

TUGAS AKHIR

ANALISIS GANGGUAN ARUS LEBIH PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV PT. PLN (PERSERO) AREA MEDAN

*Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Fakultas Pada Teknik Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Diajukan Oleh :

HUSNI TAMRIN SINAGA
NPM : 1307220032



**PROGRAM STUDI TENIK ELEKTRO
FAKULTAS TENIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS GANGGUAN ARUS LEBIH PADA TRANSFORMATOR
DISTRIBUSI 20 KV PT. PLN (PERSERO) AREA MEDAN**

Disusun oleh :

**HUSNI TAMRIN SINAGA
NPM : 1307220032**

Disetujui oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II

(Dr. Ir. Surya Hardi, M. Sc)

(Dr. M. Fitra Zambak, ST.,M.Sc.)

Diketahui oleh :

Ketua Jurusan Teknik Elektro

(Faisal Irsan Pasaribu, ST., MT)

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

ABSTRAK

Transformator distribusi 20 KV merupakan suatu alat yang dapat mentransformasikan tegangan listrik dari suatu rangkain listrik yang lain. Dalam penggunaannya gardu transformator distribusi sering mengalami gangguan dikarenakan beroperasi dalam waktu 24 jam per hari. Trafo rawan terhadap gangguan baik dari dalam dirinya maupun dari gangguan luar. Gangguan yang disebabkan oleh diri sendiri disebabkan oleh minyak seperti kurang minyak, minyak kotor, paking bushsing bocor, bushing primer dan bushing sekunder kotor, pecah , belitan yang putus, penempatan tap changer yang salah. Selain itu juga dapat disebabkan gangguan yang berasal dari luar seperti arus lebih, tegangan lebih, ganguan petir, pentanahan yang tidak sempurna yang melebihi batas kewajaran peralatan pengaman, oleh sebab itu diperlukan sistem pengamanan yang sesuai dengan rating dari beban yang akan diamankan, menjadi hambatan dalam operasional trafo di lapangan. Dari hasil penelitian diperoleh untuk mengatasi kegagalan trafo distribusi 20 KV yang disebabkan oleh tegangan maka penangkalnya adalah Fuse Cut Out yang dilengkapi dengan Fuse Ling sedangkan untuk menangkal sambaran petir maka Lightning Arrester.

Kata kunci: PT. PLN (Persero) Area Medan, Trafo Distribusi 20 KV

KATA PENGANTAR



Assalamu alaikum wr.wb

Alhamdulillah rabbil alamin penulis ucapkan kehadirat Allah SWT , yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyusun Proposal Tugas Akhir ini.

Banyak sekali gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi 20 KV antara lain disebabkan oleh gangguan yang berasal dari luar (ekternal) maupun dari dalam (internal) pada jaringan Distribusi mengakibatkan kerugian pada sisi konsumen maupun sisi produsen listrik sendiri, jika gangguan ini berkelanjutan dan tidak segera diatasi maka dapat mengakibatkan hal-hal yang tidak diinginkan seperti keresahan pada akhirnya terjadi gesekan akhirnya konflik yang berkepanjangan dimasyarakat. Untuk mengetahui gangguan yang terjadi diperlukan operator yang mengerti dalam menganalisa jenis gangguan yang terjadi didalamnya dan menerapkan langkah-langkah yang dibutuhkan dengan berpedoman pada aturan yang berlaku standar prosedur operasi, oleh karena itu maka penulis perlu menganalisa Gangguan Arus Lebih pada Jaringan Distribusi 20 KV sebagai bahan Proposal Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Gangguan Arus Lebih Pada Tranformator Distribusi 20 KV PT. PLN (Persero) Area Medan .

Adapun Proposal Tugas Akhir ini untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar sarjana Strata 1 (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara. Dalam menyusun Proposal Tugas Akhir ini penulis berusaha semaksimal mungkin sesuai dengan kemampuan dan ilmu yang dimiliki. Disamping itu masukan dan bimbingan yang sangat berharga dari bapak dosen pembimbing dan dosen penguji serta sumbangan dan pikiran dari rekan rekan mahasiswa sekalian.

Atas bantuan, bimbingan dan motivasi yang diberikan kepada penulis, dengan rendah hati penulis mengucapkan terimah kasih kepada :

1. Kepada Orang Tua tercinta serta saudara saudaraku yang telah membantu dan memberi dorongan baik materil maupun immateril.
2. Bapak Rahmatullah ST, Msc. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas

Muhammadiyah Sumatera Utara.

3. Bapak (Faisal Irsan Pasaribu, ST., MT) Sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro

4. Bapak Dr. Ir. Surya Hardi, M. Sc. sebagai Dosen Pembimbing I

5. Bapak Drs, M. Fitra Zambak, ST., M.Sc. sebagai Dosen Pembimbing II

8. Kepada seluruh Staff dan Pengajar Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

9. Seluruh teman teman mahasiswa khususnya angkatan 2013 teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah membantu penuli sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya, mungkin dalam tulisan ini masih terdapat kekurangan dan kekhilafan dalam penulisan. Oleh karena itu kritik dan saran yang kondusif dari berbagai pihak sangat penulis harapkan untuk kesempurnaan Proposal Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis mengaharapkan semoga tulisan ini dapat bermanfaat serta berguna bagi kita semua, Amin.

Medan, Juli 2017
Hormat saya
Penulis

Husni Tamrin Sinaga

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	v
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penulisan	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1. Transformator Distribusi	5
2.1.1. Prinsip kerja transformator	12
2.1.2. Transformator Berbeban	15
2.2. Sistem Distribusi.....	16
2.3. Gardu Distribusi.....	18
2.4. Proteksi Trafo Distribusi 20 KV	19
2.4.1. Lightning Arrester (LA).....	24
2.4.2. Fuse Cut Out (FCO).....	35
2.5. Sistem Pentanahan	39

BAB III. METODE PENELITIAN	42
3.1. Jenis Penelitian	42
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian	42
3.2.1. Tempat Penelitian	42
3.2.2. Waktu Penelitian	42
3.3. Pengumpulan Data	43
3.4. Diagram Alir	44
BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN	45
4.1. Analisa	45
4.1.1. Pemadaman Karena Jaringan distribusi	45
4.1.2 Operasi Penanggulangan gangguan	46
4.2. Macam-macam Gangguan pada transformator distribusi	
4.3.1. Gangguan Dari dalam Sistem (internal Faults)	46
4.3.2. Gangguan Dari Luar Sistem (Ekternal Faults)	49
4.3. Mengatasi Gangguan Yang Terjadi Pada Transformator	50
4.4. Pengentahan Transformator Distribusi	54
BAB V. KESIMPULAN.....	56
5.1. Kesimpulan	56
5.2. Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Rangkaian dasar transformator	12
Gambar 2.2. Transformator dalam keadaan berbeban.....	15
Gambar 2.3. Hubungan Tegangan Menengah Ke Tegangan Rendah Dan Konsumen	17
Gambar 2.4. Konstruksi Gardu Distribusi.....	19
Gambar 2.5. Memperlihatkan bentuk bagan satu garis gardu tiang distribusi.	19
Gambar 2.6. Arrester 20 KV	21
Gambar 2.7. Pemutus Beban 20 KV Tipe “ <i>Fuse Cut Out</i> ”	21
Gambar 2.8. LVC Pada Gardu Distribusi	22
Gambar 2.9. Sistem pentanahan yang baik	23
Gambar 2.10. Arrester Jenis Expulsi	27
Gambar 2.11. Arrester Jenis Katup (Valve).....	29
Gambar 2.12. Rangkaian Ekuivalen dan Karakteristik Arrester.....	30
Gambar 2.13. Penempatan Transformator dan Arrester terpisah.....	32
Gambar 2.14. Fuse Cut Out	34

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Tabel 3.1 Jadwal Penelitian.....	41
----------------------------------	----

DAFTAR NOTASI

SIMBOL	BESARAN	SATUAN
V_1	Tegangan Primer	Volt
V_2	Tegangan Skunder	Volt
E_1	GGL Induksi Pada Kumparan Primer	Volt
E_2	GGL Induksi Pada Kumparan Skunder	Volt
I_0	Arus Pada Kumparan Primer	Amper
N_1	Jumlah Lilitan Kumparan Primer	-
N_2	jumlah lilitan kumparan skunder	-
ρ	Tahanan Jenis Tanah	Ohm-
m/mm^2		
L	Panjang Elektroda	cm
A	Jari-Jari Elektroda	cm
I_{pn}	Arus Primer Nominal Transformator	
	Distribusi	Amper
V	Tegangan Skunder	Volt
S	Rating Daya Transformator Distribusi	KVA
I_{sn}	Arus Primer Nominal Transformator	
	Distribusi	Amper
R	Tahanan Tanah	Ohm
I	Arus	Amper
E	Tegangan	Volt

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan listrik masyarakat Kota Medan yang semakin meningkat, dimana pada saat ini peralatan rumah tangga, perkantoran maupun industri memerlukan listrik. PT. PLN (Persero) selaku penyedia listrik akan terus meningkatkan pelayanannya dengan menghindari terjadinya pemadaman atau terputusnya arus listrik ke konsumen walaupun banyak hambatan yang sedang dihadapi .

Transformator distribusi adalah salah satu peralatan yang sangat penting dalam sistem distribusi dalam operasionalnya 24 jam tanpa henti oleh karena itu memerlukan proteksi dan perlindungan dari peralatan lain. Keberhasilan proteksi dalam operasinya menghindari sekaligus mencegah resiko pemadaman yang panjang diakibatkan oleh kegagalan transformator dalam menjalankan fungsi dan tugasnya.

Permasalahan yang umum sering dirasakan mengganggu pelanggan adalah mati lampu karena gangguan transformator, jika hal ini terjadi maka masyarakat mengerti bahwa pemadaman akan terasa lama dan membosankan, pelanggan akan mengumpat dan memaki-maki petugas PLN dalam hati. Perbaikan transformator dengan SOP yang ditentukan memakan waktu yang lama dari mulai mematikan jaringan, menurunkan transformator hingga memasang transformator pengganti minimal 5 jam, bisa sampai satu hari jika transformator pengganti yang dipasang juga mengalami gangguan lagi.

Perbaikan kerusakan transformator distribusi 20 KV yang meledak atau kerusakan lainnya di salah satu gardu penyulang merupakan bagian upaya dari pelayanan PLN pada pelanggan untuk menjamin mutu, kontinuitas dan ketersediaan pelayanan daya listrik pada pelanggan dan upaya mengatasi krisis pada perusahaan.

Pada gardu jaringan distribusi 20 kv memang selalu mengalami gangguan, gangguan tersebut dapat diakibatkan oleh kerusakakan transformator distribusi sendiri atau kegagalan alat proteksi transformator. Jika kegagalan diakibatkan oleh transformator Distribusi maka upaya perbaikan harus dilakukan pada transformator yang mengalami masalah, namun jika yang terjadi adalah kegagalan proteksi maka petugas harus mengambil langkah-langkah sesuai prosedur yang ditetapkan sebagai upaya memperbaiki gangguan yang terjadi, karena banyaknya peralatan pada jaringan distribusi maka penulis tertarik untuk mengupas hal terkait dengan masing-masing peralatan ini diantaranya adalah Transformator Distribusi, Arrester, Isolator/ Bushing, oleh sebab itu penulis tertarik untuk mengkaji masalah ini didalam penelitian ini yang berjudul “ **Analisis Gangguan Arus Lebih Pada Transformator Distribusi 20 KV pada PT. PLN (Persero) Area Medan**” dalam menyelesaikan Tugas Akhir.

1.2. Perumusan Masalah

Penggunaan Tenaga Listrik dalam kehidupan sehari-hari sering mengalami gangguan. Salah satu gangguan adalah ketika transformator 20 KV mengalami gangguan sehingga terjadinya pemadaman sementara yang dapat mengakibatkan menurunnya mutu pelayanan tenaga listrik ke konsumen.

Gangguan transformator distribusi atau penurunan mutu pelayanan tenaga listrik tersebut maka diadakan kegiatan inspeksi terhadap transformator 20 KV. Oleh sebab itu maka dibutuhkan suatu cara untuk mengamankan jaringan agar sistem tidak padam, sehingga pelayanan dapat terus baik dan transformator distribusi 20 KV tidak mengalami kerusakan sehingga gangguan dapat diatasi.

1.3. Batasan Masalah

Mengingat begitu luasnya cakupan masalah yang terdapat pada pembahasan gangguan pada transformator distribusi 20 KV ini, maka penulis membatasi masalah yang akan dibahas diantaranya adalah :

- 1 Kerusakan–kerusakan yang terjadi pada Transformator distribusi 20 KV pada PT. PLN (Persero) Area Medan
- 2 Penggunaan FCO (Fuse Cut Out) dan Fuse Link untuk mengatasi gangguan arus lebih dan penggunaan LA (lightning Arrester) untuk pengaman gangguan petir PT. PLN (Persero) Area Medan

1.4. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan penulisan skripsi ini adalah:

1. Untuk mencegah dan meminimalisir kerusakan yang sering terjadi akibat gangguan pada transformator distribusi 20 KV dan sistem pengamannya di PT. PLN (Persero) Area Medan
2. Untuk mengetahui dan menganalisa gangguan arus lebih khususnya pada jaringan distribusi 20 KV dengan menggunakan Metode Analisis Deskriptif Kualitatif dengan menggunakan software Microsoft Exell 2007 di PT. PLN (Persero) Area Medan

1.5. Sistematika Penulisan

Bab II : Landasan Teori

Pada bab ini diterangkan tentang teori transformator secara umum, pengertian dasar dan prinsip kerja transformator distribusi, jaringan distribusi dan gardu distribusi. Proteksi Transformator Distribusi

Pada bab ini penulis membahas tentang pengamanan transformator distribusi dan jenis-jenis pengamanan pada transformator distribusi.

Bab III : Metode Penelitian

Berisi metode penelitian, tempat, waktu penelitian, flowchart dan teknik pengumpulan data dan teknik analisis data

Bab IV : Gangguan Pada Transformator Distribusi 20 KV

Pada bab ini membahas tentang penyebab yang dijumpai, menghitung rating fuse link agar sesuai dengan kapasitas transformator, juga membahas bagaimana cara yang lebih baik untuk mengatasi gangguan pada transformator distribusi 20 KV.

Bab V : Kesimpulan Dan Saran

Pada bab ini akan menarik kesimpulan dan saran dari pembahasan di atas.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Transformator Distribusi

Transformator adalah peralatan pada tenaga listrik yang berfungsi untuk memindahkan/menyalurkan tenaga listrik arus bolak-balik tegangan rendah ke tegangan menengah atau sebaliknya, pada frekuensi yang sama. Sedangkan prinsip kerjanya melalui kopling magnet atau induksi magnet, dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya.

Transformator distribusi digunakan untuk membagi/menyalurkan arus atau energi listrik dengan tegangan distribusi supaya jumlah energi yang tercecer dan hilang pada saluran tidak terlalu banyak. Untuk mengurangi panas akibat pembebanan pada transformator, maka diperlukan pendinginan. Menurut jenis pendinginannya, transformator distribusi dibedakan menjadi 3 macam, yaitu :

1. Transformator konvensional
2. Transformator lengkap dengan pengamanan sendiri
3. Transformator lengkap dengan pengamanan pada sisi sekunder

Transformator konvensional, peralatan sistem pengamanannya terdapat diluar transformator, sedangkan transformator dengan pengamanan sendiri terdapat di dalam transformator itu sehingga dikenal juga dengan Transformator Berpengaman Sendiri (BPS). Untuk maksud penyesuaian dengan tegangan beban,

pada belitan sisi tegangan tinggi sering diberi sadapan (tapping), sehingga dapat dipilih sampai 5% diatas atau 10% dibawah tegangan nominalnya.

Transformator distribusi adalah merupakan suatu komponen yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Kerusakan pada transformator distribusi menyebabkan kontinuitas pelayanan terhadap konsumen akan terganggu (terjadi pemutusan aliran listrik atau pemadaman). Pemadaman merupakan suatu kerugian yang menyebabkan biaya-biaya pembangkitan akan meningkat tergantung harga KWH yang tidak terjual. Pemilihan rating transformator distribusi yang tidak sesuai dengan kebutuhan beban akan menyebabkan efisiensi menjadi kecil, begitu juga penempatan lokasi transformator. Distribusi yang tidak cocok mempengaruhi drop tegangan ujung pada konsumen atau jatuhnya/turunnya tegangan ujung saluran/konsumen.

Distribusi yang tepat, rating sesuai dengan kebutuhan beban akan menjaga tegangan jatuh pada konsumen dan akan menaikkan efisiensi penggunaan transformator distribusi. Jadi transformator distribusi merupakan salah satu peralatan yang perlu dipelihara dan dipergunakan sebaik mungkin (seefisien mungkin), sehingga keandalan/kontinuitas pelayanan dapat terjamin.

Bagian-bagian dari transformator :

1. Inti Besi (*Core*)

Inti besi tersebut berfungsi untuk membangkitkan fluksi yang timbul karena arus listrik dalam belitan atau kumparan transformator, sedang bahan ini terbuat dari lempengan-lempengan baja tipis, hal ini dimaksudkan untuk mengurangi panas yang diakibatkan oleh arus eddy (eddy current).

2. Kumparan Primer dan Kumparan Sekunder

Kawat email yang berisolasi terbentuk kumparan serta terisolasi baik antar kumparan maupun antara kumparan dan inti besi. Terdapat dua kumparan pada inti tersebut yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder, bila salah satu kumparan tersebut diberikan tegangan maka pada kumparan akan membangkitkan fluksi pada inti serta menginduksi kumparan lainnya sehingga pada kumparan sisi lain akan timbul tegangan. Kumparan sekunder dinamakan enamed drad, sedangkan kumparan sekunder dinamakan enamel wire. Enamel drad berukuran lebih besar dari kumparan enamel wire.

3. Minyak Transformator

Minyak transformator pada suatu transformator daya harus memiliki daya hantar panas yang baik agar dapat membawa panas yang terjadi pada inti dan kumparan medium sekitarnya. Kekuatan dielektrik sistem isolasi dan umur transformator bergantung pada kualitas minyak isolasi, oleh karena itu minyak isolasi yang digunakan transformator harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- Mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi.
- Mempunyai daya hantar panas yang baik.
- Mempunyai berat jenis yang rendah. Jika berat jenis minyak rendah, maka partikel partikel yang, melayang di dalam minyak akan segera mengendap pada dasar tangki. Hal ini sangat membantu dalam mempertahankan homogenitas minyak.

- Memiliki kekentalan yang rendah. Minyak yang encer lebih mudah dialirkan atau bersirkulasi, sehingga mendinginkan transformator lebih baik,
- Memiliki titik tuang rendah. Minyak dengan titik tuang yang rendah akan berhenti mengalir pada temperatur yang rendah.
- Mempunyai titik nyala yang tinggi. Karakteristik titik nyala mempengaruhi penguapan minyak. Jika titik nyala minyak rendah, maka minyak mudah menguap. Ketika minyak menguap, volumenya berkurang, minyak semakin kental dan reaksi dengan udara di atas permukaan minyak membentuk bahan yang dapat meledak.
- Tidak merusak material isolasi dan material lain transformator .
- Unsur kimianya harus stabil agar usia pemakaiannya panjang.

Menurut SPLN 49-1-1982, spesifikasi minyak isolasi baru adalah seperti diberikan pada Lampiran 5, sedangkan spesifikasi minyak isolasi yang sudah pernah dipakai diberikan pada Lampiran 6.

Biasanya, setelah suatu transformator beroperasi dalam waktu lama, akan terjadi pengasaman pada minyak isolasinya. Asam yang terjadi pada minyak cenderung mengakibatkan isolasi kumparan rapuh dan mudah retak, terutama ketika dikenai tekanan mekanik yang terjadi ketika kumparan dialiri arus hubung singkat. Tingkat keasaman yang tinggi sering ditandai dari bau yang menyengat. Pengasaman dalam minyak diikuti dengan pembentukan lumpur yang mengendap dan dapat menyumbat lorong-lorong pendingin, sehingga pembuangan panas terhambat dan temperatur minyak meninggi. Hal ini dapat mengakibatkan

tembus listrik termal. Oleh karena itu, tingkat keasaman minyak transformator perlu diperiksa secara teratur, minimal sekali dalam setahun. Tingkat keasaman dinyatakan dari hasil pengujian beberapa sampel. Ukuran yang digunakan adalah banyaknya potasium hidroksida yang dibutuhkan untuk menetralkan keasaman 1 gram sampel. Jika tingkat keasaman mencapai 0,5, minyak harus dikondisikan. Belitan primer dan sekunder pada inti besi pada transformator terendam minyak transformator, hal ini dimaksudkan agar panas yang terjadi pada kedua kumparan dan inti transformator dapat didinginkan oleh minyak transformator dan selain itu minyak tersebut juga sebagai isolasi pada kumparan dan inti besi.

4. Isolator Bushing

Konstruksi suatu bushing sederhana terdiri dari inti atau konduktor, bahan dielektrik dan flens yang terbuat dari logam. Fungsi utama adalah menyalurkan arus dari bagian dalam transformator ke terminal luar dan bekerja pada tegangan tinggi. Dengan bantuan flens isolator bushing diikatkan pada badan peralatan yang dibumikan. Bahan bushing terbuat dari porselen atau damar tuang (Peralatan tegangan tinggi bab 8 hal, 168)

Bushing yang terhubung dengan kumparan tegangan tinggi disebut juga dengan bushing primer dan bushing yang terhubung dengan sisi tegangan rendah disebut bushing sekunder, jumlah bushing primer ada tiga yaitu untuk fasa R, S dan T sedangkan jumlah bushing sekunder ada empat yaitu fasa R, S, T dan Netral, bushing sekunder berukuran lebih kecil dibandingkan dengan bushing primer.

5. Tangki dan Konservator

Bagian-bagian transformator yang terendam minyak transformator berada dalam tangki, sedangkan untuk pemuaian minyak tangki dilengkapi dengan konservator yang berfungsi untuk menampung pemuaian minyak akibat perubahan temperature.

6. Katub Pembuangan dan Pengisian (*oil gauge*)

Katup pembuangan pada transformator berfungsi untuk menguras pada penggantian minyak transformator, hal ini terdapat pada transformator di atas 100 KVA, sedangkan katup pengisian berfungsi untuk menambahkan atau mengambil contoh minyak pada transformator.

7. Tingkatan Oli (*Oil Level*)

Fungsi dari oil level tersebut adalah untuk mengetahui minyak pada tangki transformator, oil level ini pun hanya terdapat pada transformator di atas 100 KVA.

8. Indikator Suhu Transformator

Untuk mengetahui serta memantau keberadaan temperature pada oil transformator saat beroperasi, untuk transformator yang berkapasitas besar indikator limit tersebut dihubungkan dengan rele temperature.

9. Sirkulasi Transformator

Karena naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyaknya akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak ke luar dari tangki, sebaliknya bila suhu turun, minyak akan menyusut maka udara luar akan masuk ke dalam tangki. Kedua

proses tersebut di atas disebut sirkulasi transformator, akibatnya permukaan minyak akan bersinggungan dengan udara luar, udara luar tersebut lembab. Oleh sebab itu pada ujung pernapasan diberikan alat dengan bahan yang mampu menyerap kelembaban udara luar yang disebut kristal zat Hygrokopsis (*Dilicagel*).

10. Pendingin Transformator

Perubahan temperature akibat perubahan beban maka seluruh komponen transformator akan menjadi panas, guna mengurangi panas pada transformator dilakukan pendingin pada transformator, guna mengurangi pada transformator dilakukan pendinginan pada transformator. Sedangkan cara pendinginan transformator terdapat tiga macam yaitu :

a ONAN (*Oil Natural Air Natural*)

Sistem pendingin ini menggunakan sirkulasi minyak dan sirkulasi udara secara alamiah. Sirkulasi minyak yang terjadi disebabkan oleh perbedaan berat jenis antara minyak yang dingin dengan minyak yang panas.

b ONAF (*Oil Natural Air Force*)

Sistem pendingin ini menggunakan sirkulasi minyak secara alami sedangkan sirkulasi udaranya secara buatan, yaitu dengan menggunakan hembusan kipas angin yang digerakkan oleh motor listrik. Pada umumnya operasi transformator dimulai dengan ONAN atau dengan ONAF tetapi hanya sebagian kipas angin yang berputar. Apabila suhu transformator sudah semakin meningkat, maka kipas angin yang lainnya akan berputar secara bertahap.

c OFAF (*Oil Force Air Force*)

Pada sistem ini, sirkulasi minyak digerakkan dengan menggunakan kekuatan pompa, sedangkan sirkulasi udara menggunakan kipas angin.

11. Tap Canger Transformator (Perubahan Tap)

Tap changer adalah alat perubah pembanding transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang sesuai dengan tegangan sekunder yang diinginkan dari tegangan primer yang berubah-ubah. Tiap changer hanya dapat dioperasikan pada keadaan transformator tidak bertegangan atau disebut dengan “*Off Load Tap Changer*” serta dilakukan secara manual.

12. Paking

Paking terbuat dari campuran karet dan isolator yang berfungsi sebagai isolator dan penyekat agar minyak pendingin tidak merembes atau tumpah keluar dari bodi transformator . Paking terdiri dari paking buashing primer dan paking sekunder, serta paking case.

13. Name Plate

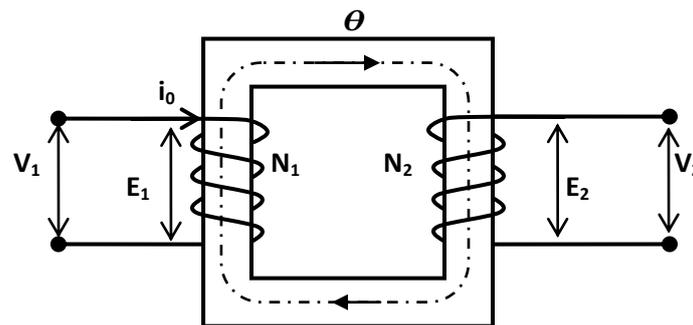
Name plate adalah data spesifikasi transformator distribusi dilengketkan pada casing transformator yang bertuliskan antara lain :

1. Daya pengenal
2. Merek Transformator
3. Tahun Pembuatan
4. Nomor Seri,
5. Phasa transformator
6. Pola Hubungan Delta /Y

7. Sistem Pendinginan
8. Nama Vendor Transformator Distribusi
9. Taping

2.1.1. Prinsip kerja transformator

Rangkaian dasar dari transformator dapat dilihat pada Gambar 2.1:



Gambar 2.1. Rangkaian dasar transformator

Keterangan :

- V_1 = tegangan primer
- V_2 = tegangan skunder
- E_1 = ggl induksi pada kumparan primer
- E_2 = ggl induksi pada kumparan skunder
- I_0 = arus pada kumparan primer
- N_1 = jumlah belitan kumparan primer
- N_2 = jumlah belitan kumparan skunder

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoid, akan mengalirlah arus primer I_0 yang juga sinusoid dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni. I_0 akan

tertinggal 90° dari V₁. Arus primer I₀ menimbulkan fluks (ϕ) yang sefasa dan juga berbentuk sinus.

Fluks pada saat t dinyatakan dengan pernyataan ϕ(t) = ϕ_m sin ω t, (dimana ϕ_m adalah harga fluks maksimum dalam satuan weber) sehingga GGL induksi pada kumparan primer adalah :

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2.1)$$

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi_m \sin \omega t}{dt}$$

$$e_1 = N_1 \omega \phi_m \cos \omega t$$

$$e_1 = N_1 \omega \phi_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \dots\dots\dots (2.2)$$

Dari Persamaan (2.2) dapat dibuktikan bahwa, fluks magnet sinus akan menimbulkan GGL induksi fungsi sinus. GGL induksi akan ketinggalan 90° terhadap fluks magnet.

$$e_1 = \frac{2\pi \cdot f \cdot N_1 \phi_m}{\sqrt{2}}$$

$$e_1 = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \phi_m \dots\dots\dots (2.3)$$

dengan cara yang sama, didapat :

$$e_2 = 4,44 \cdot N_2 \cdot f \cdot \phi_m \dots\dots\dots (2.4)$$

Apabila transformator dianggap ideal, sehingga tidak terdapat kerugian daya maka daya input (P_{in}) sama dengan daya out-put (P_{out}), maka didapat:

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

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dengan mengabaikan adanya kerugian daya, maka didapatkan:

$$a = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{E_1}{E_2} \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana :

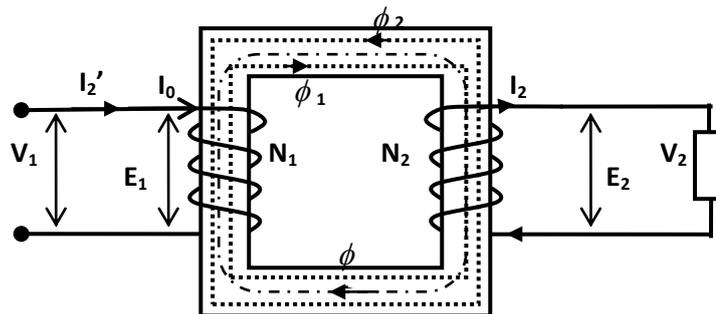
a : adalah nilai perbandingan lilitan transformator (turn ratio).

a < 1, maka transformator berfungsi untuk menaikkan tegangan (step up transformator).

a > 1, maka transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan (step down transformator).

2.1.2. Transformator Berbeban

Transformator dalam keadaan berbeban pada Gambar 2.2 :



Gambar 2.2 . Transformator dalam keadaan berbeban

Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks (ϕ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_M , dengan kata lain pada sekunder yang akan menimbulkan ϕ_2 dimana ϕ_2 akan berlawanan ϕ_1 sumber primer yang di sebabkan oleh arus I_0 . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus I_2' , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I_2' \dots\dots\dots (2.8)$$

Bila rugi besi diabaikan (I_c diabaikan) maka :

$$I_0 = I_M \dots\dots\dots (2.9)$$

$$I_1 = I_M + I_2' \dots\dots\dots (2.10)$$

Untuk menjaga agar fluks tetap tidak berubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan I_M saja, berlaku hubungan :

$$N_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2 \dots\dots\dots (2.11)$$

$$N_1 I_M = N_1 (I_M + I_2') - N_2 I_2 \dots\dots\dots (2.13)$$

Hingga

$$N_1 I_2' = N_2 I_2 \dots\dots\dots 2.14)$$

Karena nilai I_M dianggap kecil maka :

$$I_1 = I_2' \dots\dots\dots (2.15)$$

Jadi :

$$N_1 \cdot I_1 = N_2 \cdot I_2 \text{ atau } \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \dots\dots\dots (2.16)$$

2.2. Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik secara keseluruhan, sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya besar (Bulk Power Source) sampai ke konsumen. Gardu induk akan menerima daya dari saluran transmisi kemudian menyalurkannya melalui saluran distribusi primer menuju gardu distribusi. di Indonesia tegangan menengah adalah 20 KV. Saluran 20 KV ini menelusuri jalan-jalan di seluruh kota, dan merupakan sistem distribusi primer. Di tepi-tepi jalan, biasanya berdekatan dengan persimpangan terdapat gardu-gardu distribusi (GD). Yang mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah melalui transformator distribusi. Melalui

tiang-tiang listrik yang terlihat di tepi jalan, tenaga listrik tegangan rendah disalurkan kepada konsumen.

Sistem jaringan distribusi terdiri dari dua bagian yaitu :

a Jaringan distribusi primer

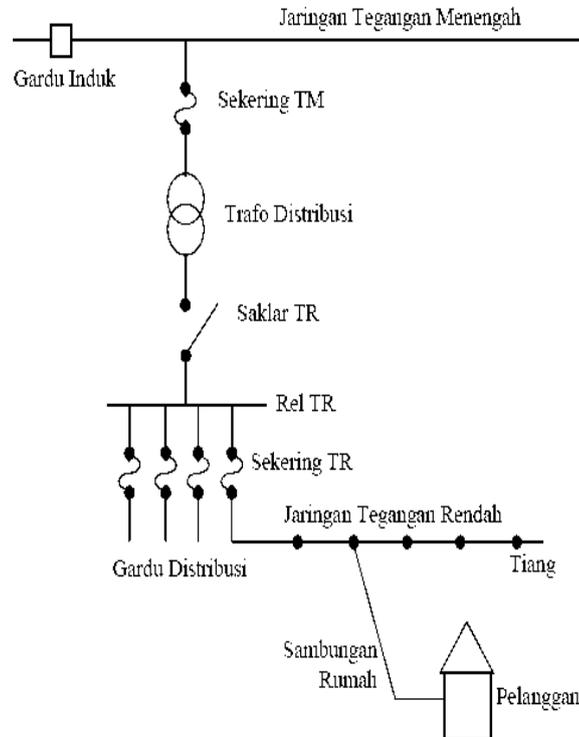
Jaringan distribusi primer merupakan bagian dari sistem distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan atau menyalurkan tenaga listrik dari pusat suplai daya besar atau disebut gardu induk ke pusat-pusat beban. Jaringan distribusi di Indonesia jaringan distribusi bertegangan 20 KV.

b Jaringan distribusi sekunder.

Sistem distribusi sekunder juga merupakan dari sistem distribusi, yang bertugas untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik secara langsung dari gardu distribusi ke konsumen, seperti untuk mensuplai tenaga listrik pada daerah perumahan biasa (kecil), pada industri ringan di kota-kota maupun di pedesaan, untuk penerangan jalan dan sebagainya. Sistem jaringan yang digunakan untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik tersebut dapat menggunakan sistem satu fasa dengan dua kawat atau sistem tiga fasa dengan empat kawat. Di Indonesia, tegangan rendah adalah 220/380 volt, dan merupakan sistem distribusi sekunder.

Masalah-masalah yang sering dihadapi dalam suatu sistem distribusi adalah bagaimana caranya menyalurkan daya listrik ke pelanggan sebaik-baiknya untuk suatu saat tertentu dan waktu yang akan datang

Memperlihatkan hubungan tegangan menengah ke tegangan rendah dan konsumen pada Gambar 2.3 :



Gambar 2.3. Hubungan Tegangan Menengah Ke Tegangan Rendah Dan Konsumen

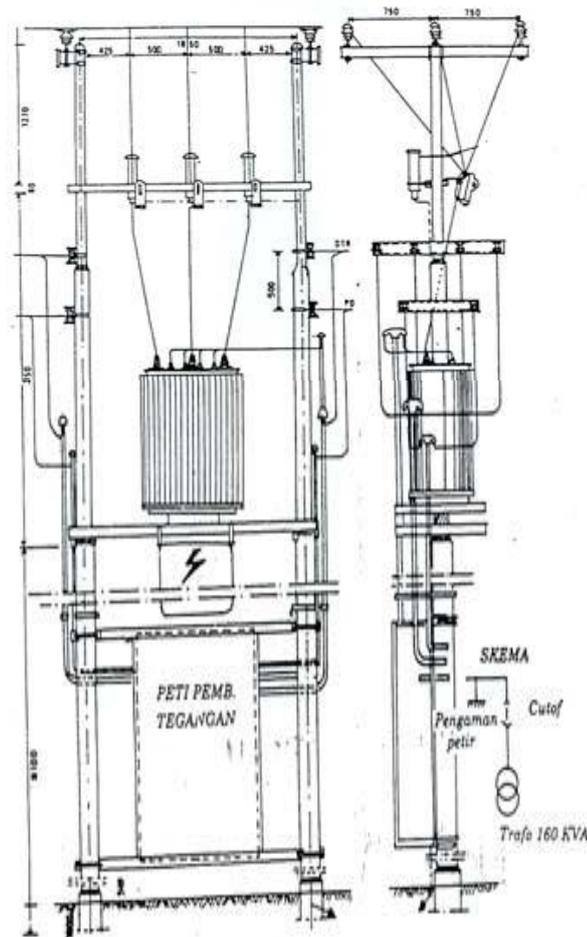
Pada suatu sistem distribusi terdapat beberapa syarat yang harus terpenuhi agar keandalan dalam penyaluran sistem distribusi dapat berjalan dengan baik, antara lain :

- 1 Tegangan yang tersalurkan harus stabil.
- 2 Gangguan pelayanan tidak boleh sering terjadi
- 3 Gangguan terhadap pelayanan tidak oleh terlalu lama, dan daerah yang mengalami gangguan segera dibatasi agar tidak merambat ke daerah lain.
- 4 Biaya peralatan disesuaikan dengan kebutuhan (ekonomis).

2.2.1. Gardu Distribusi

Gardu distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk membagikan/mendistribusikan tenaga listrik pada beban konsumen baik konsumen tegangan menengah maupun konsumen tegangan rendah.

Gardu distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan primer 20 KV ke jaringan sekunder 380/220 Volt, gardu distribusi sebagai salah satu bagian sistem yang perlu dipelihara dengan sistemnya. Sebagian besar pada jaringan distribusi tegangan tinggi (primer) sekarang ini dipakai transformator tiga phasa untuk jenis out door, konstruksi gardu distribusi terlihat pada Gambar 2.4 :

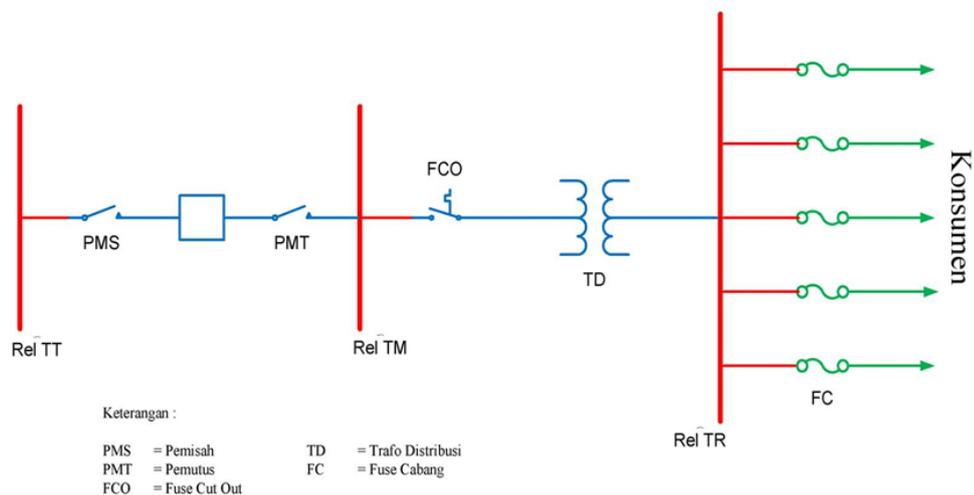


Gambar 2.4. Konstruksi Gardu Distribusi

2.2.2. Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik dengan melalui peralatan-peralatan sbb:

- Papan pembagi pada transformator distribusi,
- Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder).
- Saluran Layanan Pelanggan (SLP) (ke konsumen/pemakai)
- Alat Pembatas dan pengukur daya (kWh meter) serta fuse atau pengaman pada pelanggan. Terlihat komponen sistem distribusi pada Gambar 2.5:



Gambar. 2. 5. Komponen Sistem Distribusi

2.2.3. Tegangan Sistem Distribusi Sekunder

Ada bermacam-macam sistem tegangan distribusi sekunder menurut standar; (1) EEI : Edison Electric Institut, (2) NEMA : (National Electrical Manufactures Association), pada dasarnya tidak berbeda dengan sistem distribusi DC, faktor utama yang perlu diperhatikan adalah besar tegangan yang diterima pada titik beban mendekati nilai nominal, sehingga peralatan/beban dapat dioperasikan secara optimal.

Ditinjau dari cara pengawatannya, saluran distribusi AC dibedakan atas beberapa macam tipe dan cara pengawatan, ini bergantung pula pada jumlah fasanya, yaitu:

1. *Sistem satu fasa dua kawat 220 Volt*
2. *Sistem satu fasa tiga kawat 220/240 Volt*
3. *Sistem tiga fasa empat kawat 220/240 Volt*
4. *Sistem tiga fasa tiga kawat 240 Volt*
5. *Sistem tiga fasa empat kawat 220/380 Volt*

PT. PLN Medan menggunakan sistem tegangan 220/380 Volt. Sedangkan pemakai listrik yang tidak menggunakan tenaga listrik dari PT. PLN, menggunakan salah satu sistem di atas sesuai dengan standar yang ada. Pemakai listrik yang dimaksud umumnya mereka bergantung kepada negara pemberi pinjaman atau dalam rangka kerja sama, dimana semua peralatan listrik mulai dari pembangkit (generator set) hingga peralatan kerja (motor-motor listrik) di suplai dari negara pemberi pinjaman/kerja sama tersebut. Sebagai anggota, IEC (International Electrotechnical Commission), Indonesia telah mulai menyesuaikan

sistem tegangan menjadi 220/380 Volt saja, karena IEC sejak tahun 1967 sudah tidak mencantumkan lagi tegangan 127 Volt.

Sistem Distribusi Tegangan Rendah merupakan bagian hilir dari suatu sistem tenaga listrik pada tegangan distribusi di bawah 1 Kilo Volt langsung kepada para pelanggan tegangan rendah.

1. Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

- a. Sistem Distribusi Tegangan Rendah merupakan bagian hilir dari suatu sistem tenaga listrik pada tegangan distribusi di bawah 1 Kilo Volt langsung kepada para pelanggan tegangan rendah.
- b. Radius operasi jaringan distribusi tegangan rendah dibatasi oleh :
 - Susut Tegangan yang disyaratkan.
 - Luas penghantar jaringan.
 - Distribusi pelanggan sepanjang jalur jaringan distribusi.
 - Sifat daerah pelayanan (desa, kota).
 - Kelas pelanggan (pada beban rendah, pada beban tinggi)
- c. Umumnya radius pelayanan berkisar 350 meter. Di Indonesia (PLN) susut tegangan diizinkan 5% - 10% dari tegangan operasi
- d. Gardu distribusi.

Jaringan distribusi tegangan rendah dimulai dari sumber yang disebut Gardu Distribusi mulai dari panel hubung bagi TR keluar didistribusikan. Untuk setiap sirkit keluar melalui pengaman arus disebut “penyulang / *feeder*”.

2. Struktur Jaringan

Struktur jaringan adalah radial murni atau radial open loop (bentuk tertutup namun operasi radial). Jarang sekali pelanggan dipasok dengan tingkat keandalan tinggi secara tertutup (loop) baik dari satu sumber ataupun dari sumber berlainan.

3. Komponen Perlengkapan Utama

- a. Bahan Penghantar memakai 2 jenis : Kabel baik kabel tunggal, jamak atau berpilin (twisted).
- b. Tiang penyangga memakai :
 - Tiang besi panjang 7 meter atau 9 meter dibawah saluran udara.
 - Tiang beton, dengan panjang yang sama.
 - Tiang kayu (sudah jarang dipakai).
 - Pada daerah padat bangunan penghantar dengan konstruksi khusus.
 - Sistem tenaga listrik pada tegangan distribusi dibawah 1 Kilo Volt langsung kepada para pelanggan tegangan rendah.

2. Sistem Tegangan

- a. Sistem tegangan yang digunakan yaitu:

Sistem 1 fasa (fasa satu) : 220 Volt
- b. Sistem tegangan dipilih mengikuti konsep teknis (Distribution System Engineering) yang dianut satu sama lain dapat berbeda, misalnya :
 - Sistem Kontinental : 3 fasa-3 kawat
(Distribution Substation Concept) 3 fasa-4 kawat
 - Sistem Amerika : 2 fasa-3 netral (Multi Grounded)
 - Sistem Kanada : 1 kawat (Swel)

2.2.4 Material Perlengkapan Kontruksi Jaringan Distribusi Tegangan Rendah

Adapun pemakaian material perlengkapan kontruksi jaringan distribusi tegangan rendah adalah sebagai berikut:

1. Komponen dan perlengkapan konstruksi jaringan kabel udara
 - a. Tiang Bracket (*Pole Bracket*)
 - b. Penjepit Suspensi (*Suspension Clamp*)
 - c. Regangan Penjepit (*Strain Clamp*)
 - d. Kabel twisted
 - e. Kabel Sendi (*Cable Joint/ Joint Sleeve*)
 - f. Penghubung (*Link*)
 - g. Konektor Cabang (*Brach Connector*)
 - h. Pengubah Gesper (*Turn Buckle*)
 - i. Ujung Isolasi (*Isolating Tip*)
 - j. *Plastic Strap* (Tali Pelastik)
 - k. Perlindungan Mekanik (*Mechanical Protection*)
 - l. Elektroda pentanahan
 - m. Penghantar pentanahan
 - n. Pipa Galvanis ½ inchies, 3 inchies, 4 inchies

2. Pemakaian Dan Konstruksi Jaringan Kabel Twisted

Pada tiap tiang memakai pole bracket yang diikat dengan stainless steel band sebagai penggantung strain clamp dan suspension clamp. Untuk tiang sudut lebih besar dari 25° memakai dua strain clamp, di bawah sudut 25° memakai satu strain clamp. Ujung kabel twisted ditutup dan dilindungi dengan insulating tip dan dilindungi dengan pelindung mekanis dari tabung

PVC 2 inci. Sambungan kabel harus dilakukan pada tiang dengan dua strain clamp dan pada tiang awal. Sambungan pencabangan harus dengan konektor yang diberi grass / pelindung air. Plastic strap untuk mengikat kabel agar tidak terurai. Semua komponen berwarna hitam kecuali tabung pelindung mekanis.

3. Peralatan Konstruksi Jaringan Kabel Twisted

Peralatan Kerja utama yang dipakai pekerjaan konstruksi untuk satu tim adalah:

- a. Gulungan Rol (*Trailer Rol Haspel*)
- b. Kerekan Tanah (*Ground Hoist*)
- c. Kawat Baja Penarik Kabel
- d. Penyambung (*Stringing blok*)
- e. Penekan Hidrolik (*Hydraulic Press*)
- f. Dinamometer
- g. Grid penarik ujung kawat penggantung (messenger)
- h. Katrol Blok (*Tackle block*)
- i. Penarik Otomatis
- j. Tali
- k. Aneka material

2.2.5. Tiang Saluran Tegangan Rendah

Tiang saluran tegangan rendah merupakan jenis tiang, panjang tiang dan jarak aman tiang untuk saluran tegangan rendah yang akan digunakan. Penggunaan tiang pada tegangan rendah disesuaikan dengan kebutuhannya.

- a. Jenis Tiang

Pada umumnya tiang listrik yang sekarang digunakan pada Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) terbuat dari beton bertulang dan tiang besi. Tiang kayu sudah jarang digunakan karena daya tahannya (umumnya) relatif pendek dan memerlukan pemeliharaan khusus. Sedang tiang besi jarang digunakan karena harganya relative mahal dibanding tiang beton, disamping itu juga memerlukan biaya pemeliharaan rutin.

Fungsi tiang listrik dibedakan menjadi dua yaitu tiang pemikul dan tiang tarik. Tiang pemikul berfungsi untuk memikul konduktor dan isolator, sedang tiang tarik fungsinya untuk menarik konduktor. Sedang fungsi lainnya disesuaikan dengan kebutuhan sesuai dengan posisi sudut tarikan konduktornya. Bahan baku pembuatan tiang beton untuk tiang tegangan menengah dan tegangan rendah adalah sama, hanya dimensinya yang berbeda.

Tiang besi jarang digunakan karena harganya relative mahal dibanding tiang beton, disamping itu memerlukan biaya pemeliharaan rutin. Konstruksi tiang beton untuk jaringan tegangan rendah pada Gambar 2.6:



Gambar 2.6. Tiang Beton Untuk Jaringan Tegangan Rendah

b. Menentukan/Memilih Panjang Tiang

Tiang beton untuk saluran tegangan menengah dan tegangan rendah dipilih berdasarkan spesifikasi sebagai berikut:

Pada jaringan tegangan rendah yang menggunakan tiang bersama dengan jaringan tegangan menengah maka jarak gawang (Span) harus dijaga agar tidak lebih dari 60 meter. Di dalam menentukan panjang tiang beberapa faktor yang harus dipertimbangkan adalah;

1. Jarak aman antara saluran tegangan menengah dan tegangan rendah,
2. Posisi transformator tiang
3. Tinggi rendahnya transformator dengan penyangga dua tiang.

Jarak aman yang diperlukan untuk menentukan panjang tiang. Panjang tiang minimum untuk tegangan menengah 11 meter (9,2 meter di atas tanah) dan untuk tegangan rendah 9 meter (7,5 meter di atas tanah).

c. Jarak Aman Tiang Tegangan Rendah

Tiang 9 meter type 200 daN dapat digunakan sampai jarak tiang 60 meter, sedang tiang 9 meter type 100 dan dapat digunakan terbatas sampai jarak tiang 40 meter, bahkan lebih pendek dengan pengurangan beban kawat, karena batas ketahanan momen hampir nol pada pada jarak(span) 40 meter, bila batas minimum penggunaan tiang beton pada jaring SUTR-TIC khusus.

Tekanan angin pada konduktor dan tiang mendekati momen ketahanan sebesar 724 kgm. Hal ini dapat dirinci sebagai berikut:

A = Momen pembengkok oleh tekanan angin pada konduktor = 522 kgm untuk jarak tiang 40 meter.

B = Momen pembengkok oleh tekanan angin pada tiang = 214 kgm

$A + B = 736 \text{ kgm} \div 724 \text{ kgm}$. Ini berarti batas momen ketahanan tidak terlampaui untuk penurunan kawat.

2.2.6. Pengoperasian Jaringan Distribusi

Penyaluran tenaga listrik dari gardu-gardu induk sampai kepada konsumen ataupun beban diperlukan suatu jaringan distribusi, dimana pada jaringan distribusi tersebut timbul rugi-rugi daya yang terdiri dari kerugian pada transformator-transformator distribusi, dan kerugian pada saluran distribusi. Pengurangan atau meminimalkan rugi-rugi daya pada sistem berarti penghematan energi listrik yang berarti pula peningkatan kapasitas daya listrik.

Cara untuk mengatasi kerugian sistem adalah sebagai berikut :

1. Mengoptimalkan kapasitas saluran
 - a. Memilih kapasitas kVA/km yang sesuai berdasarkan pada pengaturan tegangan yang dibutuhkan dan faktor daya yang normal untuk dipakai pada jaringan distribusi tegangan rendah.
 - b. Memilih kapasitas MW/km untuk penghantar standar yang dipakai pada jaringan distribusi primer dengan demikian dapat membatasi panjang saluran primer.
2. Mengoptimalkan kapasitas transformator, tempat dan penggunaannya antara lain:
 - a. Memilih kapasitas transformator distribusi yang sesuai dengan catu daya konsumen untuk menjaga agar penurunan tegangan sekecil mungkin
 - b. Menempatkan transformator distribusi yang tepat
 - c. Mengoptimalkan penggunaan transformator distribusi berdasarkan faktor beban yang ada
3. Menjaga tingkat tegangan pada sistem distribusi
4. Pemasangan kapasitor parallel
5. Membatasi ketidakseimbangan pada catu daya tegangan rendah

Sebagai akibat dari beban yang tidak seimbang pada setiap fasa, komponen-komponen urutan negatif dan komponen-komponen urutan nol menyebabkan panasnya transformator, kabel-kabel dan motor-motor juga dapat menambah kerugian serta kerusakan motor-motor karena keadaan beban yang tidak seimbang.

Operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Gangguan adalah penghalang dari suatu sistem yang sedang beroperasi atau suatu keadaan dari sistem penyaluran tenaga listrik yang menyimpang dari kondisi normal. Suatu gangguan di dalam peralatan listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik keluar dari saluran yang seharusnya. Berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. \

Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fase atau hubung singkat fase ke tanah. Suatu gangguan hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi. Istilah gangguan identik dengan hubung singkat, sesuai standart ANSI/IEEE Std. 100-1992. Hubung singkat merupakan suatu hubungan abnormal (termasuk busur api) pada impedansi yang relatif rendah terjadi secara kebetulan atau disengaja antara dua titik yang mempunyai potensial yang berbeda. Istilah gangguan atau gangguan hubung singkat digunakan untuk menjelaskan suatu hubungan singkat. Tujuan menganalisis gangguan pada jaringan distribusi adalah :

1. Untuk menentukan arus maksimum dan minimum hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat dua fas, dan hubung singkat tiga fasa.

Kemampuan dari peralatan pengaman untuk mengurangi kerusakan-kerusakan pada saat terjadi gangguan, tidak hanya di pandang dari sudut ekonomis, tetapi juga harus dipandang dari segi keandalan, kecepatan kerja, selektif, serta sederhana.

Pada gardu distribusi terdapat beberapa peralatan yang penting, diantaranya yaitu :

2.3.1. Lightning Arrester (LA)

Lightning arrester (LA) atau penangkap petir berfungsi untuk melindungi peralatan sistem tenaga listrik terhadap tegangan surja dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkan ke tanah. Gambar 2.8 memperlihatkan bentuk dari lightning arrester. Berhubung dengan fungsinya itu, arrester ini harus dapat menahan tegangan untuk waktu yang tak terbatas dan harus dapat melakukan surja arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan. Terlihat arrester 20 kv pada Gambar 2.8 :



Gambar 2.8. Arrester 20 KV

Lightning Arrester atau penangkap petir berfungsi untuk melindungi peralatan sistem tenaga listrik terhadap tegangan surja dengan membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkan ke tanah. Gambar 9 memperlihatkan bentuk dari lightning arrester yang terpasang pada transformator distribusi. Alat pelindung terhadap tegangan surja berfungsi melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah. Berhubung dengan fungsinya itu, ia harus dapat menahan tegangan untuk waktu yang tak terbatas dan harus dapat melakukan surja arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan. Kecuali itu, sebuah alat pelindung yang baik mempunyai perbandingan perlindungan atau protective ratio yang tinggi, yaitu perbandingan antara tegangan surja maksimum yang diperbolehkan pada waktu pelepasan (discharge). Arrester petir atau disingkat arrester, atau sering disebut penangkap petir, adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir. Ia berlaku sebagai jalan pintas (by-pass) sekitar isolasi. Arrester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. Jadi pada kerja normal arrester itu berlaku sebagai isolator dan bila timbul surja dia berlaku sebagai konduktor, jadi melewatkan aliran arus yang tinggi. Setelah surja hilang, arrester harus dengan cepat kembali menjadi isolator, sehingga pemutus daya tidak sempat membuka. Berlainan dengan sela batang arrester dapat memutuskan arus susulan tanpa menimbulkan gangguan. Inilah salah satu fungsi terpenting dari arrester.

Arrester biasa dipasang pada saluran distribusi, hal ini dikarenakan tegangan distribusi lebih rendah daripada tegangan transmisi,

Persyaratan yang harus dipenuhi oleh arrester adalah sebagai berikut :

- a. Tegangan percikan (sparkover voltage) dan tegangan pelepasannya (discharge voltage), yaitu tegangan pada terminalnya pada waktu pelepasan, harus cukup rendah, sehingga dapat mengamankan isolasi peralatan. Tegangan percikan disebut juga tegangan gagal sela (gap breakdown voltage) sedangkan tegangan pelepasan disebut juga tegangan sisa (residual voltage) atau jatuh tegangan (voltage drop).
- b. Arrester harus mampu memutuskan arus dinamik dan dapat bekerja terus seperti semula. Batas dari tegangan system di mana arus usulan ini masih mungkin, disebut tegangan dasar (rated voltage) dari arrester.

Pada prinsipnya arrester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. Pada kondisi normal arrester berlaku sebagai isolator tetapi bila timbul surja arrester berlaku sebagai konduktor yang berfungsi melewatkan aliran arus yang tinggi ke tanah. Setelah arus hilang, arrester harus dengan cepat kembali menjadi isolator.

Pada dasar arrester terdiri dari dua bagian yaitu: sela api (spark gap) dan tahanan kran (valve resistor). Keduanya dihubungkan secara seri, batas atas dan bawah dari tegangan percikan ditentukan oleh tegangan sistem maksimum dan oleh tingkat isolasi peralatan yang dilindungi. Untuk penggunaan yang lebih khusus arrester mempunyai satu bahagian lagi yang disebut dengan tahanan katup dan sistem pengaturan atau pembagian tegangan (grading system).

Jika hanya melindungi isolasi terhadap bahaya kerusakan karena gangguan dengan tidak memperdulikan akibatnya terhadap pelayanan, maka cukup dipakai sela batang yang memungkinkan terjadinya percikan pada waktu tegangan mencapai keadaan bahaya. tegangan sistem bolak-balik akan tetap

mempertahankan busur api sampai pemutus bebannya dibuka. Dengan menyambung sela api ini dengan sebuah tahanan, maka kemungkinan api dapat dipadamkan, tetapi bila tahanannya mempunyai harga tetap, maka jatuh tegangannya menjadi besar sekali sehingga maksud untuk meniadakan tegangan lebih tidak terlaksana, dengan akibat bahwa maksud melindungi isolasi pun gagal. Oleh sebab itu disarankan memakai tahanan kran (valve resistor), yang mempunyai sifat khusus, yaitu tahanannya kecil sekali bila tegangan dan arusnya besar. Proses pengecilan tahanan berlangsung cepat yaitu selama tegangan lebih mencapai harga puncak.

Tegangan lebih dalam hal ini mengakibatkan penurunan drastis pada tahanan sehingga jatuh tegangannya dibatasi meskipun arusnya besar, bila tegangan lebih habis dan tinggal tegangan normal, tahanannya naik lagi sehingga arus susulannya dibatasi kira-kira 50 ampere. Arus susulan ini akhirnya dimatikan oleh sela api pada waktu tegangan sistemnya mencapai titik nol yang pertama sehingga alat ini bertindak sebagai sebuah kran yang menutup arus, dari sini didapatkan nama tahanan kran. Pada arrester modern pemadaman arus susulan yang cukup besar (200–300 A) dilakukan dengan bantuan medan magnet. Dalam hal ini, baik amplitude maupun lamanya arus susulan dapat dikurangi dan pemadaman dapat dilakukan sebelum tegangan sistem mencapai harga nol.

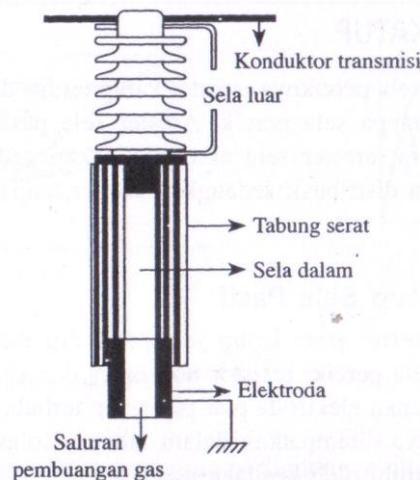
Tegangan dasar (*rated voltage*) yang dipakai pada lightning arrester adalah tegangan maksimum sistem, dimana lightning arrester ini harus mempunyai tegangan dasar maksimum tak melebihi tegangan dasar maksimum dari sistem, yang disebut dengan tegangan dasar penuh atau lightning arrester 100 %.

A. Jenis-Jenis Lightning Arrester

Lightning Arrester yang dipakai dalam sistem arus bolak-balik dapat digolongkan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu :

1. Lightning Arrester Jenis Expulsi

Lightning arrester jenis expulsi ini mempunyai dua celah api, yang satu berada diluar dan satu lagi berada dalam. Ketika terjadi tegangan lebih pada jaringan maka pada elektroda batang sebagai celah api 1 akan terjadi loncatan busur api (*flshover*). Loncatan busur api ini akan turun ke dalam tabung fiber (*fiber tube*) diantara elektroda atas dan bawah yang merupakan celah api 2. Temperatur pelepasan dari busur api akan menimbulkan tekanan dalam tabung fiber, sehingga tabung fiber akan menghasilkan uap gas. Makin tinggi temperatur busur api makin banyak uap gas yang dihasilkan. Uap gas yang dihasilkan oleh tabung fiber akan bercampur dengan busur api, sehingga akan membinasakan busur api dan mengusir uap gas yang tak berpenghantar ke luar tabung gas (*vent*). Dengan demikian daya busur api akan cenderung mengikuti pelepasan peralihan (*transient discharge*) ke ground tanpa ada kekuatan selama gelombang tegangan lebih terakhir. Gambar 2.9. memperlihatkan bentuk dari arrester jenis expulsi.



Gambar 2.9. Arrester Jenis Expulsi

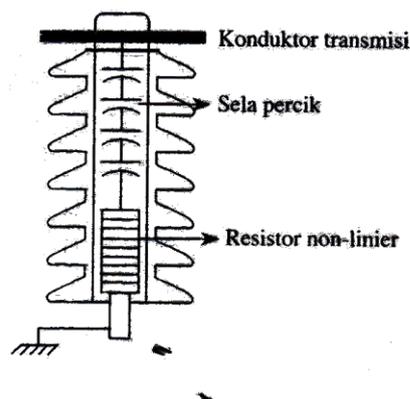
Prinsipnya terdiri dari sela percik yang berada dalam tabung serat dan sela percik yang berada di udara atau disebut juga sela seri. Bila ada tegangan surja yang tinggi sampai pada jepitan arrester kedua sela percik, yang diluar dan yang berada didalam tabung serat, tembus seketika dan membentuk jalan penghantar dalam bentuk busur api. Jadi arrester menjadi konduktor dengan impedansi rendah dan melalukan surja arus dan arus daya system bersama-sama. Panas yang timbul karena mengalirnya arus petir menguapkan sedikit bahan tabung serat, sehingga gas yang timbul akan menyembur pada api. Arus susulan dalam arrester jenis ini dapat mencapai harga yang tinggi sekali tetapi lamanya tidak lebih dari 1 (satu) atau 2 (dua) gelombang, dan biasanya kurang dari setengah gelombang. Jadi tidak menimbulkan gangguan.

Arrester jenis ekspulsi ini mempunyai karakteristik volt-waktu yang lebih baik dari sela batang dan dapat memutuskan arus susulan. Tetapi tegangan percik impulsnya lebih tinggi dari arrester jenis katup. Tambahan lagi kemampuan untuk memutuskan arus susulan tergantung dari tingkat arus hubung singkat dari sistem pada titik di mana arrester itu dipasang. Dengan demikian perlindungan dengan arrester jenis ini dipandang tidak memadai untuk perlindungan transformator daya, kecuali untuk system distribusi. Arrester jenis ini banyak juga digunakan pada saluran transmisi untuk membatasi besar surja yang memasuki gardu induk. Dalam penggunaan yang terakhir ini arrester jenis ini sering disebut sebagai tabung pelindung.

2. Lightning Arrester Jenis Katup (Valve)

Alat pengaman arrester jenis katup (*valve*) ini terdiri dari sebuah celah api (*spark gap*) yang dihubungkan secara seri dengan sebuah tahanan non linier atau tahanan katup (*valve resistor*). Dimana ujung dari celah api dihubungkan dengan kawat fasa, sedangkan ujung dari tahanan katup dihubungkan ke ground (tanah).

Saat terjadi tegangan lebih maka pada celah api akan terjadi percikan yang akan menyebabkan timbulnya bunga api (*arc*). Api percikan ini akan timbul terus menerus walaupun tegangan lebihnya sudah tidak ada. Untuk menghentikan percikan bunga api pada celah api tersebut, maka resistor non linier akan memadamkan percikan bunga api tersebut. Nilai tahanan non linier ini akan turun saat tegangan lebih menjadi besar. Tegangan lebih akan mengakibatkan penurunan secara drastis nilai tahanan katup, sehingga tegangan jatuh-nya dibatasi walaupun arusnya besar. Gambar 10. memperlihatkan rangkaian dan karekteristik pengaman arrester jenis katup (valve).



Gambar 2.10. Arrester Jenis Katup (Valve)

Arrester jenis katup ini terdiri dari sela pecik terbagi atau sela seri yang terhubung dengan elemen tahanan yang mempunyai karakteristik tidak linier. Tegangan frekuensi dasar tidak dapat menimbulkan tembus pada sela seri. Apabila sela seri tembus pada saat tibanya suatu surja yang cukup tinggi, alat tersebut menjadi pengahantar. Sela seri itu tidak dapat memutus arus susulan, dalam hal ini dibantu oleh arrester tak linier yang mempunyai karakteristik tahanan kecil untuk arus besar dan tahanan besar untuk arus susulan dari frekuensi dasar terlihat pada karakteristik volt ampere.

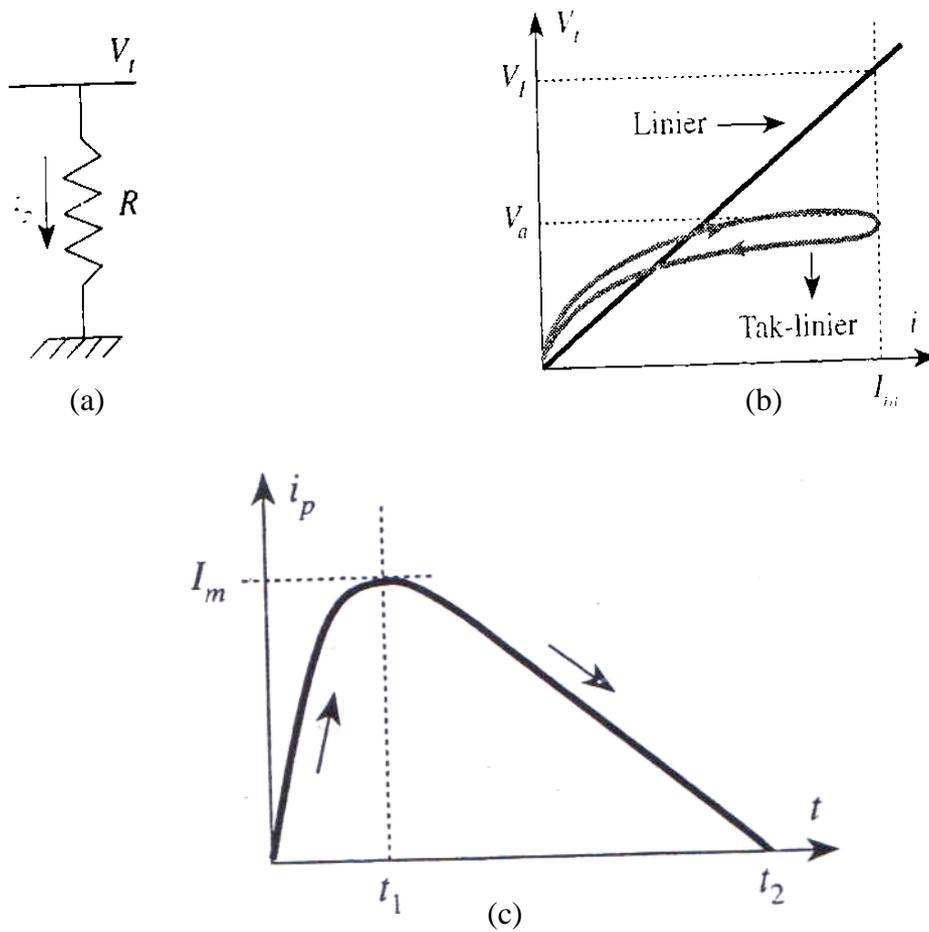
B. Karakteristik Arrester.

Arrester dipakai untuk melindungi peralatan sistem tenaga listrik maka perlu diketahui karakteristiknya sehingga arrester dapat digunakan dengan baik dalam pemakaiannya. Arrester mempunyai dua karakteristik dasar yang penting dalam pemakaiannya yaitu :

1. Tegangan rated 1,2/50 μ s yang tidak boleh dilampaui
2. Mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan (voltage limiting) bila dilalui oleh berbagai macam arus petir.

Arrester adalah suatu peralatan tegangan yang mempunyai tegangan ratingnya. Maka jelaslah bahwa arrester tidak boleh dikenakan tegangan yang melebihi rating ini, baik pada keadaan normal maupun dalam keadaan abnormal, oleh karena itu menjalankan fungsinya ia menanggung tegangan sistem normal dan tegangan lebih transiens 1,2/50 μ s Karakteristik pembatasan tegangan impuls dari arrester adalah harga yang dapat ditahan oleh terminal ketika melakukan arus- arus tertentu dan harga ini berubah dengan singkat baik sebelum arus mengalir maupun mulai bekerja. Batas termis ialah kemampuan untuk mengalirkan arus surja dalam waktu yang lama atau terjadi berulang-ulang tanpa menaikkan suhunya. Meskipun kemampuan arrester untuk menyalurkan arus sudah mencapai 65.000-100.000 ampere, tetapi kemampuannya untuk melakukan surja hubung terutama bila saluran menjadi panjang dan berisi tenaga besar masih rendah.

Rangkaian ekuivalen dan karakteristik arrester pada Gambar 2.11 :



Sumber : Peralatan Tegangan Tinggi Edisi Kedua : hal. 61

Gambar 2.11. Rangkaian Ekuivalen dan Karakteristik Arrester

Tekanan stress pada isolasi dapat dibuat serendah mungkin, suatu sistem perlindungan tegangan lebih perlu memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Dapat melepas tegangan lebih ke tanah tanpa menyebabkan hubungan singkat ke tanah (saturated ground fault)
- Dapat memutuskan arus susulan.
- Mempunyai tingkat perlindungan (protection level) yang rendah, artinya tegangan percikan sela dan tegangan pelepasannya rendah.

C. Penempatan Arrester.

Arrester ditempatkan sedekat mungkin dengan peralatan dilindungi untuk:

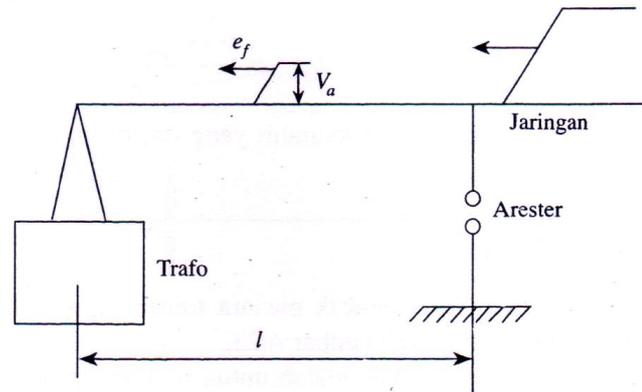
1. Untuk mengurangi peluang tegangan impuls merambat pada kawat penghubung arrester dengan peralatan yang dilindungi.
2. Saat arrester bekerja, gelombang tegangan impuls sisa merambat pada kawat penghubung transformator dengan arrester. Setelah gelombang tegangan itu tiba pada terminal transformator, gelombang tegangan tersebut akan dipantulkan, sehingga total tegangan pada terminal arrester dua kali tegangan sisa. Peristiwa ini dapat dicegah jika arrester dipasang langsung pada terminal transformator.
3. Jika kawat penghubung arrester dengan transformator yang dilindungi cukup panjang, maka induktansi kawat itu harus diperhitungkan. Misalkan induktansi kawat penghubung adalah L , tegangan sisa arrester adalah IR , dan kecuraman muka gelombang arus impuls adalah di/dt , maka tegangan yang tiba pada terminal transformator adalah:

$$V = IR + L \frac{di}{dt} \dots\dots\dots (4.13)$$

Kapasitor pada terminal peralatan yang dilindungi, maka kecuraman gelombang tegangan impuls yang menuju peralatan akan berkurang, sehingga di/dt berkurang, tidak menjadi masalah jika ada kawat penghubung arrester dengan peralatan yang dilindungi. Karena keterbatasan tempat, ada kalanya arrester ditempatkan dengan jarak tertentu dari peralatan yang dilindungi.

Jarak arrester dengan peralatan yang dilindungi berpengaruh dilindung besar tegangan yang tiba pada peralatan. Telah disebutkan sebelumnya, jika jarak arrester terlalu jauh, maka tegangan yang tiba pada peralatan dapat mencapai dua kali tegangan yang datang, hal ini dapat dijelaskan dengan konsep gelombang berjalan.

Penempatan transformator dan arrester terpisah pada Gambar 2.12 :



Gambar 2.12. Penempatan Transformator dan Arrester terpisah

2.3.2. Fuse Cut Out (FCO)/Fuse Link

Fuse cut out atau biasa disingkat FCO adalah peralatan proteksi yang bekerja apabila terjadi gangguan arus lebih. Alat ini akan memutuskan rangkaian listrik yang satu dengan yang lain apabila dilewati arus yang melewati kapasitas kerjanya. Prinsip kerjanya adalah ketika terjadi gangguan arus maka fuse pada cut out akan putus, seperti yang ada pada SPLN 64 tabung ini akan lepas dari pegangan atas, dan menggantung di udara, sehingga tidak ada arus yang mengalir ke sistem, adapun cara perlindungannya adalah dengan melelehkan fuse link, sehingga dapat memisahkan antara bagian yang sehat dan yang terganggu. Sedangkan fuse link itu sendiri adalah elemen inti dari FCO yang terletak di dalam fuse holder dan mempunyai titik lebur tertentu, jika beban jaringan sesudah FCO menyentuh titik lebur tersebut, maka fuse link akan meleleh dan akan memisahkan jaringan sebelum FCO dengan jaringan sesudah FCO.

Cut out biasanya digunakan pada jaringan distribusi 20 kV untuk proteksi transformator distribusi dari arus lebih akibat hubung singkat, dan juga diletakkan pada percabangan untuk proteksi jaringan, namun ada kelemahan dari pengamanan jenis ini, yaitu penggunaannya terbatas pada penyaluran daya yang kecil, serta

tidak dilengkapi dengan alat peredam busur api yang timbul pada saat terjadi gangguan hubung singkat.

Fuse Cut Out dalam hal ini adalah peralatan proteksi yang bekerja apabila terjadi gangguan arus lebih. Alat ini akan bekerja apabila dilewati arus yang melewati batas kapasitas kerjanya. Apabila terjadi gangguan maka elemen pelebur yang terletak pada tabung fiber akan meleleh dan terjadi busur api yang akan mengenai tabung fiber sehingga menghasilkan gas yang dapat segera mematikan busur api.

Konstruksi Gardu Distribusi pasangan luar tipe Portal terdiri atas *Fused Cut Out* (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur/ *fuse link type expulsion* dan *Lightning Arrester* (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir. Elektroda pembumian dipasang pada masing-masing lightning arrester dan pembumian titik netral transformator sisi Tegangan Rendah. Kedua elektroda pembumian tersebut dihubungkan dengan penghantar yang berfungsi sebagai ikatan penyama potensial yang digelar di bawah tanah. Terlihat pemutus beban 20 kv tipe fuse cut out pada Gambar 2.13



Gambar 2.13. Pemutus Beban 20 KV Tipe “*Fuse Cut Out*”

2.3.3. Fuse Link

Fuse cut out adalah suatu alat pengaman yang melindungi jaringan terhadap arus beban lebih (over load current) yang mengalir melebihi dari batas maksimum, yang disebabkan karena hubung singkat (short circuit) atau beban lebih (over load). Konstruksi dari fuse cut out ini jauh lebih sederhana bila dibandingkan dengan pemutus beban (circuit breaker) yang terdapat di Gardu Induk (sub-station). Akan tetapi fuse cut out ini mempunyai kemampuan yang sama dengan pemutus beban tadi.

Fuse cut out ini hanya dapat memutuskan satu saluran kawat jaringan di dalam satu arah. Apabila diperlukan pemutus saluran tiga fasa maka dibutuhkan fuse cut out sebanyak tiga buah. Penggunaan fuse cut out ini merupakan bagian yang terlemah di dalam jaringan distribusi. Sebab fuse cut out boleh dikatakan hanya berupa sehelai kawat yang memiliki penampang disesuaikan dengan besarnya arus maksimum yang diperkenankan mengalir di dalam kawat tersebut. Fuse cut out ini akan bekerja dengan cara meleburkan bagian dari komponennya (fuse link) yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya untuk itu. Gambar 2.13. memperlihatkan salah satu bentuk dari fuse cut out pada jaringan distribusi.

Perlengkapan fuse ini terdiri dari sebuah rumah fuse (fuse support), pemegang fuse (fuse holder) dan fuse link sebagai pisau pemisahannya. Pemilihan kawat yang digunakan pada fuse cut out ini didasarkan pada faktor lumer yang rendah dan harus memiliki daya hantar (conductivity) yang tinggi. Faktor lumer ini ditentukan oleh temperatur bahan tersebut.

Biasanya bahan-bahan yang digunakan untuk fuse cut out ini adalah kawat perak, kawat tembaga, kawat seng, kawat timbel atau kawat paduan dari bahan-bahan tersebut. Mengingat kawat perak memiliki konduktivitas lebih tinggi dari kawat tembaga, dan memiliki temperature 960°C , maka pada jaringan distribusi banyak digunakan.

Pada penggunaannya untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) adalah :

- a Pelebur sebagai pengaman tansformator distribusi
- b Pelebur sebagai pengaman jaringan bercabang
- c Koordinasi antara dua pelebur dalam hubungan seri.

Terlihat fuse link pada Gambar 2.14 :



Gambar 2.14. Fuse link

Kawat perak dipasangkan di dalam tabung porselin yang diisi dengan pasir putih sebagai pemadam busur api, dan menghubungkan kawat tersebut pada kawat fasa, sehingga arus mengalir melaluinya. Jenis fuse cut out ini untuk jaringan distribusi digunakan dengan saklar pemisah. Pada ujung atas dihubungkan dengan kontak-kontak yang berupa pisau yang dapat dilepaskan. Sedangkan pada ujung bawah dihubungkan dengan sebuah engsel.

A. Pemilihan Rating Fuse Link

Untuk memilih rating fuse link transformator distribusi, maka terlebih dahulu dihitung arus primer nominal transformator distribusi tersebut sebagai berikut:

$$I_{pn} = \frac{S}{\sqrt{3}.V} \text{ (Amp)} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

I_{pn} = Arus primer nominal transformator distribusi (phasa-netral)

S = Rating daya transformator distribusi (KVA)

V = Tegangan phasa-phasa (KV)

Pilih rating fuse link yang tersedia dengan besar arus diatas I_{pn} . Maksimum 2,5 kali arus primer nominal transformator distribusi. Kecuali pada konsumen khusus, rating fuse link harus sesuai dengan I_{pn} hasil perhitungan. Rating fuse link : 3, 5, 6, 8,10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100 Amp.

B. Fungsi FCO (fuse Cut Out)

Secara umum fungsi fuse cut out dalam suatu rangkaian listrik adalah untuk setiap saat menjaga atau mengamankan rangkaian berikut peralatannya atau perlengkapannya yang tersambung padanya dari kerusakan akibat arus yang melebihi arus pengenalnya. Kesempurnaan kerja fuse cut out tidak tergantung pada ketelitian pembuatannya, tetapi juga pada ketepatan cara penggunaan dan perawatannya. Jika fuse cut out tidak secara tepat digunakan dan dipelihara, dapat menyebabkan fuse cut out tidak berfungsi dengan baik sehingga waktu terjadinya hubung singkat, arus itu dapat menimbulkan kerusakan pada peralatan.

Pada jaringan distribusi primer, fuse cut out berfungsi membatasi luas daerah pelayanan yang terganggu jika disuatu tempat terjadi gangguan hubung

singkat. Dengan menggunakan fuse cut out secara baik dan benar maka pada waktu terjadi hubung singkat sebagai beban tetap dapat dilayani.

C. Prinsip Kerja Fuse Cut Out

Arus beban lebih melampaui batas yang diperkenankan, maka kawat perak di dalam tabung porselin akan putus dan arus yang membahayakan dapat dihentikan. Pada waktu kawat putus terjadi busur api, yang segera dipadamkan oleh pasir yang berada di dalam tabung porselin. Karena udara yang berada di dalam porselin itu kecil, maka kemungkinan timbulnya ledakan akan berkurang karena diredam oleh pasir putih. Panas yang ditimbulkan sebagian besar akan diserap oleh pasir putih tersebut.

Apabila kawat perak menjadi lumer karena tenaga arus yang melebihi maksimum, maka waktu itu kawat akan hancur. Karena adanya gaya hantakan, maka tabung porselin akan terlempar ke luar dari kontakannya, dengan terlepasnya tabung porselin ini yang berfungsi sebagai saklar pemisah, maka terhidarlah peralatan jaringan distribusi dari gangguan arus beban lebih atau arus hubung singkat. Pemegang sekering, sering disebut “sekering tabung” atau “pintu”, yang berisi elemen sekering dipertukarkan dan juga bertindak sebagai saklar pisau sederhana. Ketika sekering yang terdapat beroperasi atau pukulan, pemegang sekering akan turun terbuka, melepaskan saklar pisau, dan menggantung dari perakitan engsel.

Umur dari fuse cut out ini tergantung pada arus yang melaluinya, bila arus yang melalui fuse cut out tersebut melebihi batas maksimum, maka umur fuse cut out lebih pendek, oleh karena itu pemasangan fuse cut out pada jaringan distribusi hendaknya yang memiliki kemampuan lebih besar dari kualitas tegangan jaringan, lebih kurang tiga sampai lima kali arus nominal yang diperkenankan.

Fuse cut out ini biasanya ditempatkan sebagai pengaman tansformator distribusi, dan pengaman pada cabang cabang saluran feeder yang menuju ke jaringan distribusi sekunder.

2.3.4. Transformator Step–down/Transformator Penurun Tegangan

Transformator ini berfungsi untuk menurunkan tegangan yang masuk dari primer transformator sebesar 20 KV (20.000 V) dan di keluarkan oleh skunder transformator sebesar 220/380 V.

2.3.5. Low Voltage Cabinet (LVC)/Lemari Tegangan Rendah

LVC merupakan suatu peralatan yang berisi Plat Cofer dan NT Fuse. Yang berfungsi sebagai pengaman dari jaringan tegangan rendah yang mengalami beban lebih. LVC ini juga berfungsi untuk membagi jurusan penyaluran tegangan rendah, yang tergantung dari jumlah daerah penyalurannya. Memperlihatkan LVC yang di letakkan pada gardu distribusi pada Gambar 2.15 :



\Gambar 2.15. LVC Pada Gardu Distribusi

2.4. Sistem pentanahan

Faktor yang sangat penting dalam usaha pengamanan (perlindungan) rangkain listrik adalah pentanahan. Maka harus ada pentanahan yang dirancang sebaik mungkin. Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dalam sistem pentanahan agar dapat bekerja secara efektif, diantaranya :

- Membuat rangkaian yang efektif pada jalur impedansi rendah ke tanah untuk pengamanan peralatan.
- Dapat dengan cepat menghilangkan gangguan yang terjadi.
- Menggunakan bahan yang tahan korosi terhadap kondisi lingkungan sekitar.
- Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanan.

Hukum ohm menjelaskan mengapa tahanan pentanahan harus di buat sekecil mungkin, dengan rumus :

$$E = I \times R \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana :

E = Tegangan (V)

I = Arus (Amp)

R = Tahanan (ohm)

Tahanan pentanahan tergantung kepada beberapa faktor, yaitu :

- Luas penampang permukaan kontak antara elektroda dengan tanah.
- Tahanan jenis tanah dimana elektroda dipasang.

Untuk mendapatkan tahanan tanah dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana :

R = Tahan pentanahan (Ohm)

ρ = Tahanan jenis tanah (Ohm-m/mm²)

L = Panjang elektroda (cm)

A = Jari-jari elektroda (cm)

Apabila pasak ditanam lebih dalam ke tanah, maka tahanan akan berkurang. Secara umum dapat dikatakan, dua kali lipat lebih dalam tahanan berkurang 40%. Namun bertambahnya diameter elektroda secara material tidak akan mengurangi tahanan.

Ketika arus gangguan yang datang, hambatan arus melewati sistem elektroda tanah yang terdiri dari yaitu :

- a) Tahanan pasaknya sendiri dan sambungan-sambungannya.
- b) Tahanan kontak antara pasak dengan tanah sekitar.
- c) Tahanan tanah di sekelilingnya.

Pasak-pasak tanah, batang-batang logam, struktur dan peralatan lain biasanya untuk elektroda tanah. Elektroda-elektroda ini umumnya besar dan penampangnya sendiri sedemikian, sehingga tahanannya dapat diabaikan terhadap tahanan keseluruhan sistem pentanahan. Terlihat sistem pentanahan yang baik pada Gambar 2.16 :



Gambar 2.16. Sistem pentanahan yang baik

2.4.1. Pembumian Pada Jaringan Distribusi

1. Ketentuan-ketentuan tentang Pembumian menurut PUIL tahun 2000:
 - a. Menurut PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik), semua bagian konduktif terbuka pada suatu instalasi harus dibumikan.
 - b. Menurut PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik), apabila jalur yang sama dipasang SUTM dan SUTR, maka pada setiap 3 tiang harus dipasang penghantar pembumian yang dihubungkan dengan penghantar netral.
 - c. Menurut PUIL, nilai resistansi pembumian setiap 200 meter lintasan (5 gawang) tidak boleh melebihi dari 10 Ohm.
 - d. Petunjuk praktis semua nilai resistansi pembumian maksimum sebesar 5 Ohm.
 - e. Berdasarkan kekuatan mekanis luas penampang minimum penghantar pembumian adalah sebesar 50 mm^2 dan terbuat dari tembaga.
 - f. Sambungan penghantar bumi dengan elektroda bumi harus kuat secara mekanis/ listrik dan mudah dibuka untuk dilakukan pengujian resistansi pembumian. Klem pada elektroda pipa harus memakai ukuran minimal 10 Ohm dan dilindungi dari kemungkinan korosi.
 - g. Apabila jalur yang sama dipasang SUTM dan SUTR, maka pada setiap 3 tiang harus dipasang penghantar pembumian yang dihubungkan dengan penghantar netral.
 - h. Penghantar bumi harus dilindungi secara mekanis kimiawi.
Biasanya dimasukkan dalam pipa $\frac{1}{2}$ inchi, setinggi $2,5 \text{ mm}^2$ dan Terminal klem ditanam 20 cm di bawah permukaan tanah.

- i. Elektroda batang dimasukkan tegak lurus ke dalam tanah. Panjangnya disesuaikan dengan kebutuhan dengan memperhatikan resistansi tanah sebagai berikut :

Untuk resistansi tanah $P_1 = 100 \Omega$ meter :

Panjang : 1 m 2 m 3 m 5 m

Nilai Ω : 70. 40. 30. 20.

Untuk resistansi tanah P_1 tidak sama dengan P , nilai pentanahan dikalikan $P.P_1$.

- Resistansi pembumian total dari suatu instalasi pembumian belum dapat ditentukan dari hasil pengukuran tiap elektroda secara matematis.
- Untuk beberapa elektroda yang di paralel harus dihubung fisik/ paralel sebelum di test.

2.4.2. Pembumian pada PHB (Papan Hubung Bagi)-Rak TR (Tegangan Rendah)

Prosedur instalasi pembumian PHB (Papan Hubung Bagi)-TR (Tegangan Rendah) /Rak TR di gardu distribusi harus memperhatikan jenis sistem pembumian yang dianut.

- a. Bila rel netral dipakai sebagai rel proteksi (sistem TNC) rel proteksi harus dibumikan.
- b. Bila rel netral terpisah dari rel proteksi, maka hanya rel proteksi yang harus dibumikan.
- c. Bila saklar masuk dilengkapi dengan saklar arus sisa, maka rel netral tidak boleh dibumikan.

3. Penghantar Pembumian dan Elektroda bumi

- a. Elektroda bumi adalah penghantar yang ditanam dalam bumi dan membuat kontak langsung dengan bumi.
- b. Penghantar bumi yang tidak berisolasi ditanam dalam bumi dianggap sebagai bagian elektroda bumi.
- c. Umumnya elektroda bumi yang dipakai pada jaringan saluran udara tegangan rendah / menengah memakai elektroda barang.
- d. Sebelum dipasang harus diteliti dulu berapa resistansi jenis tanah.

2.5. Macam-Macam Gangguan Pada Transformator Distribusi

Gangguan di dalam transformator (internal fault) dapat di golongan dalam 2 (dua) kelompok, yaitu :

1. Gangguan teknis (incipient faults), diantaranya :
 - a. Terjadinya busur api (arc) yang kecil dan pemanasan local, diantaranya dapat disebabkan cara penyambungan konduktor yang tidak baik dan kerusakan isolasi pada baut-baut penjepit inti.
 - b. Gangguan pada sistem pendingin.
 - c. Arus sirkulasi pada transformator -transformator yang bekerja paralel.

Semua itu menyebabkan pemanasan local, tetapi tidak mempengaruhi suhu transformator secara keseluruhan. Gangguan ini tidak dapat dideteksi dari terminal transformator karena besar dan keseimbangan arus serta tegangan tidak berbeda dengan kondisi pada operasi normal. Walaupun gangguan teknis merupakan gangguan kecil, tetapi apabila tidak segera diatasi akan membesar dan menimbulkan kerusakan yang lebih serius.

2. Gangguan hubung singkat

Pada umumnya gangguan ini dapat dideteksi karena akan selalu timbul arus maupun tegangan yang tidak normal/tidak seimbang. Jenis gangguan ini antara lain:

- Hubung singkat fasa ke tanah
- Hubung singkat fasa ke fasa
- Hubung singkat antar lilitan pada kumparan yang sama
- Gangguan pada terminal transformator

Besar arus gangguan pada kumparan transformator tidak hanya ditentukan oleh impedansi pentanahan titik netral, tetapi juga oleh hubungan kumparan-kumparannya dan reaktansi bocornya.

Faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada transformator dapat diklarifikasikan menjadi beberapa bagian, yaitu :

- Gangguan pada belitan
- Gangguan pada bushing
- Gangguan pada terminal panel
- Gangguan pada inti besi

a. Gangguan pada belitan

Gangguan pada belitan disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya :

- Terjadinya surja karena switching
- Pemanasan yang berlebihan
- Kelembaban yang tinggi
- Gangguan luar yang dapat, merusak isolasi pada belitan
- Gangguan hubung singkat ke tanah
- Belitan terbuka

- Gangguan hubung singkat fasa ke fasa
 - Gangguan mekanis
- b. Gangguan pada bushing
- Gangguan pada bushing timbul akibat dari :
- Kelembaban
 - Berkurangnya minyak bushing
- c. Gangguan pada terminal panel
- Gangguan pada terminal panel disebabkan oleh:
- Terlepasnya kontak
 - Kelembaban
 - Hubung singkat
 - Terjadinya salah sambung
- d. Gangguan pada inti besi
- Gangguan pada inti besi timbul disebabkan oleh :
- Hubung singkat pada laminasi
 - Gagalnya laminasi inti besi
 - Short pada bodi

Untuk mengatasi gangguan pada transformator seperti yang telah disebutkan diatas, maka perlu dilakukan pemeliharaan lengkap dalam keadaan bebas tegangan, diantaranya :

- a. Memeriksa bagian luar, termasuk bushing, pentanahan terminal-terminal, permukaan tangki, serta kran minyak.
- b. Pengambilan minyak transformator.
- c. Pembersihan debu-debu pada bagian-bagian luar, dengan kain atau kuas.
- d. Pengukuran tahanan isolasi transformator.

2.6. Operasi Pemadaman dan Pemulihan Gangguan

Penyulang mengalami pemadaman karena gangguan, maka pelaksanaan pemindahan beban antara penyulang dilakukan secara manual dengan mengoperasikan peralatan switching yang ada, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a) Melokalisir daerah yang padam sekecil mungkin.
 - Membuka Fuse Cut Out (FCO) yang berstatus normally close dari arah pangkal penyulang pada ruas yang paling dekat dengan sumber gangguan.
 - Membuka Fuse Cut Out (FCO) yang berstatus normally close kearah ujung penyulang pada ruas jaringan yang paling dekat dengan sumber gangguan.

- b) Memulihkan penyaluran tenaga listrik ke ruas jaringan yang telah dipisahkan dari sumber tegangan.

Membuka Fuse Cut Out (FCO) yang berstatus normally open kearah ujung penyulang yang merupakan penutup (looping) dengan penyulang lain, sehingga pasokan tenaga listrik berpindah.

- c) Besarnya beban yang dialihkan disesuaikan dengan kemampuan hantar arus penyulang yang menerima beban.

Operasi Penanggulangan Gangguan jika dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik mengalami suatu gangguan, sehingga sistem tersebut tidak berjalan dengan semestinya dan penyaluran daya ke pelanggan (pemakai daya) menjadi terganggu pula, maka untuk menangani masalah tersebut dilakukan cara-cara berikut :

- a) Meninjau ke rute yang dilalui jaringan untuk menemukan penyebab gangguan.
- b) Jika penyebab gangguan telah diketahui, maka diambil alternative tindakan untuk memulihkan gangguan prosedur sebagai berikut :
- Penyebab gangguan-gangguan dapat diperbaiki dalam waktu singkat, maka pengisian tegangan terhadap penyulang yang mengalami gangguan dilakukan setelah selesai perbaikan.
 - Penyebab gangguan yang tidak mungkin dapat diperbaiki dalam waktu yang singkat, maka pengisian tegangan dilakukan setelah Fuse Cut Out (FCO) yang paling dekat ke sumber gangguan dibuka untuk memperkecil daerah yang padam.
- c) Pemulihan pada ruas jaringan yang baru saja diperbaiki, dikembalikan status Fuse Cut Out (FCO) seperti operasi sebelum terjadinya gangguan (normal) dan dikonfirmasi ke operator bahwa gangguan telah diperbaiki.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Kelanjutan dalam penelitian ini yaitu “Analisis Gangguan Arus Lebih pada Transformator Distribusi 20 KV pada PT. PLN Persero Area Medan”, penulis menggunakan jenis penelitian kuantitatif dan kualitatif. Kuantitatif adalah melakukan pengumpulan data berdasarkan pengukuran yang dilakukan dalam penelitian ini yang hasil dari pengukuran itu disajikan dalam bentuk Tabel dan Gambar.

3.2. Tempat Dan Jadwal Penelitian

3.2.1. Tempat penelitian

Tempat penelitian yang dilakukan penulis adalah di PT. PLN Wilayah I Sumatera Utara sedangkan tempat penelitian di Cabang Medan Jalan Listrik No. 8 Medan

3.2.2. Waktu penelitian

Waktu penelitian dan pencarian data di Instansi terkait penelitian dilaksanakan dari tanggal 25 Juli 2017 sampai dengan selesai sekitar bulan 25 April 2017, sedangkan jadwal penelitian yang direncanakan dari awal penelitian sampai selesai penelitian dapat dijabarkan oleh penulis sebagai berikut seperti tertera pada Tabel 3.1. namun begitu jadwal ini dapat berubah-ubah seketika jika rencana tidak sesuai dengan kenyataan dilapangan

3.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan sebagai berikut:

3.3.1. Studi Literasi

Jurnal-jurnal elektro, penelitian nasional, internasional, maupun artikel-artikel yang relevan, serta mempelajari lebih dalam teori-teori terkait masalah gangguan, transformator distribusi 20 KV, Jenis gangguan Arus lebih.

3.3.2. Pengumpulan data Dilapangan

Metode ini dilaksanakan dengan melakukan pengamatan dan pengambilan data langsung dilapangan untuk memperoleh data yang diperlukan yang mensupport data literatur

3.3.3. Pengolahan data

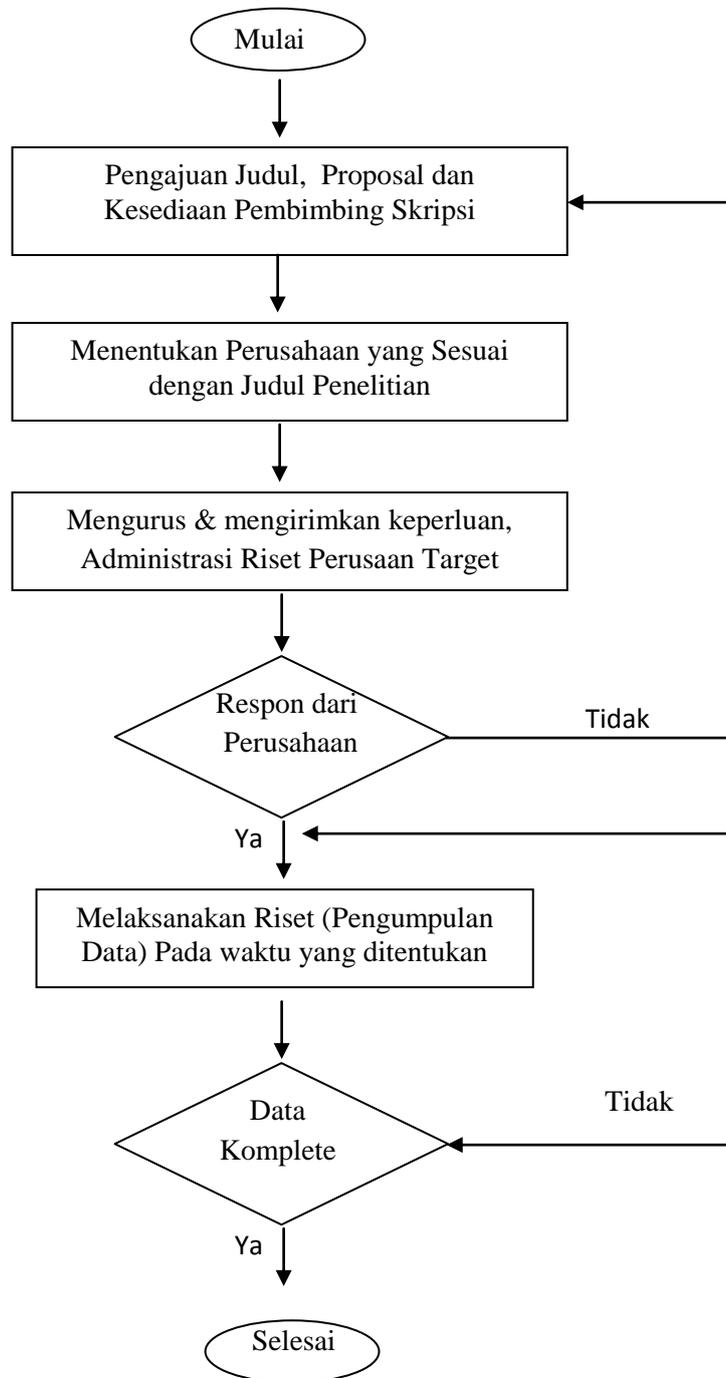
Data yang diperoleh dilapangan di olah dan dianalisis sesuai dengan kebutuhan yang kemudian disaring sebagai output dari penelitian

3.4. Metode Analisis data penelitian

Metode analisis data penelitian menggunakan data kuantitatif yaitu melakukan pengumpulan data berdasarkan pengukuran yang dilakukan dalam penelitian ini yang hasil dari pengukuran itu diselesaikan dalam bentuk matematis, sedangkan jenis penelitian kualitatif adalah melakukan analisis penelitian berdasarkan data pengukuran kuantitatif. Metode Analisis Deskriptif Kualitatif dengan menggunakan software Microsoft Exell 2007 di PT. PLN (Persero) Area Medan. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk Tabel dan Gambar.

3.5. Diagram alir

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini dapat digambarkan pada sebuah diagram alir (Gambar 3.1)



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Data

Analisis data yang telah dikumpulkan penulis menggunakan Metode Analisis Deskriptif Kualitatif dengan menggunakan software Microsoft Exell 2007 di PT. PLN (Persero) Area Medan. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk Tabel dan Gambar. Data-data yang ditemukan dalam bentuk file data excell yang dikumpulkan selama tahun 2010 sampai dengan 2017 yang berisi Daftar Transformator Kontak, Gangguan manajemen sisip, PLN Cabang Medan.

Data yang super banyak tersebut kemudian penulis memfilter dan menyeleksi data tranformator tersebut dalam kriteria yang berbeda-beda diantaranya berdasarkan tahun, berdasarkan kapasitas daya, berdasarkan phasa, berdasarkan jenis gangguan, berdasarkan alamat dan lain-lain yang memudahkan penulis untuk menganalisa berapa jumlah gangguan yang terjadi pada tranformator selama satu periode.

Kriteria yang telah disusun tersebut secara otomatis akan diketahui dan kemudian dianalisa tranformator yang mengalami gangguan kerusakan yang disebabkan diantaranya akibat gangguan petir, gangguan sistem pendinginan, gangguan pentanahan. Dari gangguan petir diperoleh gangguan pada transformator, pada Lightning Arrester dan Fuse Cut Out dan gangguan lain-lain.

Gangguan pada sistem pendinginan dapat diketahui diantaranya adalah transformator mimir (kurang minyak), casing bocor, paking bocor, transformator jatuh, minyak kotor yang mengganggu sistem pendinginan. Dari gangguan pentanahan diantaranya adalah netral bertegangan, netral kontak.

4.1.1. Gangguan pada Sistem Pendinginan

Transformator distribusi 20 KV, didalam operasionalnya sepanjang waktu dipengaruhi oleh suhu atau temperatur, pada saat musim panas transformator meningkat suhunya, dengan adanya minyak transformator transformator menjadi tidak terlalu tinggi suhunya (normal), sehingga kerusakan dapat dihindari, gangguan yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada transformator diantaranya disebabkan minyak transformator kurang, bocor casing dan minyak keluar, minyak kotor, minyak bercampur air sehingga mengakibatkan tahanan isolasi tendah. Transformator yang mengalami gangguan yang disebabkan sistem pendinginan dapat dilihat pada Tabel 4.1.sebagai berikut:

Tabel 4.1 Gangguan Sistem Pendinginan

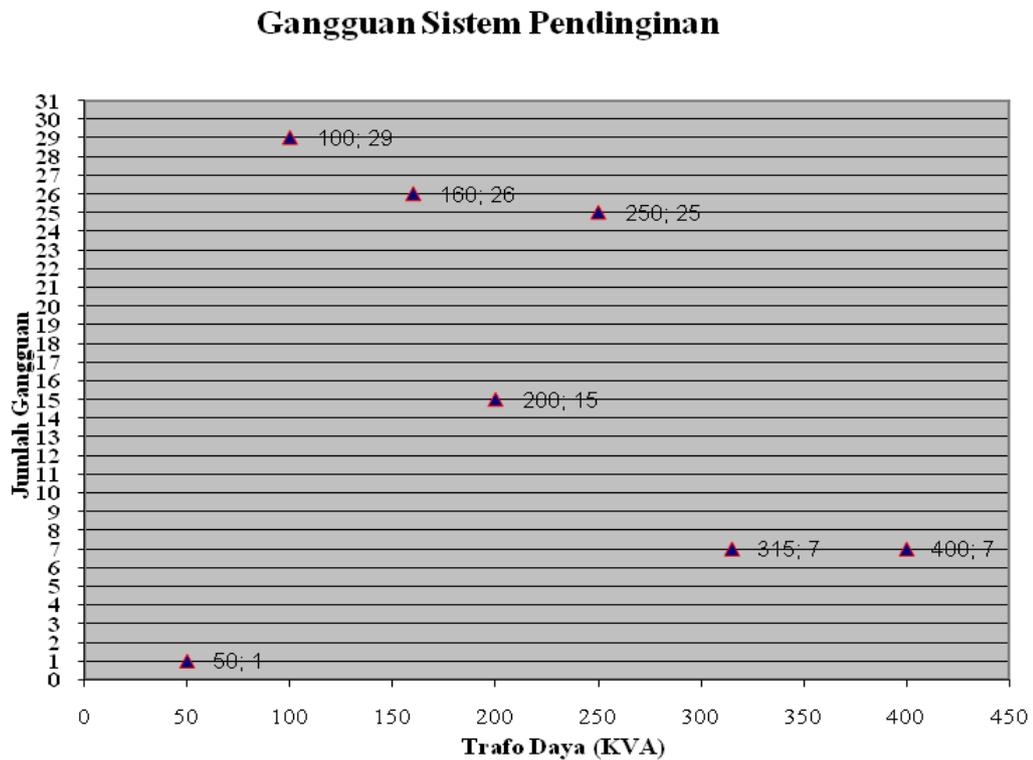
No.	Daya (KVA)	Jumlah
1	160	26
2	50	1
3	100	29
4	200	15
5	250	25
6	315	7
7	400	7
	Jumlah	110

Sumber : PT. PLN (Persero), data diolah, tahun 2017

Penjelasan dari Tabel 4.1. diatas, maka Jumlah 110 unit transformator yang mengalami gangguan pendinginan paling banyak adalah transformator distribusi 100 kva sebanyak 29 buah transformator sedangkan pang paling sedikit mengalami gangguan pendinginan adalah transformator 50 KVA sebanyak 1 buah transformator sedangkan transformator 160 KVA sebanyak 26 buah transformator 200 KVA sebanyak 15 buah transformator, sedangkan 250 KVA sebanyak 25

buah transformator, 315 dan 400 KVA sebanyak masing-masing 7 buah transformator .

Terlihat tranformator yang mengalami gangguan yang disebabkan sistem pendinginan dapat dilihat pada Gambar 4.1:



Gambar 4.1. Gangguan Sistem Pendinginan

Penjelasan dari Gambar 4.1. dapat dilihat gangguan sistim pendinginan transformator dengan daya 50 KVA ada 1 buah, transformator dengan daya 100 KVA mengalami gangguan sebanyak 29 buah, transformator 160 KVA yang mengalami gangguan sebanyak 26 buah transformator 200 kva yang mengalami gangguan sebanyak 15 buah, transformator 250 KVA mengalami gangguan sebanyak 25 buah, dan transformator 7 buah transformator dengan daya 315 dan 400 kva.

4.1.2. Gangguan Dari Sambaran Petir

Pada saat musim hujan pada rentang bulan Agustus sampai dengan Desember Transformator Distribusi 20 KV terancam disambar petir, oleh karena itu petugas harus menjaga peralatan pengaman transformator berfungsi normal seperti LA dan FCO, sehingga kerusakan pada transformator dapat diminalisir. Jika hal ini tidak dilakukan maka transformator distribusi yang mengalami gangguan akan meningkat dimusim tersebut. Data gangguan yang disebabkan gangguan petir dapat dilihat pada Tabel 4.2

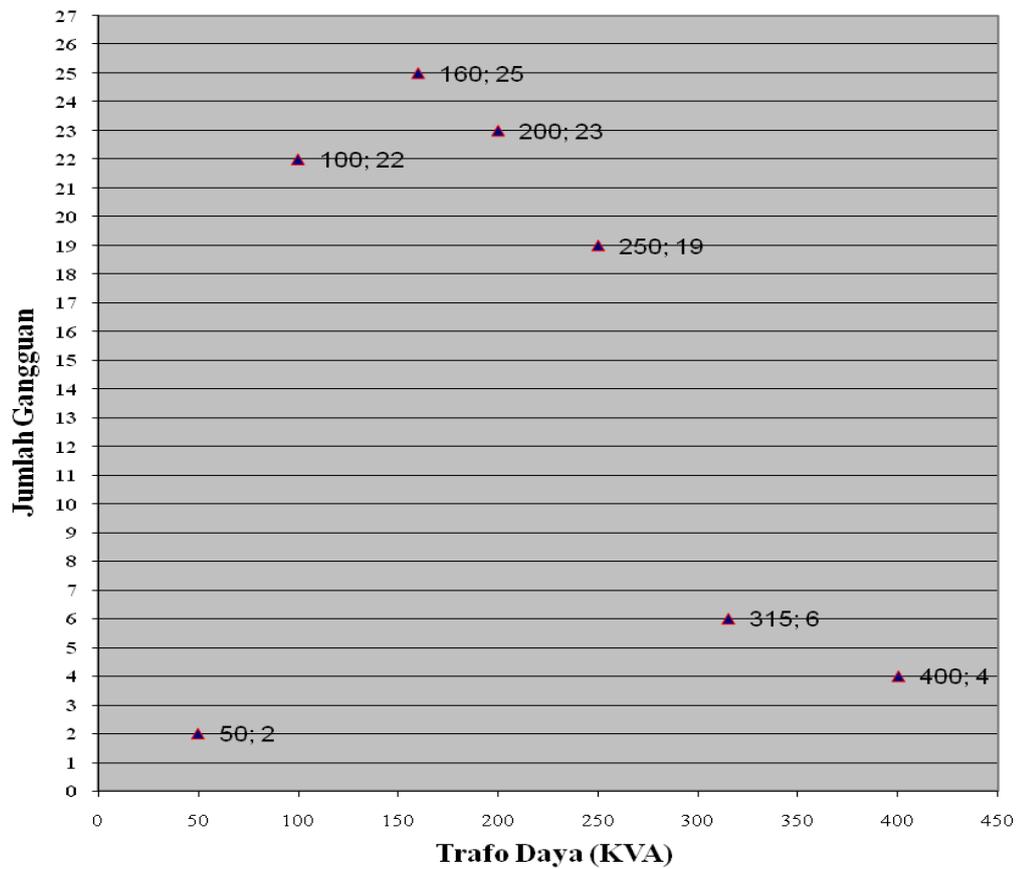
Tabel 4.2. Gangguan Disebabkan Gangguan Petir

No	Daya (KVA)	Jumlah
1	160	25
2	50	2
3	100	22
4	200	23
5	250	19
6	315	6
7	400	4
	Jumlah	101

Sumber : PT. PLN (Persero), data diolah, tahun 2017

Penjelasan dari Tabel 4.2. diatas maka transformator yang mengalami gangguan 101 disambar petir dengan daya 160 KVA sebanyak 25 buah transformator, sedangkan paling sedikit adalah transformator daya 50 KVA sebanyak 2 buah transformator, sedangkan transformator daya 100 KVA sebanyak 22 buah transformator, yang lain transformator daya 200 KVA sebanyak 23 buah transformator, 250 KVA sebanyak 19 buah Transformator, sedangkan transformator 315 KVA sebanyak 6 buah transformator, sedangkan transformator 400 KVA ada sebanyak 4 buah transformator.

Terlihat gangguan yang disebabkan sambaran petir pada Gambar 4.2 :



Gambar 4.2. Gangguan yang disebabkan sambaran petir

Penjelasan Gambar 4.2. Dapat dilihat gangguan sambaran petir pada transformator dengan daya 50 KVA ada 2 buah, transformator dengan daya 100 KVA mengalami gangguan sebanyak 22 buah, transformator 160 KVA yang mengalami gangguan sebanyak 25 buah transformator 200 kva yang mengalami gangguan sebanyak 23 buah, transformator 250 KVA mengalami gangguan sebanyak 19 buah, dan transformator 7 buah transformator dengan daya 315 mengalami gangguan sebanyak 6 buah dan 400 kva mengalami gangguan sebanyak 4 buah.

4.1.3. Gangguan transformator disebabkan Fuse Link dan FCO

Penggunaan NT Fuse ini umumnya dapat ditempatkan pada LVC (Low Voltage Cabinet) yang digunakan bersama-sama dengan socket keluaran. Kelebihan dari NT Fuse ini adalah memiliki elemen yang tidak mudah mengalami penurunan kekuatan, akurasi yang lebih tinggi dalam proses pemutusan, serta tidak menimbulkan busur api ketika terjadi pemutusan saat gangguan.

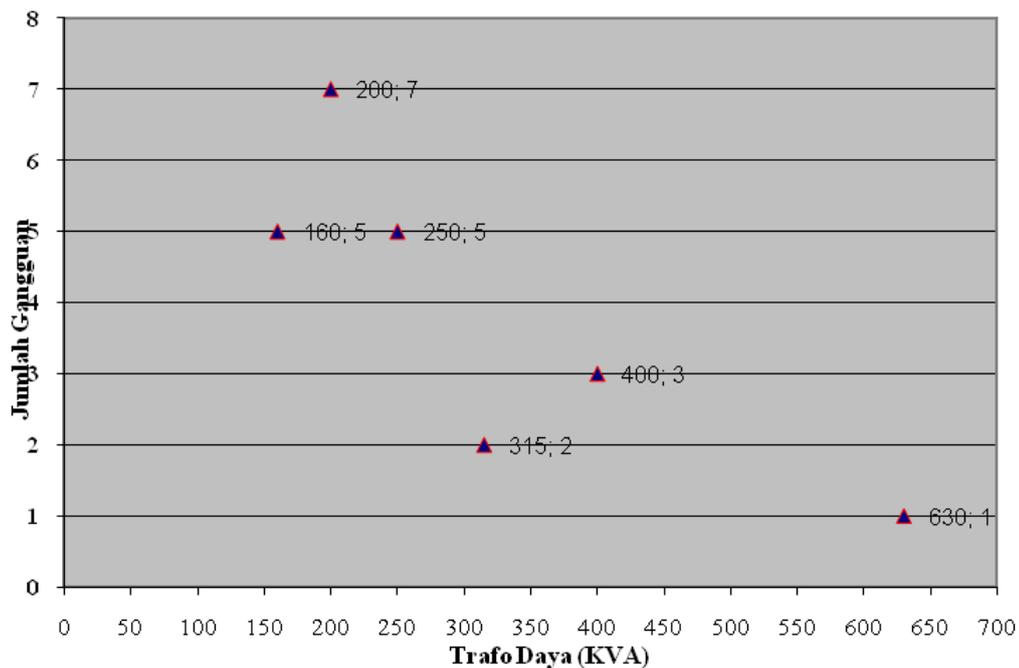
Penggantian NT Fuse, sebaiknya terlebih dahulu menghitung arus nominal skunder transformator Sedangkan rating untuk NT Fuse yang tersedia adalah sebagai berikut : 25, 35, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 300, 350, 400, 500 Amp.

Tabel 4.3. Gangguan transformator disebabkan FCO dan Fuse Link

No.	Daya (KVA)	Jumlah
1	160	5
4	200	7
5	250	5
6	315	2
3	400	3
2	630	1
	Jumlah	23

Sumber : PT. PLN (Persero), data diolah, tahun 2017

Penjelasan dari Tabel 4.3. diatas, maka transformator yang mengalami gangguan kegagalan proteksi paling banyak adalah transformator distribusi 160 kva sebanyak 5 buah transformator sedangkan pang paling sedikit mengalami gangguan adalah 200 KVA sebanyak 7 buah transformator sedangkan transformator 250 KVA sebanyak 5 buah transformator 315 KVA sebanyak 2 buah transformator, sedangkan 400 sebanyak 3 buah transformator dan 630 sebanyak 1 buah transformator .Terlihat gangguan pada fuse cute out dan fuse link pada Gambar 4.3 :



Gambar 4.3. Gangguan FCO dan Fuse Link

Penjelasan dari Gambar 4.3. dapat dilihat gangguan sistim proteksi transformator dengan daya 160 KVA ada 5 buah, transformator dengan daya 200 KVA mengalami gangguan sebanyak 7 buah, transformator 250 KVA yang mengalami gangguan sebanyak 5 buah transformator 315 kva yang mengalami gangguan sebanyak 2 buah, transformator 400 KVA mengalami gangguan sebanyak 3 buah, dan transformator 1 buah transformator dengan daya 630

4.1.4. Gangguan pada Transformator akibat Gangguan Pentanahan

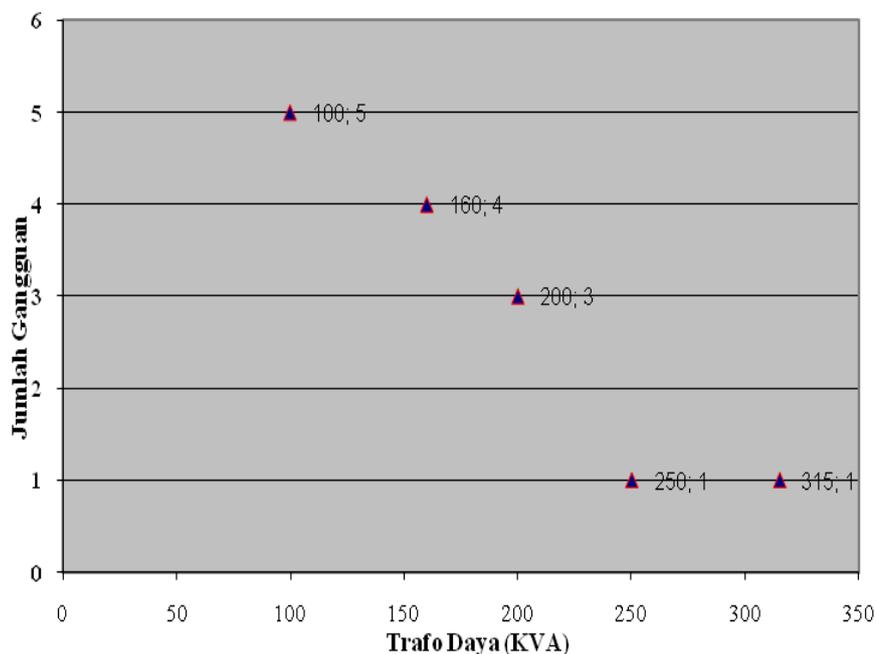
Transformator sering mengalami gangguan diakibatkan kegagalan yang disebabkan sistem pentanahan yang tidak sempurna, bisa disebabkan kabel cooper rod konductor korosi, klem U yang terlepas, tidak terhubung ke netral, bahkan netral bertegangan, netral kontak, hal ini merupakan suatu indikasi tidak normalnya sistem pentanahan. Daftar transformator kontak akibat kegagalan sistem pentanahan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Gangguan Pentanahan

No.	Daya (KVA)	Jumlah
1	160	4
3	100	5
4	200	3
5	250	1
6	315	1
	Jumlah	14

Sumber : PT. PLN (Persero), data diolah, tahun 2017

Penjelasan dari Tabel 4.4. diatas, maka transformator yang mengalami gangguan pentanahan paling banyak adalah transformator distribusi 100 kva sebanyak 5 buah transformator sedangkan pang paling sedikit mengalami gangguan adalah 250 KVA dan 315 sebanyak 1 buah transformator sedangkan transformator 160 KVA sebanyak 4 buah transformator sedangkan 200 sebanyak 3 buah transformator .Terlihat gangguan pada sistem pentanahan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4. Gangguan pentanahan

Penjelasan dari Gambar 4.4 dapat dilihat gangguan diakibatkan gangguan sistim pentanahan transformator dengan daya 100 KVA ada 5 buah, transformator dengan daya 160 KVA mengalami gangguan sebanyak 4 buah, transformator 200 KVA yang mengalami gangguan sebanyak 5 buah transformator 250 kva yang mengalami gangguan sebanyak 3 buah, transformator 315 KVA mengalami gangguan sebanyak 1 buah.

4.2. Pembahasan

Mendeteksi transformator yang rusak kita harus mengetahui transformator yang sehat (normal). Identifikasi kesehatan transformator distribusi merupakan langkah awal yang harus dilakukan dalam menentukan kesehatan transformator distribusi berdasarkan kondisinya, secara umum itu merupakan suatu bagian dari assessment transformator dilapangan. Prinsip kegiatan identifikasi kondisi kesehatan transformator dilakukan dengan cara membandingkan data-data yang diperoleh melalui inspeksi dan pengukuran kemudian membandingkan kriteria sehat pada transformator distribusi untuk pengambilan keputusan atau pembuatan rekomendasi pemeliharaan. Melalui kegiatan inilah akan diketahui bagaimana kategori kondisi kesehatan unit transformator yang sedang beroperasi. Jika terindikasi akan rusak maka upaya-upaya pemeliharaan dan penggantian transformator, penambahan transformator sisipan, rekondisi /rekonstruksi dan sebagainya.

Kriteria sehat dari segi instalasi yaitu dapat dilihat secara visual bahwa transformator tidak mengalami kebocoran minyak tranformator dari casing atau dari pakingnya, isolator utuh secara pisik, terpasang kokoh, kuat, dan aksesoris transformator lengkap (gauge oil, temperatur suhu, conductor rod, baut, mur)

instalasi pembumian terpasang dengan benar dengan nilai pembumian < 5 ohm untuk tegangan rendah, dan $1,72$ ohm untuk tegangan menengah, instalasi kabel TM /TR sesuai dengan standar, rapih, terpasang kuat pada kabel tray, terminasi bersih dan tidak tampak crack alur retakan.

Kriteria sehat dari segi proteksi yaitu instalasi arrester terpasang sesuai konstruksi dengan tahanan pentahanan Arrester $< 1,73$ ohm, arus bocor Arrester < 30 ma (d disesuaikan masing-masing pabrikan). Rating Fuse link tegangan menengah sesuai dengan kapasitas transformator tidak kebesaran atau kekecilan. Fuse peralatan hubung bagi (PHB TR) rating fuse sesuai besaran maksimum proteksi arus maksimum tiap jurusan.

Kriteria gangguan transformator secara internal diidentifikasi mengalami gangguan seperti casing bocor, baut longgar, dan shiel (paking) yang bocor minyak terus menetes keluar, sehingga minyak habis hal ini akan mengakibatkan transformator menjadi panas yang berlebihan (over heat) pada akhirnya transformator meledak, bushing kotor, atau pecah, isolasi kabel terbakar, transformator miring tidak sesuai dengan dudukan, loss kontak pada terminasi KHA kabel tidak sesuai. Kondisi minyak transformator yang tidak tercampur dengan air dan minyak yang tercemar dari lumpur dan asam sehingga transformator tidak aman sehingga fungsi minyak sebagai pendingin bekerja tidak normal.

Kriteria gangguan transformator secara eksternal diidentifikasi instalasi arrester tidak ada, fuse sambung langsung, grounding Arrester putus, Fuse cut out sambung langsung, terpasang tidak sesuai konstruksi dengan tahanan pentahanan Arrester melebihi $< 1,73$ ohm, arus bocor Arrester < 30 ma tidak sesuai. Rating

Fuse link tegangan menengah tidak sesuai dengan kapasitas transformator tidak kebesaran atau kekecilan. Kondisi pentahanan (grounding) harus memenuhi peran dan fungsinya yakni sebagai pembatas arus gangguan ketanah, penyeimbang tegangan, serta membantu pemadaman busur api saat bekerja tidak dapat berjalan sesuai dengan fungsinya dan peranannya dapat dihindari.

“Lebih baik menjaga dari pada mengobati”, mungkin pepatah ini juga dapat diterapkan pada pemeliharaan transformator. Mencegah agar tidak sampai transformator meledak, kontak atau gangguan dapat dilakukan bilamana pemeriksaan transformator berkala dengan memastikan “OK” peralatan proteksi LA dan FCO serta Fuse Link dan pentanahan dalam keadaan normal, sebelum masa hujan tiba, mengantisipasi sambaran petir sebaliknya memastikan sistem pendinginan transformator dalam keadaan normal sebelum datang musim panas mengantisipasi suhu udara tertinggi yang dapat merusak transformator.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dalam tugas akhir ini penulis ingin menyimpulkan sebagai berikut:

1. Pemeriksaan sekaligus pemeliharaan terhadap transformator distribusi sesuai SOP maka resiko transformator mengalami gangguan dapat ditekan sekecil mungkin dan keandalan dari transformator dapat bertahan untuk jangka waktu yang lama, pertama operator harus mengetahui standar rating FCO dan Fuse link dan kedua, letak Lightning arrester (LA) harus jauh dari Transformator agar petir tidak menyambar Transformator, sedangkan ketiga yang harus diperhatikan sistem pentanahan.
2. Dari hasil analisis deskriptif kualitatif Transformator yang sering mengalami gangguan yang disebabkan oleh gangguan pendinginan, gangguan sistem pentanahan, gangguan kegagalan FCO dan NT Fuse Ling jumlah Daya Transformator yang sering mengalami gangguan adalah pertama transformator 100 KVA, kedua 160 KV dan ketiga 200 KVA.

5.2. Saran

1. Hendaknya penangkal gangguan yang disebabkan oleh arus lebih memakai Fuse Cut Out (FCO) dan Fuse Link sesuai dengan rating standar yang telah ditetapkan dan sistem pentanahan .

2. Untuk menghadapi dan meredam komplain pelanggan akibat pemadaman diwilayahnya yang terkesan lama dan membosankan transformator yang sering mengalami gangguan agar Perusahaan memiliki transformator distribusi 20 KV dengan kapasitas 100 KVA, 160 KVA dan 200 KVA di gudang PLN stock ready, atau menyiapkan stok transformator rekondisi / rekontruksi transformator yang dapat dimanfaatkan kembali, atau opsi lain adalah menyiapkan transformator baru yang dibeli dari vendor yang siap kapan saja di menggantikan transformator yang kontak/rusak.
3. Jika Perusahaan PT. PLN (Persero) menginginkan agar tidak banyak tranformator yang rusak (efisiensi) dalam satu periode perenam bulan dilapangan maka sebaiknya pemeriksaan transformator berkala dengan memastikan peralatan proteksi LA dan FCO serta Fuse Link dan pentanahan dalam keadaan normal sebelum masa hujan tiba, mengantisipasi sambaran petir sebaliknya memastikan sistem pendinginan transformator dalam keadaan normal sebelum datang musim panas mengantisipasi suhu udara tertinggi (over heat) yang dapat merusak transformator.

DAFTAR PUSTAKA

1. A S Pabla, Ir. Abdul Hadi, 1991, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Erlangga Jakarta
2. Bonggas L. Tobing, *Peralatan Tegangan Tinggi, Edisi Kedua*, Penerbit Erlangga
3. Cahyo Ariwibowo, 2011, *Makalah Seminar “Transformator Distribusi 20 KV”*, Medan.
4. Gonen Turan, 1991, *“Elektrycal Power Distribution System Engineering”*, East Pittsburg, Pa.
5. Sumanto, *Transformator*, Penerbit Andi Offset Yogyakarta.
6. Suswanto Daman, 2012, *Sistem Distribusi Tenaga listrik*, Medan.
7. Zuhail, 1986, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, ITB, Bandung.

Lampiran 1

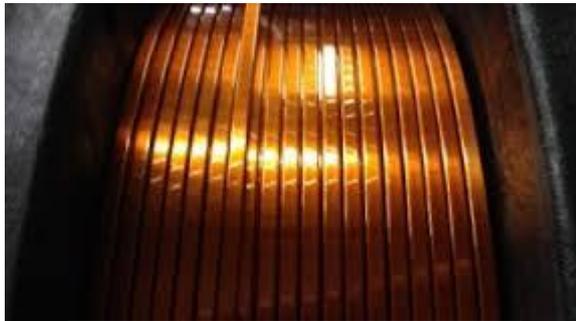


Paking bushing Primer



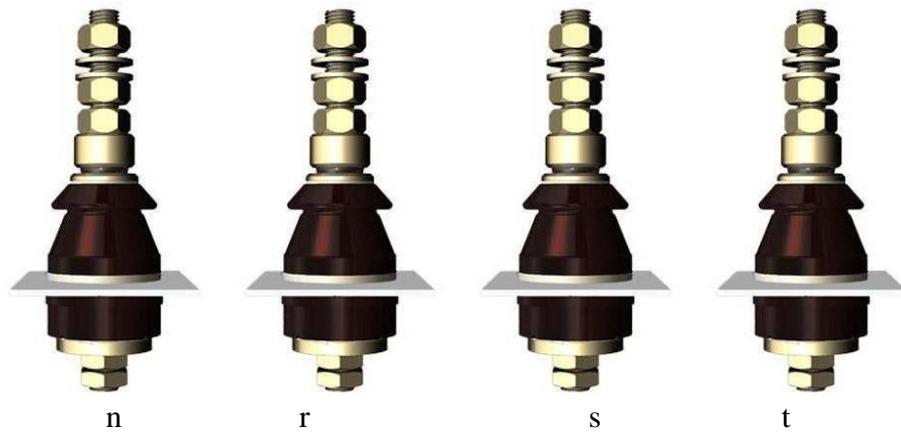
Paking bushing Sekunder

Lampiran 2

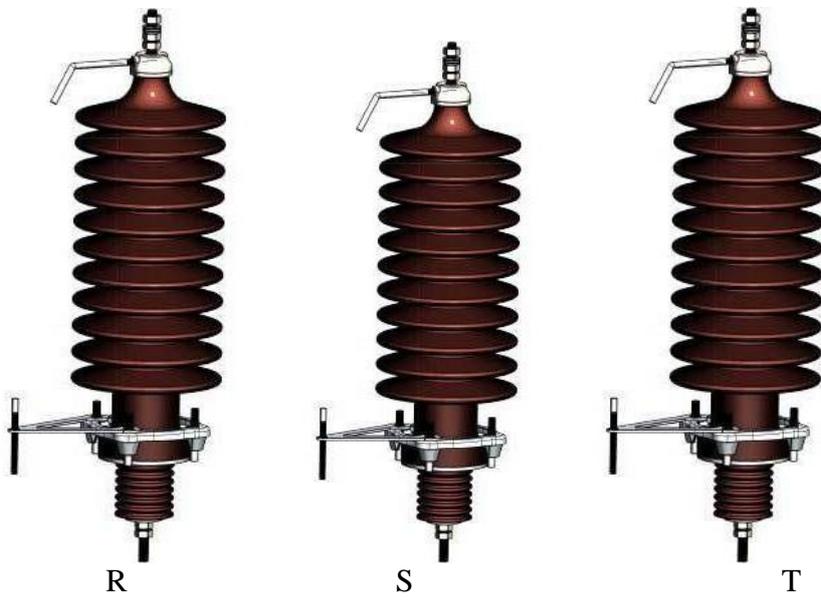


Kabel Primer (Enamel Wire) dan Kabel Sekunder (Drad)

Lampiran 3



Bushing Sekunder Transformator Distribusi



Bushing Primer Komplet Transformator Distribusi

Lampiran 4



Low Voltage Cabinet (LVC)/Lemari Tegangan Rendah



Transformator distribusi 315 KVA + Low Voltage Cabinet (LVC)/

Spesifikasi Minyak Isolasi dalam Kondisi Baru

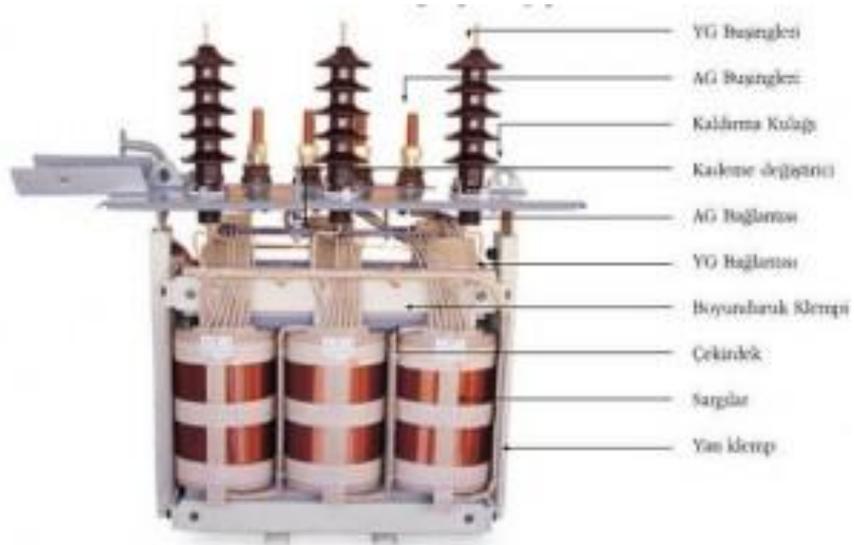
No.	Sifat	Satuan	Kelas 1	Kelas 2	Metode Uji
1	Kejernihan	-	Jernih		IEC 296
2	Massa jenis (20°C)	g/cm ³	≤ 0,895		IEC 296
3	Viskositas 20°C	cSt	≤ 40	≤ 25	IEC 296
4	Kinematika -15°C	cSt	≤ 800	-	IEC 296
	-30°C	cSt	-	≤ 800	IEC 296
5	Titik nyala	°C	≥ 140	≥ 130	IEC 296 A
6	Titik tuang	°C	- 30	- 40	IEC 296
7	Angka kenetralan	mg KOH/s	≤ 0,03		IEC 296
8	Korosi belerang	-	Tidak korosif		IEC 296
9	Tegangan tembus	kV/2,5 mm			IEC 296
	a. sebelum diolah	-	≥ 30		
	b. sesudah diolah	-	≥ 50		
10	Faktor kebocoran dielektrik	-	≤ 0,05		IEC 250
11	Ketahanan oksidasi				IEC 474 & IEC 74
	- angka kenetralan	mg KOH/g	≤ 0,40		
	- kotoran	%	≤ 0,10		

Lampiran 6

Spesifikasi Minyak Isolasi Setelah Dipergunakan

No.	Sifat Minyak	Tegangan Peralatan (kV)	Batas Yang Diizinkan	Metode Uji
1	Tegangan tembus	≥ 170	$\geq 50 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$	IEC 156
		70 - 170	$\geq 40 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$	
		≤ 70	$\geq 30 \text{ kV}/2,5 \text{ mm}$	
2	Kandungan air	≥ 170	$\leq 20 \text{ mg/l}$	ISO R 760
		≤ 170	$\geq 30 \text{ mg/l}$	
3	Faktor kebocoran dielektrik	Semua tegangan	$\leq 0,2 - 2,0$	IEC 247 & IEC 250 (90°C)
4	Resistivitas	Semua tegangan	1,0 gigaohm·m	IEC 93 & IEC 247
5	Angka kenetralan	Semua tegangan	$\leq 0,5 \text{ mg KOH/g}$	IEC 296
6	Sedimen		Tidak terukur	IEC 296
7	Titik nyala		Pemanasan maksimum 15°C	IEC 296
8	Tegangan permukaan		$\geq 15 \times 10^{-3} \text{ Nm}^{-1}$	IEC 296
9	Kandungan gas	≥ 170	-	Sedang diteliti IEC

Lampiran 7



Kontruksi Transformator Distribusi 50 KVA 3 Phasa



Kontruksi Transformator Distribusi 50 KVA 3 Phasa

Lampiran 8

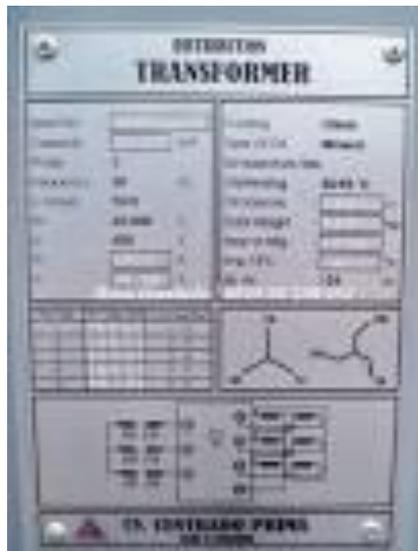


Minyak Transformator Distribusi Nynas



Minyak Transformator Diala B

Lampiran 9



NAMEPLATE TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Lampiran 10



FCO + Fuse Link



Nh3 Cartridge **Fuse Link Hrc Fuse**

Lampiran 11



Presspan Board, Presspan Board



Paper



Electrical Insulation Polyester Film/presspan 6520 Pm