam kerugian bagi penyedia maupun pengguna listrik seperti pemutusan aliran listrik atau pemadaman yang dapat menyebabkan biaya-biaya pembangkitan meningkat tergantung harga KWH yang tidak terjual. Titik lokasi trafo distribusi yang tidak sesuai dapat mempengaruhi drop tegangan ujung pada *user/* konsumen atau jatuhnya/ turunnya tegangan ujung saluran *user/* konsumen. Untuk menunjang kehandalan trafo distribusi, maka diperlukan data yang lengkap dari spesifikasi trafo distribusi tersebut sehingga trafo tersebut dapat dipastikan layak beroperasi atau tidak. (Nathania et al., 2014)

Transformator merupakan salah satu peralatan listrik yang sangat penting dan vital dalam pembangkitan maupun transmisi energi listrik karena berfungsi sebagai penaik maupun penurun tegangan. Hasil perbandingan belitan transformator didasari oleh vector grup yang digunakan. Transformer Turn Ratio (TTR) merupakan salah satu alat yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran perbandingan belitan. Pada SPLN D3.002-01:2020, toleransi yang diizinkan adalah 0.5% dari rasio tegangan atau 1/10 dari persentase impedansi pada tapping nominal. (Sadi et al., 2014)

Perubahan tegangan keluar pada transformator distribusi dapat diatur dalam perbandingan rasio belitan pada kedua sisi belitan. Perbandingan ini dapat diaplikasikan dalam pemasangan tap changer pada salah satu sisi belitan. Toleransi pada penggunaan tap changer adalah sebesar 1% dari tegangan yang seharusnya. Jumlah belitan sekunder transformator dapat dihitung dan diukur secara manual

dengan menggunakan alat uji rasio meter. Selanjutnya jumlah belitan primer diperoleh dengan mengalikan jumlah terhadap persamaan perbandingan tegangan yang besarnya sama dengan perbandingan belitan. Jumlah lilitan primer dapat diukur dan dihitung dengan mengalikan nilai belitan sekunder dengan data hasil pengukuran TTR (transformator turn ratio). Dari hasil analisa perbandingan pengukuran rasio belitan tersebut, maka diperoleh bahwa pada beberapa trafo perlu dilakukan penambahan belitan pada sisi primernya agar tegangan keluaran dari trafo tersebut sesuai dengan tegangan keluaran yang diinginkan. (Philippe et al., 2010)

Agar transformator dapat bekerja secara terus menerus tanpa adanya gangguan dan kerusakan, maka diperlukan pengawasan terhadap peletakan suatu trafo distribusi. Pengawasan ini dapat berupa penempatan suatu trafo distribusi yang bebannya sesuai dengan daya (Kva) dari trafo distribusi tersebut serta dilakukan perawatan dalam jangka waktu tertentu. Dalam perhitungan tegangan dan arus yang digunakan, maka umur suatu trafo distribusi dapat diprediksi. Dari prediksi umur trafo itu maka kita dapat mencegah kerusakan maupun gangguan pada trafo yaitu dengan mengganti trafo sebelum trafo itu mengalami gangguan. Umur pakai trafo distribusi dengan asumsi 5 tahun pemakaian diprediksi bertahan hingga 4 tahun 7 bulan dengan nilai error 5,43%. Pada trafo distribusi juga dapat terjadi rugi daya yang disebabkan oleh adanya aliran arus melalui titik netral dan pentanahan. Hal ini dapat terjadi karena adanya ketidakseimbangan beban pada trafo. (Winarso, 2014)

Dari data hasil pengujian pada magnetisasi inti transformator yang dilakukan oleh Maharani Putri dkk, diketahui bahwa pada saat tegangan disuntikkan (mulai dari tegangan rendah ke tegangan tinggi), arus akan mengalir dan terus meningkat. Pengukuran tegangan (V) dan arus (I) dilakukan saat tegangan dinaikkan hingga 120% nominal dan tegangan diturunkan sampai arus (I) sama dengan nol. Pada saat batas minimum arus tidak sama dengan nol ($I \neq 0$), tetapi $I = 8,7$ mA, dan pada saat tegangan maksimum 250 V arus (I) bernilai 44,2 mA. Rugi hysteresis dapat terjadi ketika adanya magnet sisa yang terdapat dalam belitan. (Putri et al., 2021)

Keandalan merupakan kemampuan suatu sistem atau komponen untuk memenuhi fungsi yang diharapkan dalam kondisi tertentu selama jangka waktu yang spesifik. Tingkat kegagalan suatu transformator berpengaruh pada keandalan transformator tersebut. Metode yang sering digunakan untuk menganalisis suatu keandalan ialah Distribusi Weibull. Metode ini sering digunakan sebagai metode matematika untuk menghitung dan menganalisa laju kegagalan dan keandalan serta memprediksi waktu sisa umur peralatan apapun. (Napitupulu & Tobing, 2013)

Segala sesuatu dapat mengalami kegagalan operasi. Penyebab - penyebab kegagalan operasi ini diantaranya ialah kelalaian manusia, *maintenance* yang buruk, kesalahan dalam penggunaan, dan kurangnya perhatian terhadap kapasitas yang berlebihan. Akibat yang di timbulkan dari kegagalan operasi ini sangat beragam, mulai dari tidak adanya kenyamanan dalam penggunaannya hingga kerugian biaya ekonomis yang cukup tinggi bahkan timbulnya korban jiwa manusia. Pada satu teknik keandalan, bertujuan untuk mempelajari konsep, karakteristik, penyebab kegagalan serta perbaikan dari sistem sehingga menambah ketersediaan waktu operasi sistem dengan cara mengurangi kemungkinan atas kegagalan. Pengertian mendasar dari keandalan adalah banyaknya dan besarnya fungsi suatu alat atau sistem secara memuaskan pada keandalan tertentu dan dalam jangka waktu tertentu juga. Dari definisi ini, bukan hanya peluang dari kegagalan tetapi juga kuantitasnya, lama waktunya serta frekuensinya yang juga sangat penting. Tingkat kepastian atau kemungkinan – kemungkinan itu tidak dapat diprediksi dengan pasti, tetapi dapat dianalisa atas dasar logika dan ilmiah. (Jurusan et al., 2014)

Dalam transformator 3 fasa terdapat berbagai macam jenis hubungan belitan contohnya delta- delta, wye- wye, wye- delta, delta- wye, zig- zag, dan lain- lain. Apabila trafo ini diberikan pembebanan melebihi dari kapasitasnya, maka akan mempengaruhi regulasi tegangan, efisiensi, serta ketahanan belitan pada coil transformator itu sendiri. Dalam regulasi transformator, hubungan $Yy0$ ialah hubungan yang terbaik. Dan pada efisiensi transformator, hubungan $Dd0$ ialah hubungan yang terbaik. Kenaikan suhu terendah dalam keadaan *overload* hubungan $Yy0$ adalah hubungan yang terbaik. (Dhuha & Amien, 2015)

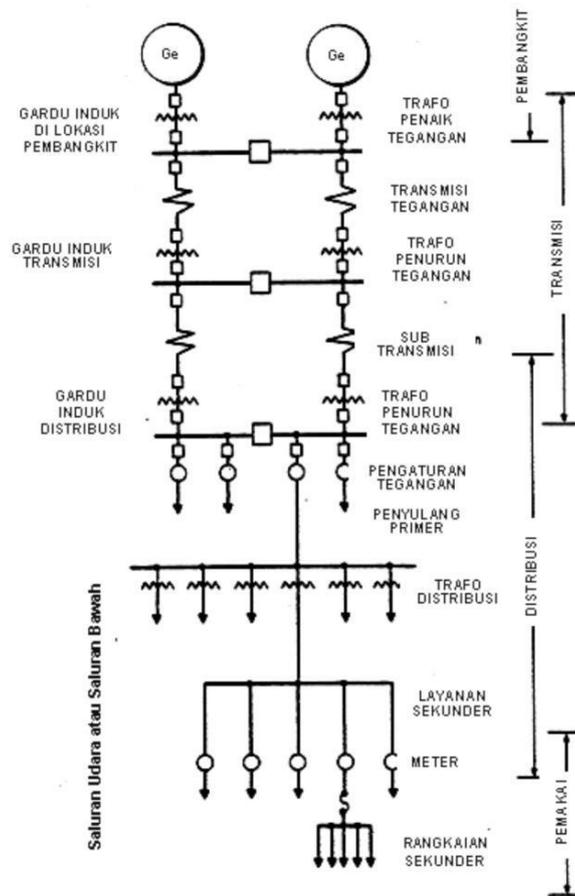
2.2 Landasan Teori

2.2.1. Sistem Distribusi

Sistem distribusi adalah bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk mendistribusikan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*bulk power source*) sampai ke konsumen. Daya listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV hingga 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk (GI) dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

Tujuan menaikkan tegangan adalah untuk meminimalkan kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya sebanding dengan kuadrat dari arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama ketika nilai tegangan diperbesar, maka arus yang mengalir lebih kecil sehingga kehilangan daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan di gardu distribusi, kemudian dengan sistem tegangan itu penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu – gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan transformator distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt.

Selanjutnya, disalurkan oleh saluran distribusi sekunder kepada konsumen. Dalam sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin dengan menggunakan *transformator step-up*. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini menimbulkan beberapa konsekuensi, antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan tingginya harga peralatannya, selain itu juga tidak sesuai dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Dengan demikian, pada area pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali menggunakan *transformator step-down*. Dalam hal ini jelas bahwa sistem distribusi adalah bagian penting dari sistem tenaga listrik secara keseluruhan. (Penyulang et al., 2022)



Gambar 2.1 Pengelompokan sistem distribusi energi listrik

2.2.2. Klasifikasi Sistem Distribusi Energi Listrik

Secara umum, saluran energi listrik atau saluran distribusi dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Menurut Jenis / Tipe Konduktornya
 - a. Saluran udara, dipasang pada udara terbuka dibantu dengan tiang dan perlengkapannya, dibedakan atas :
 - ✓ Saluran kawat udara, yaitu apabila konduktornya telanjang, tanpa isolasi pembungkus.
 - ✓ Saluran kabel udara, apabila konduktornya terbungkus isolasi.
 - b. Saluran bawah tanah, terpasang di dalam tanah, dengan memakai kabel tanah (*ground cable*).

- c. Saluran bawah laut, dipasang di dasar laut dengan memakai kabel laut (*submarine cable*).

2. Menurut susunan rangkaiannya

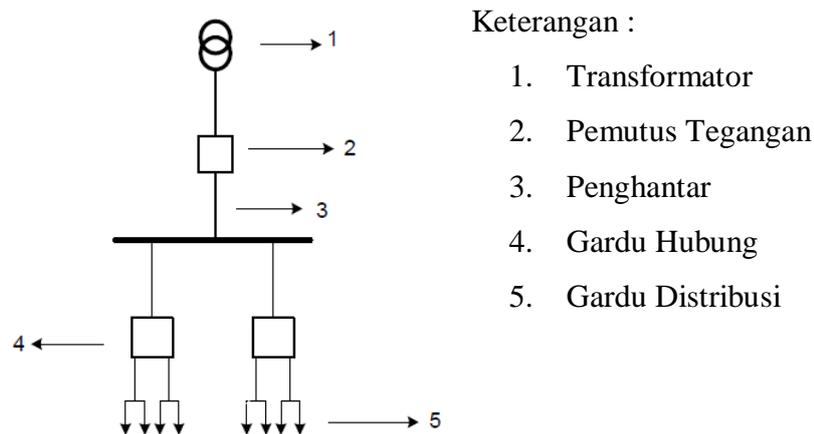
Dari uraian di atas telah disinggung bahwa sistem distribusi dibedakan menjadi dua, yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder.

a. Jaringan Distribusi Primer

Terletak pada sisi primer transformator distribusi, yaitu antara titik sekunder *trafo substation* gardu induk (GI) dengan titik primer transformator distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20 kV.

Sistem distribusi primer digunakan untuk mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat - pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah disesuaikan dengan kondisi dan situasi lingkungan. Saluran distribusi ini membentang sepanjang wilayah yang akan disuplai dengan tenaga listrik sampai ke pusat beban. Ada berbagai bentuk rangkaian / sirkuit jaringan distribusi primer.

Secara umum bagian – bagian dari distribusi primer dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.2 Bagian – Bagian Sistem Distribusi Primer

Bagian-bagian dari sistem distribusi primer terdiri dari:

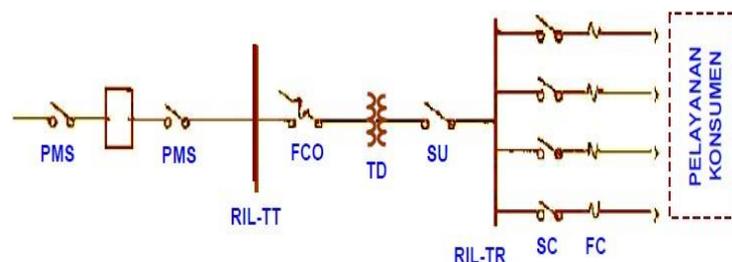
1. Transformator daya, sebagai alat untuk menurunkan tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan menengah atau sebaliknya.
2. Pemutus tenaga, berguna sebagai pengaman dan pemutus daya
3. Penghantar, berguna sebagai penghubung daya
4. Gardu hubung, berguna untuk menyalurkan daya ke gardu - gardu distribusi tanpa mengubah tegangan
5. Gardu distribusi, berguna untuk menurunkan tegangan menengah ke tegangan rendah.

b. Jaringan Distribusi Sekunder

Sistem jaringan distribusi sekunder berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban yang ada pada konsumen. Dalam sistem distribusi sekunder, bentuk saluran yang paling banyak digunakan adalah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel berinsulasi serta konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang akan langsung dihubungkan ke konsumen/pengguna tenaga listrik melalui peralatan sebagai berikut :

- 1) Papan pembagi pada transformator distribusi
- 2) Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder)
- 3) Saluran Layanan Pelanggan (SLP) ke konsumen
- 4) Alat pembatas dan pengukur daya (kWh meter) serta fuse atau pengaman pada konsumen

Komponen saluran distribusi sekunder seperti ditunjukkan pada gambar 2.3 berikut ini. (Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1 Pustaka, 2008)



Gambar 2.3 Komponen sistem distribusi sekunder

2.2.3. Konfigurasi Sistem Distribusi

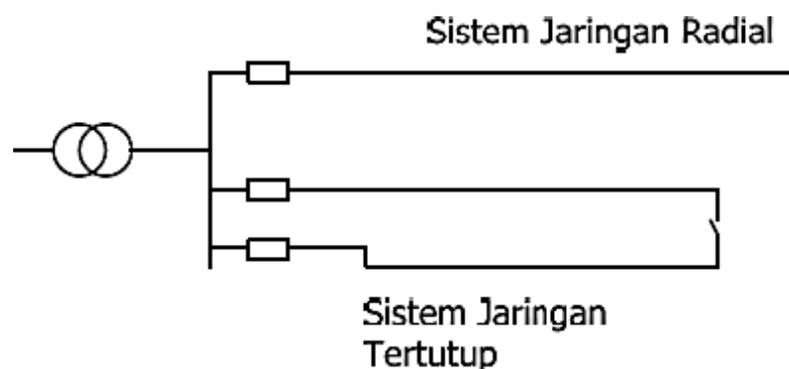
Secara umum konfigurasi jaringan tenaga listrik hanya memiliki 2 konsep konfigurasi, dimana konfigurasi ini dapat dikembangkan menjadi jaringan lain pada sistem distribusi primer maupun sistem distribusi sekunder. Di bawah ini merupakan jaringan yang dimaksud, yaitu :

a. Konfigurasi jaringan radial

Yaitu jaringan yang hanya memiliki satu pasokan tenaga listrik. Bila terjadi gangguan, maka akan terjadi “*black-out*” atau padam pada wilayah yang tidak dapat dipasok.

b. Konfigurasi jaringan bentuk tertutup

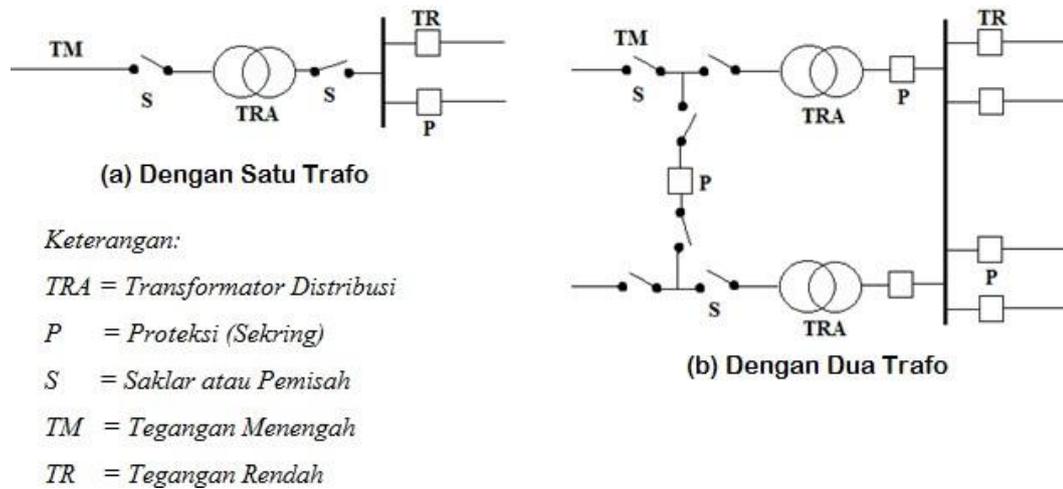
Yaitu jaringan yang memiliki alternatif pasokan tenaga listrik bila terjadi gangguan. Sehingga wilayah yang mengalami pemadaman (*black-out*) dapat dikurangi atau bahkan dihindari. (Doloksaribu, 2010)



Gambar 2.4 Pola jaringan distribusi dasar

2.2.4. Gardu Distribusi

Gardu distribusi pada dasarnya adalah tempat untuk memasang transformator distribusi bersama dengan peralatan. Sebagaimana diketahui, trafo distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 220/380 V atau dapat dikatakan bahwa trnsaformator distribusi merupakan penghubung antara jaringan tegangan menengah dan tegangan rendah. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa di dalam gardu distribusi akan "masuk" saluran tegangan menengah, dan "keluar" saluran tegangan rendah. (PT. PLN Buku 4, 2010)



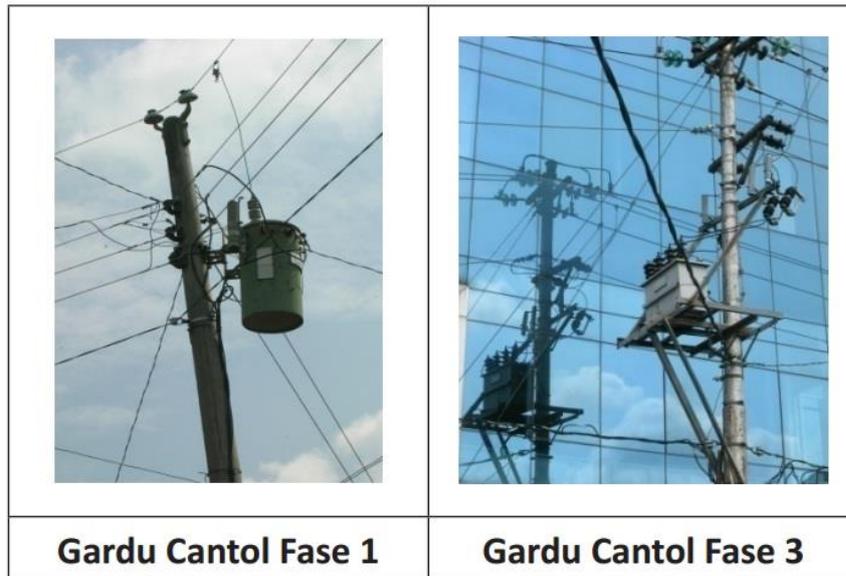
Gambar 2.5 Skema gardu distribusi

Sebagian besar gardu distribusi hanya berisi 1 trafo seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5(a). Kabel tegangan menengah memasuki gardu induk dan melalui sakelar atau pemisah terhubung ke transformator. Sakelar atau pemisah pada sisi tegangan rendah sering tidak dipasang, dan langsung terhubung ke proteksi yang berupa sekring.

Gardu distribusi yang lebih besar dapat berisi dua transformator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5(b). Pada sisi tegangan menengah terdapat kabel masuk (*in*) dan kabel keluar (*out*). Ini diperlukan ketika gardu induk tidak berada di ujung kabel, dan itulah yang terjadi pada Gambar 2.5(a). Pemilihan lokasi gardu distribusi harus sedemikian rupa sehingga memiliki jarak jangkauan yang optimal.

1. Gardu Distribusi Tipe Tiang Cantol

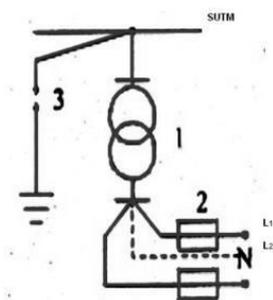
Pada gardu distribusi tipe cantol, transformator yang digunakan adalah transformator dengan daya ≤ 100 kVA 3 phase atau 1 phase. Transformator terpasang adalah jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu, peralatan switching dan proteksi sepenuhnya dipasang di tangki transformator.



Gambar 2.6 Gardu distribusi tipe cantol

Peralatan proteksi transformator tambahan LA (Lightning Arrester) dipasang secara terpisah dengan konduktor pembumiannya yang terhubung langsung ke badan transformator. Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) maksimal 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (tipe NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua Bagian Konduktif Terbuka (BKT) dan Bagian Konduktif Ekstra (BKE) dihubungkan oleh pembumian sisi tegangan rendah.

Gardu cantol adalah jenis gardu listrik dengan transformator yang terpasang pada tiang listrik dengan kekuatan tiang minimal 500 daN. Instalasi gardu induk dapat berupa, yaitu: *Cut out fused*, *lighting arrester* dan panel PHB tegangan rendah dengan 2 jurusan atau transformator *Completely Self Protected* (CSP - Transformer). Berikut ini adalah bagan satu garis gardu distribusi tipe tiang cantol.



Keterangan :

1. Transformator Distribusi
2. Sirkuit Akhir 2 Phase
3. Lighting Arrester

Gambar 2.7 Bagan satu garis gardu distribusi tipe tiang cantol

2. Gardu Distribusi Sisipan

Gardu distribusi sisipan adalah gardu tambahan yang dibuat oleh PT. PLN (Persero) untuk menanggulangi berbagai kerugian yang diakibatkan oleh transformator pada gardu sebelumnya. Beberapa faktor yang menjadi pertimbangan PT PLN (Persero) untuk menambah transformator atau gardu sisipan adalah :

a. Transformator sebelumnya sudah kelebihan beban (*overload*)

Overload terjadi karena beban yang melekat pada transformator melebihi kapasitas maksimum ($\geq 90\%$ dari kapasitas) yang dapat dipikul trafo dimana arus beban melebihi arus beban penuh (*full load*) dari transformator. *Overload* akan menyebabkan trafo menjadi panas dan kawat tidak bisa lagi menahan beban, sehingga timbul panas berlebih yang mengakibatkan suhu belitan naik. Peningkatan suhu ini menyebabkan kerusakan isolasi belitan pada kumparan transformator.

b. Besarnya drop tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

Menurut SPLN No. 74 tahun 1987, jatuh tegangan yang diperbolehkan selama konduktor SR adalah 2%. Dengan catatan dalam hal ini SR diperhitungkan dari titik penghubung pada STR. Khusus untuk sambungan langsung papan untuk TR di gardu transformator, jatuh tegangan diperbolehkan maksimal 5%.

3. Gardu Distribusi Tipe Portal

Gardu tipe portal (gardu tiang), yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindung atau penyangganya terbuat dari tiang. Dalam hal ini transformator distribusi terletak di bagian atas tiang. Karena trafo distribusi terletak di bagian atas tiang, maka gardu tiang hanya dapat melayani daya listrik yang terbatas, mengingat berat trafo yang relatif tinggi, sehingga tidak mungkin untuk menempatkan transformator berkapasitas besar di bagian atas tiang (± 5 meter di atas tanah). Untuk gardu tiang dengan transformator fase tunggal kapasitas yang ada maksimal 50 KVA, sedangkan gardu tiang dengan trafo tiga fase memiliki kapasitas maksimal 250 kVA. Ada dua macam trafo tiga fasa untuk gardu tiang, yaitu trafo 1x3phase dan trafo 3x1fasa. Gambar 2.8 menunjukkan gardu distribusi tiang tipe portal

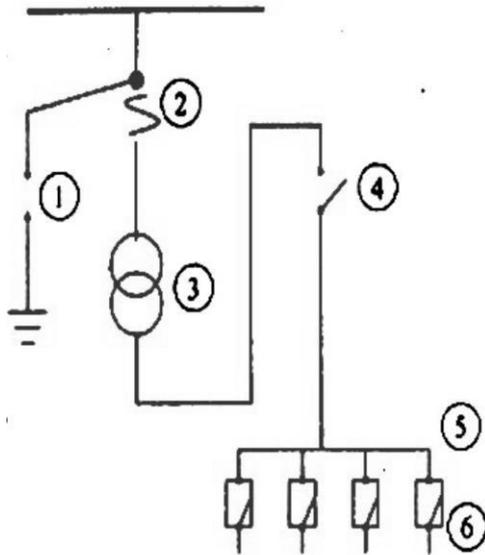
lengkap dengan perlengkapan proteksinya dan panel distribusi tegangan rendah yang terletak di bagian bawah tiang (tengah).

Gardu portal merupakan gardu listrik tipe terbuka (*outdoor*) yang menggunakan konstruksi tiang/menara dengan posisi trafo minimal 3 meter di atas peron. Umumnya menggunakan tiang beton ukuran 2x500 daN.



Gambar 2.8 Tiang portal dan panel distribusi

Peralatan peralatan di gardu distribusi tiang portal terdiri dari *Fuse Cut Out* (FCO), *Lighting Arrester* (LA), transformator distribusi, Satu lemari PHB tegangan rendah maksimum 4 maksimum 4 jurusan, *NH Fuse* dan fulcrum atau isolator gantung. Di bawah ini adalah bagan satu garis pada gardu distribusi tipe tiang portal.



Keterangan :

1. Lighting Arrester (LA)
2. Fuse Cut Out (FCO)
3. Transformator Distribusi
4. Sakelar beban tegangan rendah
5. PHB tegangan rendah
6. Sirkuit keluar dengan NH Fuse

Gambar 2.9 Bagan satu garis gardu distribusi tipe tiang portal

4. Gardu Distribusi Beton

Yakni gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari beton (campuran pasir, batu dan semen). Gardu beton termasuk dalam gardu induk tipe pasangan dalam (*inner pair*), karena pada umumnya semua peralatan penghubung/pemutus, pemisah dan transformator distribusi terletak di dalam bangunan beton. Dalam konstruksinya, semua peralatan tersebut dirancang dan dipasang di lokasi sesuai dengan ukuran bangunan gardu. Gambar 2.10 dan 2.11 menunjukkan sebuah gardu distribusi konstruksi beton. (PT. PLN Buku 4, 2010)



Gambar 2.10 Gardu Beton



Gambar 2.11 Kubikel dan rak Tegangan Rendah pada gardu beton

2.2.5. Prinsip Kerja Transformator

Transformator ialah salah satu komponen elektrik yang sederhana dan andal, serta efisien yang berfungsi untuk mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat lainnya dengan frekuensi yang sama. Trafo berfungsi untuk mengubah daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama dengan menggunakan prinsip elektromagnetik. Transformator yang digunakan dalam sistem distribusi adalah transformator distribusi. Selain itu, ada jenis transformator lain yang banyak digunakan, dan umumnya transformator yang jauh lebih kecil seperti transformator yang digunakan dalam elektronik. (Yunus & Suyamto, 2017)

Secara umum konstruksi transformator terdiri dari dua kumparan dan satu induktansi mutual. Kumparan primer yang menerima daya dan kumparan sekunder yang terhubung ke beban. Kedua kumparan dililit pada suatu inti besi yang terdiri dari material magnetik berlaminasi. (Nair, 2021)

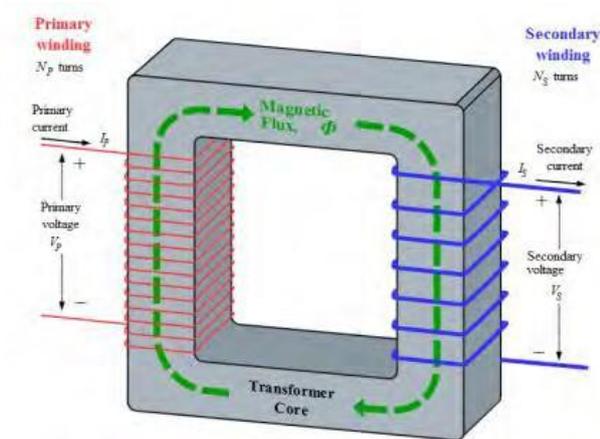
Trafo menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum induksi ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat menghasilkan medan magnet dan perubahan medan magnet/fluks dapat menghasilkan tegangan induksi. (E S Nasution et al., 2021)

Arus AC yang mengalir pada belitan primer menghasilkan fluks magnetik yang mengalir melalui inti besi antara kedua belitan tersebut, fluks magnetik akan

menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terjadi perbedaan potensial/tegangan induksi. (Darsono et al., 2012)

$$e = -N \frac{d\phi}{dt}$$

Ket : e = gaya gerak listrik (volt)
 N = jumlah lilitan (turn)
 $\frac{d\phi}{dt}$ = perubahan fluks magnet (weber/sec)



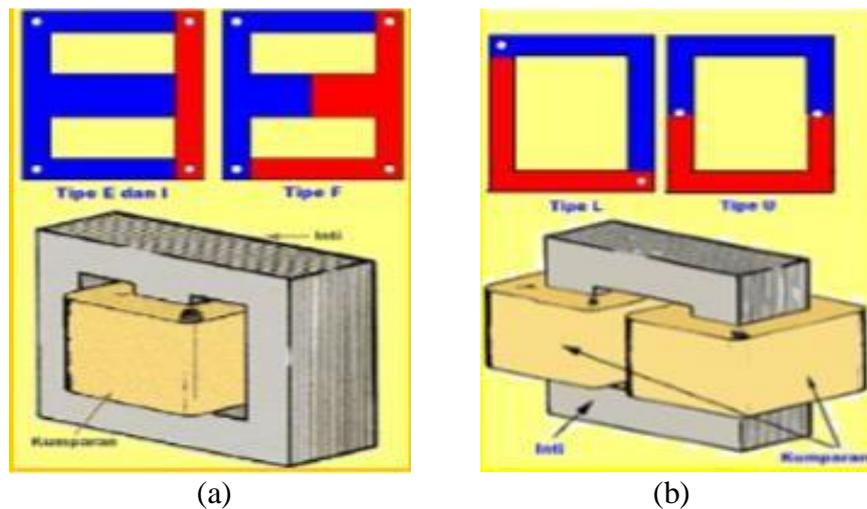
Gambar 2.12 Prinsip kerja transformator

Perbandingan/ rasio tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus (sama) dengan perbandingan/ rasio jumlah belitan dan berbanding terbalik(tidak sama) dengan rasio arus. (Sogen, 2018)

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

Ket : V_p = Tegangan Primer (V)
 V_s = Tegangan Sekunder (V)
 N_p = Jumlah Lilitan Primer (Turn)
 N_s = Jumlah Lilitan Sekunder (Turn)
 I_p = Arus Primer (A)
 I_s = Arus Sekunder (A)

Berdasarkan dari cara melilitkan kumparan pada core magnetic (inti besi), dikenal dua jenis transformator, yakni tipe inti (*core type*) dan tipe cangkang (*shell type*). Pada trafo tipe *core type* (Gambar 2.13(a)), kumparan mengelilingi inti dan pada umumnya inti transformatornya berbentuk huruf E, huruf I, atau huruf F. Kumparan pada inti diletakkan secara berhimpitan antara kumparan primer dengan sekunder. Biasanya kumparan tegangan tinggi diletakkan di sebelah luar karena mempertimbangkan kompleksitas cara isolasi tegangan pada kumparan. Sedangkan pada trafo tipe *shell type* (Gambar 2.13(b)), kumparan dikelilingi inti dan pada umumnya inti transformator berbentuk huruf L atau U. Untuk menyusun inti besi menjadi berbentuk huruf pada transformator tipe *core type* maupun tipe *shell type*, Inti besi transformator ini disusun secara berlapis – lapis (laminasi), bukan berupa besi pejal. (Sogen, 2018)



Gambar 2.13 (a) Transformator tipe inti dan (b) Tipe cangkang

Tujuan utama dari penyusunan inti secara berlapis ini ialah untuk mengurangi rugi – rugi energi akibat “*Eddy Current*” (arus pusar). Bila disusun secara laminasi seperti ini, maka dapat mengurangi ukuran jerat induksi yang berakibat terjadinya rugi energy di dalam inti. Proses penyusunan inti transformator biasanya dilakukan setelah proses pembuatan lilitan kumparan transformator pada rangka (koker) selesai dilakukan. (Elvy Sahnur Nasution et al., 2019)

2.2.6. Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan satu peralatan pendistribusian tenaga listrik yang berperan untuk mengubah daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah yang kemudian disalurkan ke konsumen. Transformator distribusi yang sering digunakan ialah trafo *step down* 20 kV / 400 kV 1 phasa dan 3 phasa. Tegangan phasa ke phasa dalam sistem JTR (Jaringan Tegangan Rendah) ialah 380 volt. Pada kumparan sekunder transformator, tegangan dibuat lebih dari 380 volt. Hal tersebut disebabkan karena adanya drop tegangan. Sehingga dengan adanya tegangan yang dibuat berlebih ini, penerima yang berada diujung mendapatkan tegangan tidak lebih kecil dari 380 volt.

Penempatan trafo distribusi untuk instalasi *outdoor* (gardu pasangan luar) umumnya dipasang di atas tiang, dengan menggunakan satu tiang untuk gardu cantol dan dua tiang untuk gardu portal. Dan pada instalasi indoor (gardu pasangan dalam), trafo di lantai yang lantainya disemen atau dicor dengan beton dalam sebuah ruangan.

Transformator distribusi memiliki dua tipe, yaitu trafo distribusi 1 phasa dan 3 phasa. Menurut karakteristiknya, trafo distribusi dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu transformator konvensional, *Completely Self Protecting Transformer* (CSP), *Completely Self Protecting For Secondary Banking Transformer* (CSPB). (Kodoati et al., 2015)

1. Transformator Distribusi 1 Phase

Trafo distribusi dirangkai dan dioperasikan dengan 3 trafo 1 phase yang tipenya sama (identik). Pengoperasian trafo 3 x 1 phase seperti ini memiliki kelebihan yaitu pada kumparan primer dan sekundernya dapat dibuat beberapa vector grup sesuai yang diinginkan. Ketiga trafo ini juga dapat digunakan ke beban menjadi 1 phasa (dihubungkan paralel karena ketiga trafo tersebut identik), dan tegangan pada tiap phasanya (primer maupun sekunder) seimbang. Adapun kekurangannya yaitu, dengan daya yang sama untuk ketiga phasa, maka phasa untuk 3 x 1 phasa dibanding dengan 1 x 3 phasa lebih berat dan lebih mahal



Gambar 2.14 Transformator Distribusi 1 Phasa

2. Transformator Distribusi 3 Phase

Konstruksi pada transformator distribusi 3 phasa sudah dirancang permanen dari pabrik pembuatannya. Trafo ini dapat digunakan untuk mensuplai beban 1 phasa, maka tiap phasa hanya dapat menanggung beban maksimal sepertiga dari daya tiga phasa. Kelebihannya ialah trafo ini lebih ringan dan juga lebih murah karena bahan materialnya lebih kecil. Adapaun kekurangannya ialah keseimbangan tegangan tiap phasanya (primer dan sekunder) tidak terlalu simetris.



Gambar 2.15 Transformator Distribusi 3 Phasa

3. Transformator Konvensional

Pada transformator distribusi tipe ini tidak memiliki peralatan proteksi terhadap sambaran petir maupun proteksi terhadap gangguan yang disebabkan beban lebih sebagai satu kesatuan dengan unit transformator. Peralatan proteksi seperti LA dan FCO tersebut dipasang terpisah (tidak *include* pada transformator). Untuk daya yang tidak terlalu besar, tipe ini dipasang dalam bentuk pasangan luar (*outdoor*). Sedangkan untuk daya yang relatif besar dipasang dalam bentuk pasangan dalam (*indoor*).



Gambar 2.16 Transformator Konvensional

4. *Completely Self Protecting Transformer (CSP)*

Pada tipe ini transformator memiliki peralatan pengaman sendiri terhadap gangguan petir, beban lebih, hubung singkat, dan gelombang surja. Sebagai proteksi terhadap petir, lightning arrester langsung terpasang pada tangki trafo. Fuse juga telah terpasang di dalam tangki trafo sebagai pengaman beban lebih, fuse ini disebut *weak link*. Pengaman trafo terhadap gangguan internal menggunakan hubungan pengaman internal yang dipasang antara bushing kumparan primer dan sekunder.



Gambar 2.17 Transformator distribusi CSP

5. *Completely Self Protecting For Secondary Banking Transformer (CSPB)*

Tipe ini punya kemiripan dengan tipe *CSP transformer*. Tetapi pada tipe ini memiliki sebuah proteksi tambahan, yaitu terdapat *circuit breaker* pada sisi sekunder. Sebelum weak link melebur, *circuit breaker* ini akan membuka. Trafo dengan tipe ini dirancang untuk cadangan pelayanan kedua agar pelayanan terhadap konsumen tidak terganggu bila terjadi kesalahan/ gangguan pada transformator. (Tondok et al., 2019)



Gambar 2.18 Transformator distribusi CSPB

2.2.7. Komponen Transformator Distribusi

Transformator distribusi terbuat dari berbagai macam komponen. Berikut merupakan komponen utama pada suatu transformator

1. Inti Besi (*Core Magnetik*)

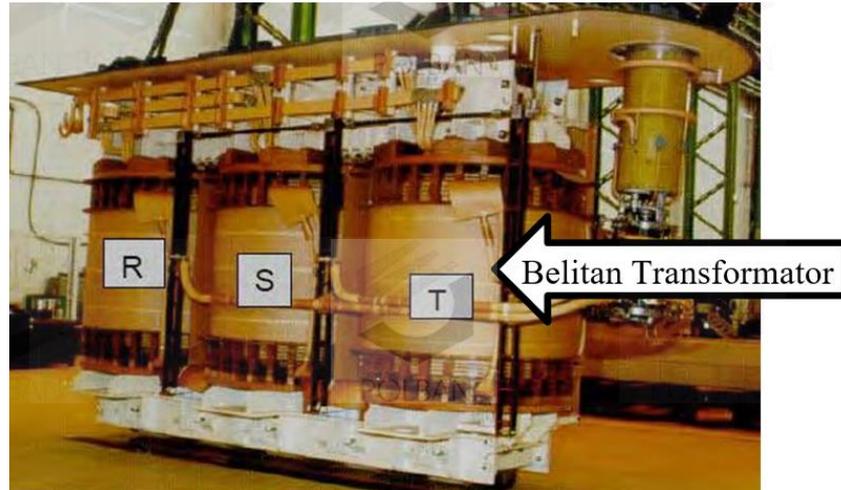
Inti besi pada transformator berfungsi sebagai media untuk jalannya fluksi magnetik yang ditimbulkan oleh adanya induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali kumparan yang lain. Dibuat dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, untuk mengurangi panas (sebagai rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh Eddy Current.. Inti besi transformator ditunjukkan oleh gambar 2.19 berikut.



Gambar 2.19 Core Magnetik Transformator Distribusi

2. Belitan/ Kumparan (*Current Carrying Circuit*)

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan. Kumparan ini terdiri dari batang aluminium dan/ atau batang tembaga berisolasi yang mengelilingi inti besi, dimana saat arus bolak-balik mengalir pada belitan konduktor tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan fluks magnetik. Kumparan ini juga berfungsi sebagai transformasi tegangan dan arus.



Gambar 2.19 Belitan/ Kumbaran Transformator Distribusi

3. Tangki dan Konservator Transformator

Fungsi dari tangki transformator ialah untuk melindungi komponen-komponen di dalamnya dari gangguan luar serta untuk menyimpan minyak di dalam transformator. Ukuran dari tangki transformator juga bervariasi, disesuaikan dengan ukuran inti besi dan kumparan transformator. Tangki transformator juga umumnya dibuat bersirip-sirip yang berfungsi sebagai bagian dari sistem pendingin eksternal transformator. Luas permukaan dari sirip-sirip trafo ini merupakan salah satu faktor yang menentukan efektivitas pendinginan. Ukuran serta jumlah sirip dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menurunkan suhu saat transformator sedang beroperasi. Dalam proses pendinginan terjadi pertukaran panas antara tangki transformator yang bersuhu tinggi dengan sirip-sirip yang melepas panas karena adanya aliran/ sirkulasi udara.

Pada umumnya konservator ialah bagian dari trafo yang juga terendam minyak yang ditempatkan dalam tangki. Konservator ini berfungsi untuk menampung pemuaian minyak transformator. Saat ini tidak semua jenis daya transformator dilengkapi dengan konservator. Biasanya hanya transformator dengan kapasitas daya yang relatif besar saja yang dilengkapi dengan konservator.



Gambar 2.20 Tangki dan Konservator Transformator

4. *Bushing*

Bushing merupakan media penghubung antara kumparan transformator dengan jaringan di luar transformator. *Bushing* terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator ini berfungsi sebagai sekat antara konduktor bushing dengan badan tangki utama transformator. Bushing memiliki beberapa bagian dan secara garis besar dibagi menjadi 4 bagian utama, yakni konduktor, isolasi, klem koneksi, dan asesoris. Isolasi pada *bushing* terdiri dari dua jenis yaitu *resin impregnated paper* dan *oil impregnated paper*. Pada tipe *resin impregnated paper* isolasi yang digunakan merupakan kertas isolasi dan resin. Sedangkan pada tipe *oil impregnated paper* isolasi yang digunakan merupakan kertas isolasi. *Bushing* pada transformator distribusi memiliki berbagai macam bentuk dan ukuran. Pada gambar 2.21 menunjukkan contoh gambar dari *bushing* pada transformator distribusi.



(a)



(b)

Gambar 2.21 (a) *Low Voltage Bushing* (b) *High Voltage bushing*

5. Isolasi Kertas Isolasi dan Minyak Isolasi Transformator (*Dielectric*)

Isolasi kertas transformator digunakan sebagai isolasi pada kumparan transformator. Kertas isolasi juga berfungsi sebagai pemberi jarak antar kumparan serta jarak antar kumparan ke tangki. Kertas isolasi ini juga memiliki kemampuan mekanis.

Minyak isolasi pada trafo merupakan salah satu bahan isolasi cair yang berfungsi sebagai pelindung, pendingin, dan media isolasi belitan dan oksidasi. Sebagai bagian dari bahan isolasi, minyak harus memiliki kemampuan untuk menahan tegangan tembus. Sebagai bahan isolasi, minyak transformator memiliki beberapa kekentalan, hal ini sebagaimana dijelaskan dalam SPLN (49-1:1980). Adapun beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh minyak transformator antara lain kejernihan, massa jenis, tegangan tembus, kandungan air, dan lainnya. Sedangkan sebagai pendingin, minyak transformator harus mampu meredam panas yang ditimbulkan. Sehingga dengan kedua kemampuan ini maka minyak pada transformator diharapkan mampu melindungi transformator dari gangguan.

Secara umum minyak trafo merupakan minyak mineral yang terbagi menjadi tiga jenis, yaitu aromatic, parafinik, dan nepthanik. Diantar ketiga jenis ini tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat maupun kandungan kimia yang berbeda. Suhu pada transformator yang sedang

beroperasi dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, *losses* pada transformator itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator. Oleh karena itu, pendinginan yang efektif sangat diperlukan. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip-sirip radiator. Proses pendinginan ini juga dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan sirkulasi efisiensi pendinginan. Macam – macam pendingin pada transformator disajikan dalam tabel 2.1 berikut ini. (Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1 Pustaka, 2008)

Tabel 2.1 Macam-macam pendingin pada Transformator

No	Macam Sistem Pendinginan	Media			
		Dalam Transformator		Di luar Transformator	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1.	AN	-	-	Udara	-
2.	AF	-	-	-	Udara
3.	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5.	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6.	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7.	OFWF	-	Minyak	-	Air
8.	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9.	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10.	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11.	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

Keterangan :

- a. ONAN (*Oil Natural-Air Natural*) merupakan transformator yang menggunakan minyak sebagai pendingin belitan yang bersikulasi alami dan menggunakan udara sebagai pendingin luar transformator yang bersikulasi alami.
- b. ONAF (*Oil Natural-Air Force*) adalah pendinginan transformator dengan minyak sebagai pendingin belitan yang bersikulasi alami dan udara sebagai pendingin luar yang bersikulasi secara paksa menggunakan kipas, dan sebagainya.
- c. OFAF (*Oil Force-Air Force*) merupakan jenis pendinginan transformator dengan minyak sebagai pendingin kumparan yang bersikulasi paksa dan dengan udara sebagai pendingin luar transformator yang bersikulasi paksa.
- d. OFWF (*Oil Forced-Water Forced*) merupakan pendinginan transformator dengan minyak sebagai pendingin kumparan transformator yang bersikulasi paksa dan air sebagai pendingin luar transformator yang bersikulasi paksa.



(a)

(b)

Gambar 2.22 (a) Minyak Transformator (b) Kertas Isolasi Transformator

6. Tap Changer

Kualitas tegangan dapat dinilai dari kestabilan tegangan dalam suatu jaringan. Transformator diharuskan memiliki nilai tegangan keluaran (*output*) yang stabil dengan besaran tegangan masuk (*input*) yang tidak selalu sama. Dengan mengubah jumlah lilitan pada sisi primer diharapkan dapat merubah rasio antara belitan dan sekunder agar tegangan keluaran (*output*) relatif konstan. Penyesuaian rasio belitan ini dapat diaplikasikan dengan menggunakan tap changer. (IEC, 2004) (ISO 21388 (putaran optic), 2014)

Tap changer berfungsi untuk menjaga tegangan keluaran (*output*) yang diinginkan dengan tegangan masuk (*input*) yang berubah-ubah. Proses perubahan rasio belitan ini dapat dilakukan pada saat transformator sedang berbeban (*on load tap changer*) atau saat transformator tidak berbeban (*off load tap changer*). Berikut merupakan bagian dari tap changer. (Dhuha & Amien, 2015)

a. Selector Switch

Selector Switch ialah rangkaian mekanis yang terdiri dari terminal-terminal untuk menentukan posisi tap atau rasio belitan primer.

b. Diverter Switch

Diverter switch ialah rangkaian mekanis yang dirancang untuk melakukan kontak atau melepaskan kontak dengan kecepatan yang relatif tinggi.

c. Tahanan Transisi

Tahanan transisi ialah tahanan sementara yang akan dilewati arus primer pada tiap perubahan tap. Karena aktivitas tap changer lebih dinamis dibandingkan dengan belitan utama dan inti besi, maka kompartemen antara belitan utama dengan tap changer dipisah. (Harahap & Pakpahan, 2018)



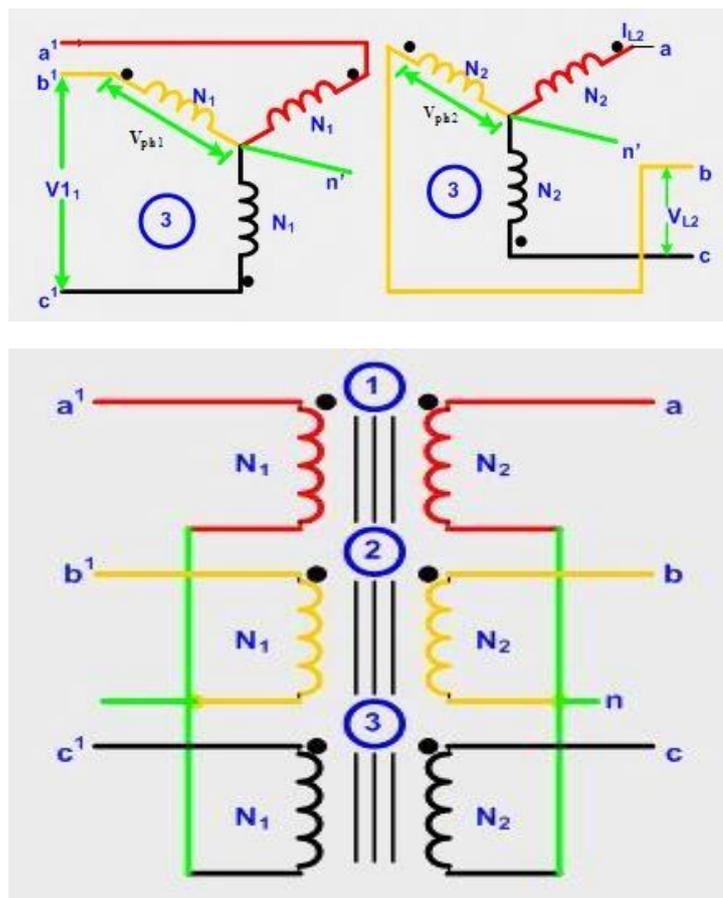
Gambar 2.23 Tap Changer Pada Transformator

2.2.8. Hubungan Belitan Trafo 3 Phasa

Pada umumnya dikenal 3 (tiga) hubungan atau metode merangkai kumparan di sisi primer dan sekunder pada trafo tiga phasa, yaitu hubungan bintang (Y), hubungan delta (Δ), dan hubungan zig-zag. (Andriani et al., 2018)

2. Hubungan Bintang Bintang (Y-Y)

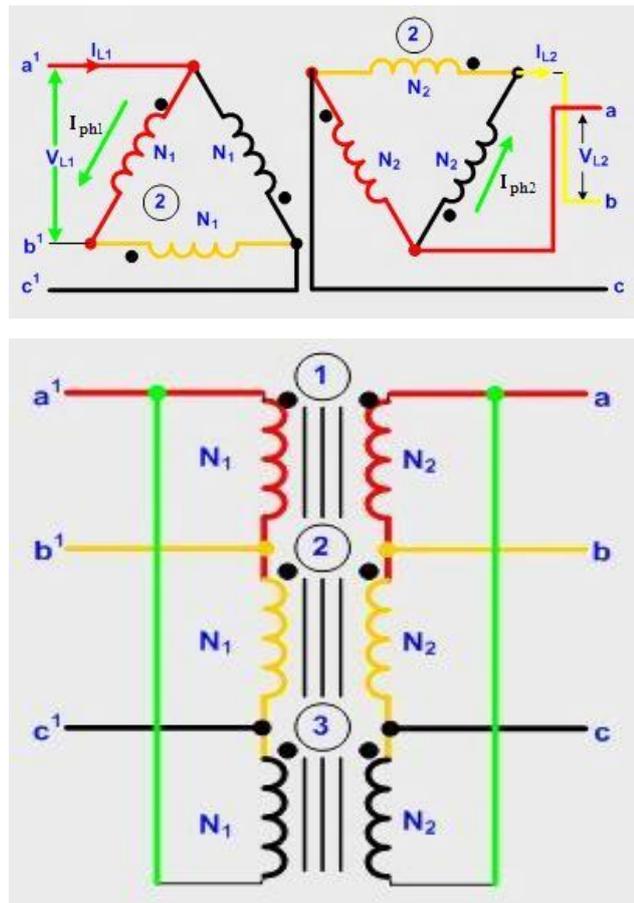
Pada jenis ini ujung ujung pada masing masing terminal dihubungkan secara bintang. Titik netral dijadikan menjadi satu. Hubungan dari tipe ini lebih ekonomis untuk arus nominal yang kecil, pada transformator tegangan tinggi Jumlah dari lilitan perfasa dan jumlah isolasi minimum karena tegangan fasa tegangan jala-jala (Line), juga tidak ada perubahan fasa antara tegangan primer dengan sekunder. Bila beban pada sisi sekunder dari transfor-mator tidak seimbang, maka tegangan fasa dari sisi beban akan berubah kecuali titik bintang dibumikan. (Supriyadi, 2017)



Gambar 2.24 Hubungan Bintang – Bintang

3. Hubungan Segitiga – Segitiga ($\Delta - \Delta$)

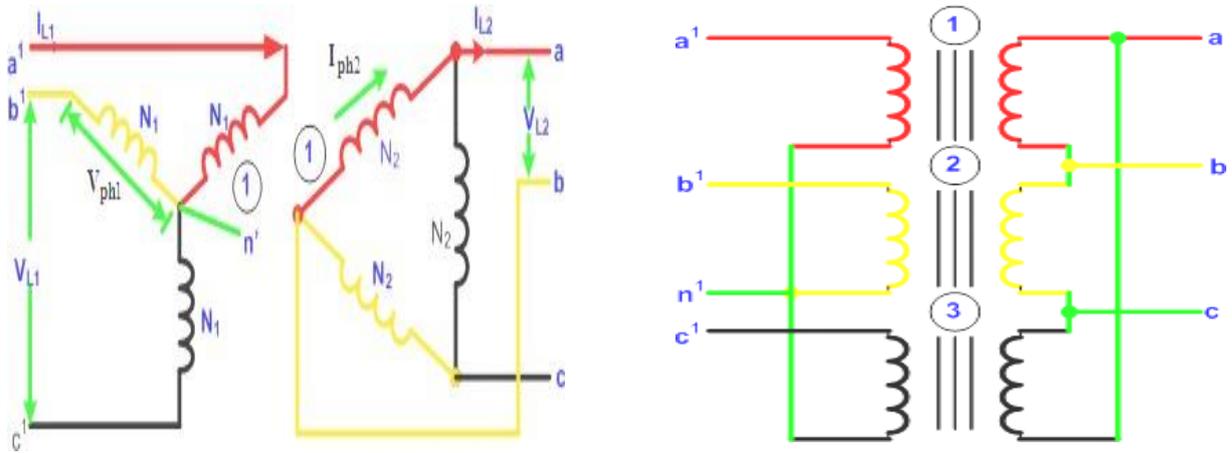
Pada jenis ini ujung fasa dihubungkan dengan ujung netral kumparan lain yang secara keseluruhan akan terbentuk hubungan delta/ segitiga. Hubungan ini umumnya digunakan pada sistem yang menyalurkan arus besar pada tegangan rendah dan yang paling utama saat keberlangsungan dari pelayanan harus dipelihara meskipun salah satu fasa mengalami kegagalan. (Supriyadi, 2017)



Gambar 2.25 Hubungan Bintang – Bintang

4. Hubungan Bintang – Segitiga ($Y - \Delta$)

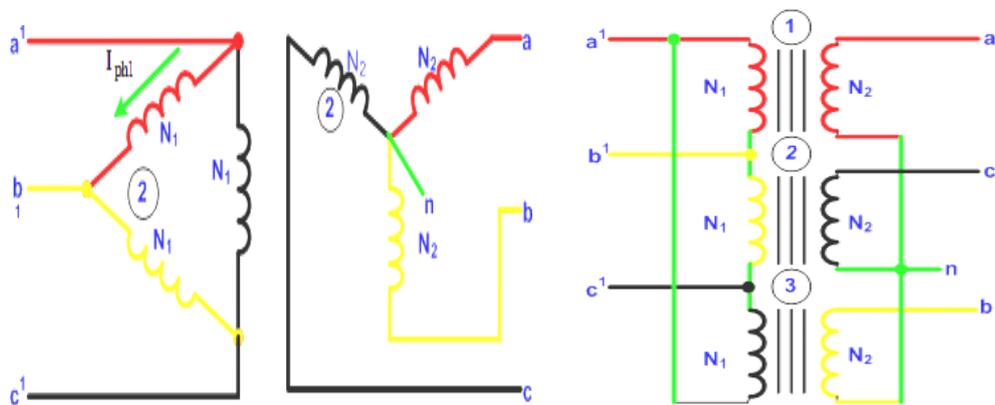
Pada hubung ini, kumparan pada sisi primer di rangkai secara bintang (wye) dan sisi sekundernya di rangkai segitiga. Umumnya digunakan pada transformator untuk jaringan transmisi dimana tegangannya akan diturunkan (Step- Down). Pada hubungan ini, perbandingan tegangan jala-jala $\frac{1}{\sqrt{3}}$ kali perbandingan lilitan transformator dan tegangan sekunder tertinggal 30° dari tegangan primer. (Supriyadi, 2017)



Gambar 2.26 Hubungan Bintang – Segitiga

4. Hubungan Segitiga – Bintang (Δ -Y)

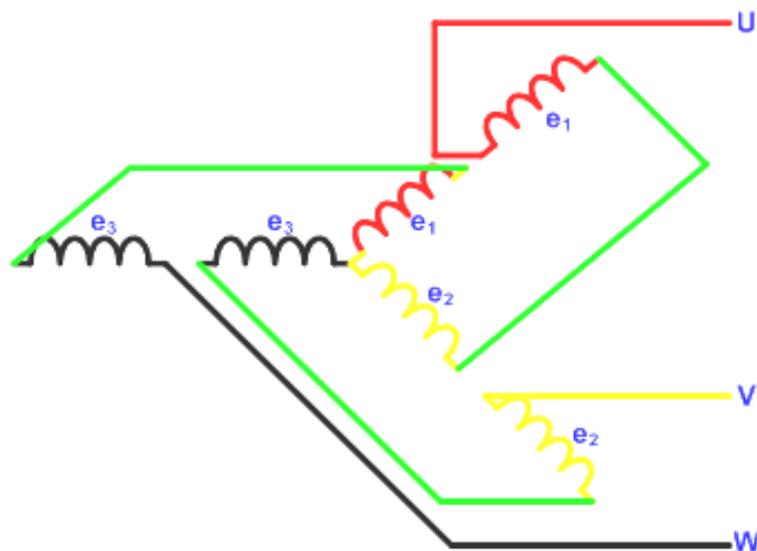
Pada hubungan ini, sisi primer transformator dirangkai secara segitiga. Sedangkan pada sisi sekundernya merupakan rangkaian bintang sehingga pada sisi sekundernya terdapat titik netral. Biasanya digunakan untuk menaikkan tegangan (*Step - up*) pada awal sistem transmisi tegangan tinggi. Dalam hubungan ini perbandingan tegangan $\sqrt{3}$ kali perbandingan lilitan transformator dan tegangan sekunder mendahului sebesar 30° . (Supriyadi, 2017)



Gambar 2.27 Hubungan Segitiga – Bintang

5. Hubungan Zig – Zag

Kebanyakan transformator distribusi selalu dihubungkan bintang, salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh transformator tersebut adalah ketigafasanya harus diusahakan seimbang. Apabila beban tidak seimbang akan menyebabkan timbulnya tegangan titik bintang yang tidak diinginkan, karena tegangan pada peralatan yang digunakan pemakai akan berbeda-beda. Untuk menghindari terjadinya tegangan titik bintang, diantaranya adalah dengan menghubungkan sisi sekunder dalam hubungan Zig-zag. Dalam hubungan Zig-zag sisi sekunder terdiri atas enam kumparan yang dihubungkan secara khusus. Ujung-ujung dari kumparan sekunder disambungkan sedemikian rupa, supaya arah aliran arus didalam tiap-tiap kumparan menjadi bertentangan. (Supriyadi, 2017)



Gambar 2.27 Hubungan Zig – Zag

2.2.9. Pengujian Pada Transformator

Menurut Standar Perusahaan Listrik Negara D3.002-1: 2020 (SPLN D3.002-1: 2020), semua sistem pengukuran yang digunakan pada pengujian-pengujian harus bersertifikat, terkalibrasi periodic dan tertelusur sesuai aturan yang tertuang dalam ISO 9001. Macam pengujian pada setiap klasifikasi pengujian tercantum pada di bawah ini. .(Distribusi, 2020).

Tabel 2.2 Macam – Macam Pengujian

No.	Mata uji	Metoda uji / acuan	Rutin	Jenis	Serah terima
1	2	3	4	5	6
1.	Pemeriksaan dimensi/konstruksi transformator <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pemeriksaan dimensi ▪ Pemeriksaan konstruksi ▪ Pemeriksaan lengkapan ▪ Pengukuran jarak udara dan jarak rambat bushing ▪ Pengujian berat 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pasal 7 ▪ Spesifikasi pabrik ▪ Pasal 7 ▪ Pasal 8 ▪ IEC 60076-3 ▪ Sub-pasal 8.1.3 dan 8.1.6 ▪ Sub-pasal 7.1.3 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓ ✓ - 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓ ✓ ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ✓ ✓ ✓ -
2	Pengukuran tahanan belitan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IEC 60076-1, sub pasal10.2 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓
3	Pengukuran rasio tegangan dan pemeriksaan kelompok vektor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IEC 60076-1, sub pasal10.3 ▪ Deviasi pada nominal tapping adalah nilai terkecil (10 % x impedansatau 0,5 %) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓
4	Pengukuran rugi berbeban dan tegangan impedans	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sub pasal 6.6 dan 6.7 ▪ IEC 60076-1, sub-pasal10.4 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓
5	Pengukuran rugi dan arus tanpa beban	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sub pasal 6.6 ▪ IEC 60076-1, sub pasal10.5 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓
6	Pengujian ketahanan tegangan frekuensi-daya	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sub pasal 6.8 ▪ IEC 60076-3 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓
7	Pengujian tegangan lebih induksi	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IEC 60076-3 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓

No.	Mata uji	Metoda uji / acuan	Rutin	Jenis	Serah terima
1	2	3	4	5	6
8.	Pengukuran tahanan insulasi	▪ IEC 60076-3	✓	✓	✓
9.	Pengujian Load rejection (untuk trafo YNd5)	▪ IEC 60076-1 ▪ Pengulangan item uji no 2-8 dengan kondisi baik	-	✓	-
10	Pengujian ketahanan tegangan impuls petir	▪ IEC 60076-3 ▪ IEC 60076-4	-	✓	-
11	Pengujian kenaikan suhu	▪ Sub-pasal 6.9 ▪ IEC 60076-2 ▪ Tekanan maksimum 0,3 bar	-	✓ ¹⁾	-
12	Pengujian tingkat bising	▪ IEC 60076-10 ▪ Sub pasal 6.10	-	✓	-
13	Pengujian ketahanan hubung-singkat Kemampuan termal Kemampuan dinamik	▪ IEC 60076-5, sub pasal 4.1 ▪ IEC 60076-5, sub pasal 4.2 ▪ Pasak dan struktur penyangga belitan tidak kendur atau lepas	- -	✓ ✓	- -
13	Pengujian tegangan tembus minyak	▪ Sub pasal 7.5.3	✓ ³⁾	-	✓ ³⁾
14	Pengujian kebocoran tangki	▪ Sub pasal 7.6.11	✓ ²⁾	✓	✓ ²⁾
15	Pengujian enerjais tanpa beban	▪ Durasi uji = 24 jam	-	-	-
16	Pengujian cross hatch	ISO 2409	-	✓	✓
17	Pengujian korosi garam	▪ ISO 7253 dengan durasi 480 jam ▪ Setelah pengujian tidak boleh terlihat ada tanda karat dan cat tidak boleh terkelupas	-	✓	-

CATATAN:

1. Setelah pengujian kenaikan suhu, transformator harus mampu dienerjais tanpa beban pada 105% tegangan pengenal selama 2 jam.
2. Dapat dilakukan dengan waktu uji lebih singkat.
3. tegangan tembus minyak $\geq 50 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$.

Pengujian transformator dilaksanakan menurut SPLN D3. 002-1:2020 (Rev SPLN D3. 002-1:2007, SPLN 50:1997, dan SPLN 50:1982) dengan melalui tiga macam pengujian, sebagaimana diuraikan juga dalam IEC 60076, yaitu :

1. Pengujian Rutin

Pengujian rutin ialah pengujian yang dilakukan terhadap setiap transformator, meliputi :

A. Pengujian tahanan isolasi

Pengukuran tahanan isolasi dilakukan diawal pengujian bertujuan untuk mengetahui secara dini kondisi isolasi transformator, untuk menghindari kegagalan yang fatal dan pengujian selanjutnya, pengukuran dilakukan antara :

- a. Tahanan isolasi antara kumparan fase
- b. Tahanan isolasi antara kumparan primer dan kumparan sekunder
- c. Tahanan isolasi antara tangka dengan tanah (khusus untuk transformator yang memakai pengaman tangka)

Harga tahanan isolasi ini digunakan untuk kriteria kering tidaknya transformator, juga untuk mengetahui apakah ada bagian-bagian yang terhubung singkat

Berdasarkan IEC standar, ketentuan tahanan isolasi adalah :

$$1 \text{ kV} = 1\text{M ohm}$$

Catatan :

1 kV = besar tegangan fase terhadap tanah. Kebocoran arus yang diizinkan setiap kV = 1mA.

B. Pengujian tahanan kumparan

Pengukuran tahanan kumparan ialah untuk mengetahui berapa nilai tahanan listrik pada kumparan yang akan menimbulkan panas bila kumparan tersebut dialiri arus. Nilai tahanan belitan dipakai untuk perhitungan rugi-rugi belitan transformator. Pada saat melakukan pengukuran yang perlu diperhatikan adalah suhu belitan pada saat pengukuran yang diusahakan sama dengan suhu udara sekitar, oleh karenanya diusahakan arus pengukuran kecil. (Rahman, 2007)

Peralatan yang digunakan untuk pengukuran tahanan di atas 1 Ohm adalah *Wheatstone Bridge*, sedangkan untuk tahanan yang lebih kecil dari 1 ohm digunakan *Precision Double Bridge*. Pengukuran dilakukan pada setiap phasa transformator, yaitu antara terminal:

1) Pengukuran pada terminal tegangan tinggi

a) Pada transformator 3 phasa

phasa A - phasa B

phasa B - phasa C

phasa C - phasa A

b) Transformator 1 phasa

Terminal H1-H2 untuk transformator double bushing dan terminal H dengan Ground untuk transformator single bushing dan pengukuran

2) Sisi tegangan rendah

a) Pada transformator 3 phasa

phasa a - phasa b

phasa b - phasa c

phasa c - phasa a

b) Transformator 1 phasa (terminal X1-X4 dengan X2-X3 dihubungkan singkat).

C. Pengujian perbandingan belitan

Pengukuran perbandingan belitan ialah untuk mengetahui perbandingan jumlah kumparan sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah pada setiap tapping, sehingga tegangan output yang dihasilkan oleh transformator sesuai dengan yang dikehendaki, toleransi yang diijinkan adalah:

- 1) 0,5 % dari rasio tegangan atau
- 2) 1/10 dari persentase impedansi pada tapping nominal.

Pengukuran perbandingan belitan dilakukan pada saat semi *assembling* yaitu, setelah *coil* transformator *diassembling* dengan inti besi dan setelah *tap changer* terpasang, pengujian kedua ini bertujuan untuk mengetahui apakah posisi tap transformator telah terpasang secara benar dan juga untuk pemeriksaan *vector group* transformator. Pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan *Transformer Turn Ratio Test* (TTR).

Rasio perbandingan belitan trafo distribusi yang masih baik ditunjukkan dengan hasil pengukuran yang masih berada didalam batas toleransi yang diijinkan, yaitu $\pm 0,5$ % dari rasio tegangan (standard IEC). Berikut merupakan rumus perhitungan hasil rasio perbandingan belitan trafo

$$\text{Rasio} = \frac{V_p \cdot \sqrt{3}}{V_s} \quad \text{atau} \quad \text{Rasio} = \frac{V_p}{V_s / \sqrt{3}}$$

Berikut merupakan contoh perhitungan perbandingan rasio normal belitan trafo pada tap 3 trafo dengan acuan manufaktur SPLN D3.002 : 2020

$$\text{Tap 3} = \frac{20.000}{400/\sqrt{3}} = 86,602$$

Kemudian dihitung besarnya toleransi perbandingan batas maksimal dan minimal trafo, yaitu $\pm 0,5\%$ dari rasio tegangan standard. Sehingga didapatkan :

- Batas maksimal = $86,602 + (86,602 \times 0,5\%) = 87,035$
- Batas minimal = $86,602 - (86,602 \times 0,5\%) = 86,169$

Perhitungan diatas merupakan perhitungan rasio belitan trafo per phasa. Jika sudah dihubungkan 3 phasa maka hasil tersebut dibagi dengan $\sqrt{3}$. Maka diperoleh :

$$\text{Tap 3} = \frac{86,602}{\sqrt{3}} = 50,000$$

$$\text{Batas Maksimal} = 50,000 + (50,000 \times 0,5\%) = 50,250$$

$$\text{Batas minimal} = 50,000 - (50,000 \times 0,5\%) = 49,750$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, sebuah Trafo Distribusi dapat dikatakan baik perbandingan belitannya apabila nilai rasionya berada diantara batas maksimal dan batas minimal pada masing-masing tap pada saat pengukuran. Tabel berikut ini merupakan hasil perhitungan rasio normal dan toleransi rasio belitan Trafo Distribusi yang masih dikatakan baik (Tabel 4.1).

Tabel 4.1 Standar Hasil Pengukuran Rasio Belitan Transformator

SPLN 50:1982				
TRAFO 5 SADAPAN				
Tap	Tegangan	Rasio Normal / Phase	Persyaratan Standar	
			MIN	MAKS
1	21000	90.932625	90.47796188	91.38728813
2	20500	88.7675625	88.32372469	89.21140031
3	20000	86.6025	86.1694875	87.0355125
4	19500	84.4374375	84.01525031	84.85962469
5	19000	82.272375	81.86101313	82.68373688
SPLN 50 : 1997				
TRAFO 5 SADAPAN				
Tap	Tegangan	Rasio Normal / Phase	Persyaratan Standar	
			MIN	MAKS
1	22000	95.26275	94.78643625	95.73906375
2	21000	90.932625	90.47796188	91.38728813
3	20000	86.6025	86.1694875	87.0355125
4	19000	82.272375	81.86101313	82.68373688
5	18000	77.94225	77.55253875	78.33196125
SPLN 50 : 1997				
TRAFO 3 SADAPAN				
Tap	Tegangan	Rasio Normal / Phase	Persyaratan Standar	
			MIN	MAKS
1	21000	90.932625	90.47796188	91.38728813
2	20000	86.6025	86.1694875	87.0355125
3	19000	82.272375	81.86101313	82.68373688
SPLN D3.002-1 : 2007				
TRAFO 5 SADAPAN				
Tap	Tegangan	Rasio Normal / Phase	Persyaratan Standar	
			MIN	MAKS
1	21000	90.932625	90.47796188	91.38728813
2	20500	88.7675625	88.32372469	89.21140031
3	20000	86.6025	86.1694875	87.0355125
4	19500	84.4374375	84.01525031	84.85962469
5	19000	82.272375	81.86101313	82.68373688
SPLN D3.002-1 : 2007				
TRAFO 7 SADAPAN				
Tap	Tegangan	Rasio Normal / Phase	Persyaratan Standar	
			MIN	MAKS
1	21000	90.932625	90.47796188	91.38728813
2	20500	88.7675625	88.32372469	89.21140031
3	20000	86.6025	86.1694875	87.0355125
4	19500	84.4374375	84.01525031	84.85962469
5	19000	82.272375	81.86101313	82.68373688
6	18500	80.1073125	79.70677594	80.50784906
7	18000	77.94225	77.55253875	78.33196125

D. Pengujian *vector group*

Pemeriksaan *vector group* bertujuan untuk mengetahui apakah polaritas terminal-terminal transformator positif atau negatif. Standar dari notasi yang dipakai adalah *Additive* dan *Subtractive*.

E. Pengujian rugi-rugi tanpa beban (*No Load Losses Test*)

Rugi-rugi tanpa beban merupakan rugi-rugi yang terkait dengan eksitasi trafo. No load test yang diukur meliputi :

- 1) Rugi-rugi inti
- 2) Rugi-rugi dielektrik
- 3) Rugi-rugi konduktor pada lilitan yang terkait dengan arus eksitasi
- 4) Rugi-rugi konduktor oleh arus sirkulasi pada belitan paralel

F. Pengujian rugi-rugi beban (*Load Losses Test*)

Rugi-rugi beban (*load losses*) merupakan rugi-rugi yang diakibatkan oleh beban pada trafo. Rugi-rugi ini mencakup I^2R pada belitan dan bus bar yang disebabkan oleh arus yang mengalir pada beban yang terhubung pada trafo.

Load losses diukur dengan mengaplikasikan hubung singkat pada terminal *high voltage* atau terminal *low voltage* pada trafo dan memberikan tegangan tertentu melalui terminal yang berlainan untuk menghasilkan arus yang mengalir pada belitan-belitan pada trafo.

Untuk mendapatkan hasil pengujian yang akurat, maka ada beberapa hal yang harus diperhatikan sebagai berikut:

- a. Untuk dapat mengetahui suhu dari belitan-belitan pada trafo dengan tingkat akurasi tertentu, minimal ketiga kondisi dibawah ini harus dipenuhi:
 - (1) Suhu dari tiap belitan trafo harus dalam keadaan stabil

- (2) Suhu pada tiap belitan trafo harus diukur dengan cepat sesaat sebelum dan sesudah pengujian load losses dan tegangan impedansi beban. Rata-rata pengukuran diambil sebagai data untuk menentukan suhu yang sebenarnya
 - (3) Perbedaan suhu antara sebelum dan sesudah pengujian tidak lebih dari 50 C pada tiap belitan.
- b. Konduktor yang digunakan untuk menghubungkan singkatan belitan low-voltage yang berarus tinggi harus memiliki luas yang sama atau lebih besar dari timah trafo.
 - c. Frekuensi yang digunakan dari sumber pengujian untuk mengukur load losses dan tegangan impedansi beban harus $\pm 0,5\%$ dari nilai nominal trafo.

Penghitungan nilai koreksi rugi – rugi akibat kenaikan temperatur saat uji load losses dan tegangan impedansi dari data yang diperoleh dilakukan dengan menggunakan formula di bawah ini :

$$(T_m) = P(T_m) - Pr(T_m)$$

Dimana :

$P_s(T_m)$: *stray losses* (watt) pada suhu T_m

$P(T_m)$: rugi – rugi beban trafo (*transformer load losses*) (watt) pada suhu T_m

$Pr(T_m)$: rugi – rugi $I^2 R$ yang dihitung (watt) pada suhu T_m

G. Pengujian tegangan terapan (*Withstand Test*)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menguji kekuatan isolasi antara kumparan dan body tangki. Pengujian dilakukan dengan memberi tegangan uji sesuai dengan standar uji dan dilakukan pada :

- (1) tegangan tinggi terhadap sisi tegangan rendah dan body yang di tanahkan.

- (2) tegangan rendah terhadap sisi tegangan tinggi dan body yang di tanahkan.
- (3) pengujian 60 detik.

H. Pengujian tegangan induksi (*Induce Test*)

Pengujian tegangan induksi bertujuan untuk mengetahui kekuatan isolasi antara layer dari tiap-tiap belitan dan kekuatan isolasi antara belitan transformator. Pengujian dilakukan dengan memberi tegangan *supply* dua kali tegangan nominal pada salah satu sisi dan sisi lainnya dibiarkan terbuka. Untuk mengatasi kejenuhan pada inti besi (core) maka frekuensi yang digunakan harus dinaikkan sesuai dengan kebutuhan. Lama pengujian tergantung pada besarnya frekuensi pengujian dan waktu pengujian maksimum adalah 60 detik.

I. Pengujian kebocoran tangki Pengujian

kebocoran tangki dilakukan setelah semua komponen transformator sudah terpasang. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan dan kondisi paking dan las transformator. Pengujian dilakukan dengan memberikan tekanan nitrogen (N₂) sebesar kurang lebih 5 psi dan dilakukan pengamatan pada bagian-bagian las dan paking dengan memberikan cairan sabun pada bagian tersebut. Pengujian dilakukan sekitar 3 jam apakah terjadi penurunan tekanan.

2. Pengujian Jenis

a. Pengujian kenaikan suhu

Pengujian kenaikan suhu dimaksudkan untuk mengetahui berapa kenaikan suhu oli dan kumparan transformator yang disebabkan oleh rugi-rugi transformator apabila transformator dibebani. Pengujian ini juga bertujuan untuk melihat apakah penyebab panas transformator sudah cukup efisien atau belum. Pada transformator dengan tapping tegangan di atas 5% pengujian kenaikan suhu dilakukan pada tapping tegangan terendah (arus tertinggi), pada transformator dengan tapping maksimum 5% pengujian

dilakukan pada tapping nominal. Pengujian kenaikan suhu sama dengan pengujian beban penuh, pengujian dilakukan dengan memberikan arus transformator sedemikian hingga membangkitkan rugi-rugi transformator, yaitu rugi beban penuh dan rugi beban kosong.

b. Pengujian tegangan *impulse* Pengujian

Impulse ini dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan dielektrik dari sistem isolasi transformator terhadap tegangan surja petir. Pengujian *impuls* adalah pengujian dengan memberi tegangan lebih sesaat dengan bentuk gelombang tertentu. Tegangan tinggi impuls umumnya terbagi menjadi dua, yaitu tegangan tinggi impuls petir dan tegangan tinggi surja hubung.

c. Pengujian tegangan tembus oli

(IPCC., 2022) Pengujian tegangan tembus oli dimaksudkan mengetahui kemampuan dielektrik oli. Hal ini dilakukan karena selain berfungsi sebagai pendingin dari transformator, oli juga berfungsi sebagai isolasi. Persyaratan yang ditentukan adalah sesuai dengan standart SPLN 49 - 1 : 1982, IEC 158 dan IEC 296 yaitu:

$> = 30 \text{ KV}/2,5 \text{ mm}$ sebelum *purifying*

$> = 50 \text{ KV}/2,5 \text{ mm}$ setelah *purifying*

3. Pengujian Khusus

Pengujian khusus adalah pengujian yang lain dari uji rutin dan jenis, dilaksanakan atas persetujuan pabrik dengan pembeli dan hanya dilaksanakan terhadap satu atau lebih transformator dari sejumlah transformator yang dipesan dalam suatu kontrak. Pengujian khusus meliputi :

a. Dielektrick test

Tujuan pengujian dielektrik pada trafo adalah untuk mengetahui bahwa trafo telah didesain sehingga dapat bertahan terhadap tegangan lebih yang

tidak tepat pada trafo berkaitan pada level kemampuan isolasi trafo. Suhu trafo selama uji dielektrik haruslah berada diantara 100C – 400C. Pengujian dielektrik dapat dilakukan pada kondisi low-frequency dielectric test. Pengujian ini dilakukan dengan beberapa acuan seperti yang tertera pada Tabel 2.3 dan Tabel 2.4

Tabel 2.3 Hubungan Antara Tegangan Nominal Sistem Dengan BIL Untuk Sistem Pada 34.5 KV Hingga lebih Kecil Dari 34.5 KV

Basic Insulation Level (KV)	Low-frequency voltage insulation level (kV rms)	Impulse Level		
		Full 1,25x50 μ s (kV) crest	Chopped wave	
			kV crest	Minimum time to flashover (μ s)
10	4	10	10	1.0
20	10	20	20	1.0
30	12	30	30	1.0
45	19	45	45	1.25
60	31	60	60	1.5
95	34	95	95	1.6
110	37	110	110	1.8
125	40	125	125	2.0
150	50	150	150	2.25
200	34	200	200	2.70

Tabel 2.4 Hubungan Antara Tingkatan Isolasi Dielektrik Pada Trafo Kering Dengan Tingkat BIL 200 KV dan Dibawahnya

Nominal System Voltage (KV)	Basic Insulation Level sin common use (kV crest)									
	10	20	30	45	60	95	110	125	150	200
1.2	S	1								
2.5		S	1	1						
5.0			S	1	1					
8.7				S	1	1				
15.0					S	1	1			
25.0							2	S	1	1
34.5								2	S	1

NOTES :
S = Standar value
I = Optional higher level where esposure to overvoltage accurs anda improve protective margin are required
2 = Lower levels where protective of applied surge arresters have been evaluated and found to provide appropriate sure protection

b. Hubung singkat

Pengujian hubung singkat (short circuit) dilakukan pada trafo untuk dapat mengetahui kemampuan trafo terhadap tekanan elektrik dan mekanik yang disebabkan oleh hubung singkat pada bagian beban. Hubung singkat yang dimaksud dapat meliputi hubung singkat satu fase ke tanah, fase - fase, tiga fase, dan double fase ke tanah. Kejadian hubung singkat dapat membentuk arus simetri dan arus asimetri pada trafo.

(1). Arus simetri (*symmetrical current*)

Formula yang digunakan untuk menghitung arus hubung singkat (I_{SC} , dalam ampere rms) adalah :

$$I_{SC} = \frac{I_r}{Z_r + Z_s}$$

Dimana:

I_r : arus nominal pada trafo (per unit)

Z_r : impedansi trafo pada keadaan I (per unit)

Z_s : impedansi sistem sebagai beban yang terhubung ke trafo (per unit)

Sehingga arus simetri hubung singkat yang terjadi dengan besar beberapa kali dari arus normalnya adalah:

$$I = \frac{I_{SC}}{I_r}$$

(2). Arus asimetri (*asymmetrical current*)

Trafo didesain untuk dapat bertahan terhadap arus asimetri yang mencapai puncaknya di awal *cycle* saat arus tersebut mengalir di trafo. Arus asimetri, ISC (*pk asymm*) dapat diketahui dengan formula berikut:

$$I_{SC}(pk\ asymm) = KI_{SC}$$

Dimana : ϕ : *arc tan (x/r) (dalam radian)*

e : *bilangan logaritma alami*

- c. Pengujian impedansi urutan nol pada transformator tiga phasa
- d. Harmonik pada arus beban kosong
- e. Tingkat bunyi akuistik
- f. Daya yang diambil oleh motor-motor kipas dan pompa minyak

4. Pengujian Serah-Terima

Mata uji pengujian serah-terima adalah sama dengan mata uji pengujian rutin, tetapi PT PLN dapat menambah mata uji lainnya dengan menyatakannya pada saat pemesanan. Pengujian serah-terima dilaksanakan di laboratorium PLN atau pabrikan.

Prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

- a. Transformator yang akan diserahkan-terimakan harus telah lulus uji jenis dan identik dengan transformator yang diuji jenis.
- b. Transformator yang akan diserahkan-terimakan harus lulus uji rutin dan dilengkapi dengan laporan pengujiannya.
- c. Pengujian serah terima disaksikan oleh PT PLN.
- d. Jumlah sampel adalah 10% (dibulatkan) dari jumlah yang akan diserahkan-terimakan dengan jumlah minimum 1 (satu) unit pada kelompok tersebut.

Pada pengujian serah-terima, transformator haruslah identic antara satu sama lain. Sebuah transformator dapat dinyatakan identik satu sama lain bila:

- a. Daya pengenal, tegangan tertinggi (U_m) sisi belitan primer dan sekunder, kelompok vektor harus sama.
- b. Tegangan impedans harus sama dengan toleransi $\pm 10\%$.
- c. Rugi tanpa beban harus sama dengan toleransi $\pm 10\%$
- d. Rugi I^2R pada belitan primer dan sekunder harus sama dengan toleransi $\pm 10\%$
- e. Arus tanpa beban harus sama dengan toleransi 30%.
- f. Bahan dasar, desain dan konstruksi dari belitan dan inti besi harus sama.
- g. Letak busing tegangan tinggi maupun tegangan rendah harus sama, tetapi jenis bushing dapat berbeda (porselin atau plug-in).
- h. Jumlah dan ukuran sirip pendingin harus sama, toleransi ukuran sirip 5%
- i. Dimensi tangki harus sama dengan toleransi 5%

Kriteria penilaian pengujian serah-terima :

- a. Sampel transformator dinyatakan baik, jika hasil pengujian dari seluruh mata uji pada kolom 6 Tabel 6 berhasil baik.
- b. Seluruh transformator yang akan diserahterimakan dinyatakan diterima jika semua sampel yang diuji hasilnya baik.
- c. Jika lebih dari 1 (satu) sampel mengalami kegagalan, maka semua transformator yang diajukan (akan diserahterimakan) ditolak, karena dianggap dalam kelompok tersebut masih ada cacat.
- d. Jika 1 (satu) sampel mengalami kegagalan, pada dasarnya semua transformator yang diajukan belum dapat diterima dan pengujian dapat diulang dengan mengambil sampel baru sejumlah yang pertama. Jika semua sampel baru diuji dengan hasil baik, maka semua transformator yang diajukan dianggap baik dan dapat diterima. Jika dalam pengujian ulang masih ada 1 (satu) sampel saja mengalami gagal, maka seluruh transformator yang diajukan ditolak.
- e. Terhadap kelompok transformator yang dinyatakan ditolak pada butir C dan D, pabrikan atau pemasok dapat mensortir dan transformator yang baik dapat diajukan kembali. Untuk pengajuan kembali pabrikan harus meneliti sebab-sebab kegagalan dan bila kegagalan menyangkut sistem produksi, pabrikan harus memperbaiki proses produksinya.

2.2.10. Kehandalan dan Ketidakhandalan Pada Transformator

Abidin (2010), memberikan pengertian kehandalan adalah salah satu dimensi dari pelayanan berkualitas. Pelayanan berkualitas merupakan upaya yang dilakukan oleh perusahaan untuk memenuhi harapan pelanggannya. Pelayanan yang berkualitas lebih menekankan aspek kepuasan konsumen yang diberikan oleh perusahaan yang menawarkan jasa. Keberhasilan suatu perusahaan yang bergerak di sektor jasa tergantung pelayanan yang ditawarkan.

Lupiyoadi (2010) menyatakan ada lima dimensi pelayanan, yaitu *tangibles* (bukti fisik), *reliability* (kehandalan), *responsiveness* (ketanggapan), *assurance* (jaminan) dan *empathy*.

Reliability atau kehandalan yaitu kemampuan perusahaan untuk memberikan pelayanan sesuai yang dijanjikan secara akurat dan terpercaya. Kinerja harus sesuai dengan harapan pelanggan yang berarti ketepatan waktu, pelayanan yang sama untuk semua pelanggan tanpa kesalahan, sikap yang simpatik, dan dengan akurasi yang tinggi.

Ariani (2009) menyatakan bahwa *reliability* adalah konsistensi kerja pemberi jasa dan kemampuan pemberi jasa dalam memenuhi janji para penerima jasa. Abidin (2010) bahwa *reliability* adalah kemampuan untuk memberikan pelayanan yang dijanjikan dengan tepat (*accurately*) dan kemampuan untuk dipercaya (*dependably*), terutama memberikan jasa secara tepat waktu (*ontime*), dengan cara yang sama sesuai dengan jadwal yang telah dijanjikan dan tanpa melakukan kesalahan setiap kali.

Adapun atribut-atribut yang berada dalam dimensi ini antara lain adalah:

1. Memberikan pelayanan sesuai janji
2. Bertanggung jawab tentang penanganan konsumen akan masalah pelayanan
3. Memberi pelayanan yang baik saat kesan pertama kepada konsumen
4. Memberikan pelayanan tepat waktu
5. Memberikan informasi kepada konsumen tentang kapan pelayanan yang dijanjikan akan direalisasikan

Keandalan merupakan kemampuan sistem atau komponen untuk memenuhi fungsi yang dibutuhkan dalam kondisi tertentu selama rentang waktu yang spesifik. Keandalan transformator dipengaruhi oleh tingkat kegagalannya. Kegagalan transformator distribusi di sub-sistem distribusi tidak hanya mengurangi keandalan transformator distribusi tetapi juga memiliki efek yang signifikan terhadap kualitas. Untuk meningkatkan keandalan utilitas, analisis kegagalan dan tingkat, asal kegagalan dan penyebab kerusakan fisik harus dianalisis dan dipelajari. Kehandalan dan ketidakhandalan pada transformator ditentukan dari hasil uji pada transformator tersebut. Suatu transformator dapat dikatakan handal dan layak operasi apabila memenuhi seluruh standar yang telah ditetapkan. Standar pada transformator mengacu pada SPLN dan/atau *International IEC Standard*.

BAB V

PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan Analisa yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan seperti tercantum di bawah ini.

1. Standar kelayakan operasi dari suatu transformator distribusi dapat ditetapkan setelah melalui tahapan – tahapan pengujian sesuai standar yang berlaku. Standar kelayakan operasi suatu transformator distribusi tertuang pada *International Electrotechnical Commision (IEC) Standard* dan Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN). Pada SPLN D3.002-1:2020 dan SPLN D3.002-1:2007, hasil pengukuran nominal rasio belitan pada trafo 3 phase ialah tap 1 52.500, tap 2 51.250, tap 3 50.000, tap 4 48.750, tap 5 47.500, tap 6 46.250, tap 7 45.000 dengan toleransi maksimal $\pm 0,5\%$ dari rasio tegangan.
2. Proses pengujian rasio belitan transformator distribusi dimulai dengan menyiapkan alat dan bahan yang dapat dilihat pada uraian 3.4.1 halaman 36 tentang alat dan bahan penelitian, selanjutnya menggunakan APD, rangkai alat turn ratio meter seperti pada gambar 3.8, hidupkan turn ratio meter, pilih menu “Clock Settings” dan atur tanggal dan jamnya, tekan tombol cancel untuk kembali ke menu utama, pilih menu “Three-Phase Test”, pilih “Normal Test”, selanjutnya sesuaikan data dengan spesifikasi trafo, Kemudian pilih “Test”, Selanjutnya catat hasil pengukurannya.
3. Pengujian rasio belitan dapat menentukan kelayakan operasi pada transformator distribusi dengan mempertimbangkan hasil pengujian lain sesuai dengan standar yang digunakannya. Hasil pengukuran rasio belitan dikategorikan baik apabila toleransinya tidak melebihi $\pm 0,5\%$ dari rasio tegangan. Menurut SPLN D3.002-1:2020 dan SPLN D3.002-1:2007, hasil pengukuran nominal rasio belitan pada trafo 3 phase ialah tap 1 52.500, tap 2 51.250, tap 3 50.000, tap 4 48.750, tap 5 47.500, tap 6 46.250, tap 7 45.000.

5.2. SARAN

Berdasarkan pengamatan dalam penelitian ini, dapat diajukan beberapa saran yaitu :

1. Pentingnya mengetahui cara menggunakan alat ukur/ uji *turn ratio meter* serta pengetahuan pembacaan dari hasil alat ukur tersebut agar hasil dari penelitian berikutnya lebih tepat dan akurat.
2. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, perlu dilakukan dua kali pengukuran rasio belitan, yaitu *single phase* dan *three phase* dalam satu trafo yang sama. Agar apabila hasil pengukuran rasio belitan *three phase* satu transformator dalam kategori yang tidak baik, dapat dideteksi fasa mana saja yang rusak dari hasil pengukuran rasio belitan *single phasenya*.
3. Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar lebih memperhatikan instalasi pengujiannya agar dapat mengefisienkan waktu.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pemanfaatan alat ukur lain selain *turn ratio meter* untuk mengukur dan menguji rasio belitan pada transformator.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, R., Aisyah, S., & Hutapea, C. (2018). *PENGUJIAN VOLTAGE RATIO TRANSFORMATOR 60 MVA 150 / 22 KV. 3*, 204–208.
- Darsono, D., Saefurrochman, S., & Darmawan, R. S. (2012). Analisis Desain Dan Uji Kinerja Stt-Mbe Basis Trafo. *GANENDRA Majalah IPTEK Nuklir*, 15(2), 93–103. <https://doi.org/10.17146/gnd.2012.15.2.19>
- Dhuha, Z. F., & Amien, S. (2015). Analisa Berbagai Hubungan Belitan Transformator 3 Phasa Dalam Keadaan Beban Lebih (Aplikasi Pada Laboratorium Konversi Energi Listrik Ft. Usu). *Singuda ENSIKOM*, 13(36), 49–53.
- Distribusi, S. T. (2020). *SPESIFIKASI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI Bagian 1: Transformator Fase Tiga*.
- Doloksaribu, P. (2010). *ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK Reliability Analysis of Power System Distribution. 1*(1), 20–24.
- Harahap, R., & Pakpahan, J. A. (2018). ANALISA PENGUKURAN RATIO TRANSFORMATOR DAYA YANG MENGGUNAKAN ON LOAD TAP CHANGER (Aplikasi Pada Transformator Daya Paya Geli PLN Medan). *Cetak) Buletin Utama Teknik*, 13(3), 1410–4520.
- IEC. (2004). *IEC 60214-2 Tap-changers Part 2: application guide. 2004*.
- IPCC. (2022). Table of Contents Table of Contents یر تکده به حاصمزا یپا تر یسد ج ا. *European University Institute*, 2, 2–5. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0679&from=PT%0Ahttp://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52012PC0011:pt:NOT>
- ISO 21388 (putaran optic). (2014). International Standard International Standard. In *61010-1 © Iec:2001* (Vol. 2014).
- Jurusan, M., Elektro, T., Tadulako, U., Jurusan, D., & Elektro, T. (2014). *ANALISIS PEMBEBANAN TRANSFORMATOR GARDU SELATAN Sistem distribusi*

merupakan salah satu sistem dalam tenaga listrik yang mempunyai peran penting energi listrik , terutama pemakai energi Mengingat bagian ini berhubungan langsung dengan konsumen , sangat dip. 1(1), 11–19.

Kodoati, K. A., Lisi, I. F., & Pakiding, I. M. (2015). Analisa Perkiraan Umur Transformator. *Jurnal Teknik Elektro*, 4(3), 35–43.

Nair, K. R. M. (2021). Transformer Design. *Power and Distribution Transformers*, 1–6. <https://doi.org/10.1201/9781003088578-1>

Napitupulu, J. C., & Tobing, P. S. M. . (2013). Analisis keandalan transformator daya menggunakan metode distribusi weibull. *Singuda ENSIKOM*, 3(3), 112–117.

Nasution, E S, Pasaribu, F. I., & Hidayat, M. H. (2021). Studi Proteksi Sistem Tenaga Listrik Pada Trafo 1600 kVA Menggunakan Current Relay IWU 2-3. *Jurnal MESIL (Mesin Elektro Sipil)*, 2(2), 28–39. <https://doi.org/10.53695/jm.v2i2.562>

Nasution, Elvy Sahnur, Pasaribu, F. I., & Arfianda, M. (2019). Rele Diferensial Sebagai Proteksi pada Transformator Daya pada Gardu Induk. *Ready Start*, 02(1), 179–186.

Nathania, F., Satoto, K. I., & Martono, K. T. (2014). Perancangan Sistem Pencatatan Trafo Distribusi Berbasis Mobile Device di PT PLN Salatiga. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 2(1), 48–61. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.2.1.2014.48-61>

Penyulang, P., Pt, A., Rayon, P. L. N., Palembang, R., & Marniati, Y. (2022). *ANALISIS PENAMBAHAN JURUSAN GARDU DISTRIBUSI I*. 598. 19.

Philippe, D., Natures, D., Les, C., Conférences, P., & Paris, B. (2010). *Date : Date : Date : Date : N / D : N / D : N / D : N / D : N / D : 2(mi)*, 1–19.

PT. PLN Buku 4. (2010). Buku 4 Standar konstruksi gardu distribusi dan gardu hubung tenaga listrik. *PT PLN (Persero)*, 143.

Putri, M., Hajar, I., Ramadhan, A., & Kunci, K. (2021). *ANALISIS PENGUJIAN KARAKTERISTIK DAN PERBANDINGAN TRANSFORMASI PADA TRAF0*

I FASA. 02(01), 44–47.

Rahman, F. A. K. (2007). Standar Pengujian Peralatan Transformator. *Jurusan Teknik Elektro POLINES*, 1–8.

Sadi, S., St, S., Arif, M., & Mt, S. T. (2014). *PENGUKURAN PERBANDINGAN BELITAN PADA TRANSFORMATOR 3 PHASA 50 Hz 250 kVA*. 3(2), 67–74.

Sogen, M. D. T. (2018). *Issn:2527-4724, eissn:2597-4467*. 1–10.

Supriyadi, A. (2017). Hubungan Pada Transformator Tiga Fasa. *Forum Teknologi*, 07(1), 45–52.

Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1 Pustaka, T. (2008). *Suhadi, Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1 , Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Jakarta, 2008, hlm.11 5. 5–23*.

Tondok, Y. P., Patras, L. S., & Lisi, F. (2019). Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 8(2), 83–92.

Winarso. (2014). Estimasi Umur Pakai dan Rugi Daya Transformator. *Techno*, 15(2), 50–55.

Yunus, Y., & Suyamto, S. (2017). Perancangan Trafo Tegangan Tinggi Untuk Catu Daya Pemercepat Elektron Pada Tabung Sinar-X Radiografi. ... -*Aplikasi dan Rekayasa dalam Bidang Iptek ...*, 11(1), 11–21.
<http://jurnal.batan.go.id/index.php/prima/article/view/3830>



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)
FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Imam Akbari
NPM : 2007220062P
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : “Analisis Hasil Pengujian Rasio Belitan Transformator Distribusi Terhadap Kelayakan Operasi Pada PT. Sumbetri Megah”

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	11 April 2023	Tambahkan Tinjauan Pustaka Relevan pada BAB II.	
2	12 April 2023	Tambahkan teori macam – macam pengujian pada trafo di BAB II.	
3	9 Mei 2023	Tambahkan sumber/ citasi pada tiap pokok bahasan.	
4	10 Mei 2023	Tambahkan pembahasan tentang kehandalan pada BAB II.	
5	25 Juli 2023	Perbaiki susunan pada BAB III.	
6	26 Juli 2023	ACC Seminar Proposal.	
7	10 Agustus 2023	Diskusi masukan dari dosen penguji pada saat Seminar Proposal.	
8	11 Agustus 2023	Perbaiki penggunaan kata pada judul agar lebih menarik tanpa merubah maksud dan tujuannya.	
9	6 September 2023	Susunan judul mengerucut ke bawah. Abstrak pakai 1 spasi. Daftar Pustaka rata kiri kanan.	
10	11 September 2023	ACC Seminar Hasil.	

Mengetahui,
Pembimbing

Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T

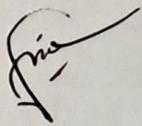
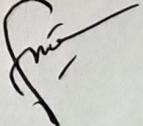
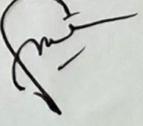


UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : Imam Akbari
NPM : 2007220062P
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro
Judul Tugas Akhir : “Analisis Hasil Pengujian Rasio Belitan Transformator Distribusi Terhadap Kelayakan Operasi Pada PT. Sumbetri Megah”

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
1	16 April 2023	- Revisi masukan dari dosen penguji - Perbaiki susunan daftar Pustaka	
2	18 September 2023	- Perbaiki dan selaraskan kesimpulan	
3	19 September 2023	- ACC Sidang	

Mengetahui,
Pembimbing



Faisal Irsan Pasaribu S.T., M.T