

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator Distribusi

Transformator adalah suatu alat listrik statis yang dipergunakan untuk mengubah tegangan bolak-balik menjadi lebih tinggi atau lebih rendah dan digunakan untuk memindahkan energi dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya tanpa merubah frekuensi. Transformator disebut peralatan statis karena tidak ada bagian yang bergerak atau berputar, tidak seperti motor atau generator. Dalam bentuknya yang paling sederhana, transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Dua kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder.

Kumparan primer adalah kumparan yang menerima daya dan dinyatakan sebagai terminal masukan dan kumparan sekunder adalah kumparan yang melepas daya dan dinyatakan sebagai terminal keluaran. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi. Secara sederhana transformator dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu lilitan primer, lilitan sekunder dan inti besi.

Lilitan primer merupakan bagian transformator yang terhubung dengan sumber energi (catu daya). Lilitan sekunder merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian beban. Sedangkan inti besi merupakan bagian transformator yang bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer agar masuk ke lilitan sekunder.



Gambar 2.1 Transformator Distribusi

2.2 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja transformator secara umum sebenarnya sederhana. Konstruksi dari transformator dari dulu hingga sekarang masih itu-itu saja, hanya saja mungkin dari bentuknya saja yang berbeda dan dimensinya yang lebih kecil. Itupun tergantung untuk rangkaian apa sebuah komponen transformator digunakan.

Seperti diketahui, transformator bekerja karena adanya pemindahan tenaga listrik melalui proses induksi elektromagnet. Induksi ini menghasilkan tenaga listrik dengan satuan tegangan dan arus yang lain. Pada dasarnya transformator memiliki tiga bagian utama, yaitu kumparan primer, kumparan sekunder, dan inti. kumparan primer dari trafo akan berfungsi sebagai inputnya, sedangkan bagian sekunder trafo berfungsi sebagai output, dan terakhir bagian inti ini adalah media untuk memperkuat medan magnet yang dihasilkan pada proses induksi.

Kumparan yang digunakan pada transformator menggunakan lapisan isolasi agar gulungan kumparan tidak terhubung satu sama lain. Kawat yang digunakan pada kumparan trafo ini disebut dengan kawat email. Inti pada trafo tergantung dari kegunaan trafo itu sendiri. Jika keperluan untuk frekuensi rendah, terutama pada teralatan catu daya dan rangkaian audio, inti trafo yang digunakan adalah inti besi lunak. Sedangkan untuk keperluan frekuensi tinggi, digunakan transformator inti ferit atau inti udara.prinsip kerja transformator

Prinsip kerja transformator berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yang mana pada sejarahnya dulu prinsip ini ditemukan oleh seorang ilmuwan yang bernama Faraday. Sebuah trafo akan bekerja jika terdapat perubahan fluks magnetik. Untuk itulah mengapa trafo hanya bisa digunakan pada arus bolak-balik (AC) dan tidak dapat bekerja dengan arus DC.

Arus bolak balik yang mengalir pada kumparan primer transformator menimbulkan arus yang berubah-ubah pula sehingga fluks magnetik akan mengalir melalui inti besi dan melewati kumparan sekunder. Akibat dari induksi magnetik

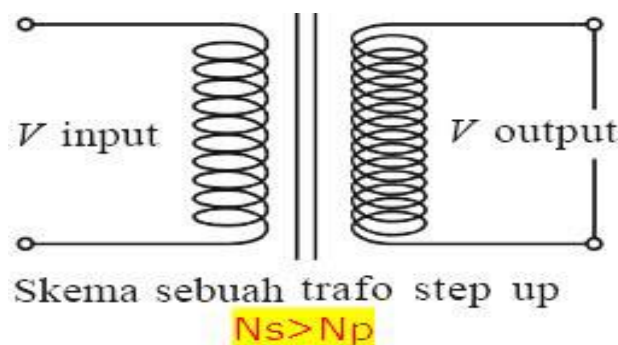
yang berubah-ubah maka akan timbul fluks magnetik yang berubah-ubah juga. Dari fluks magnetik yang berubah-ubah ini akan menimbulkan gaya gerak listrik (ggl) induksi.

Jika arus yang dialirkan melalui kumparan primer semakin besar, maka medan magnet yang dihasilkan juga akan semakin besar yang dialirkan ke kumparan sekunder. Pada kumparan sekunder terjadi perubahan gaya gerak listrik yang akan berpengaruh pada nilai tegangan dan arus yang dihasilkan tergantung dari banyaknya perbandingan antara kumparan primer dan kumparan sekunder. Dari sini lah terjadi perubahan arus dan tegangan yang lebih tinggi atau lebih rendah dari sebuah transformator.

2.3 Jenis Transformator Berdasarkan Fungsinya

1. Transformator Step-Up

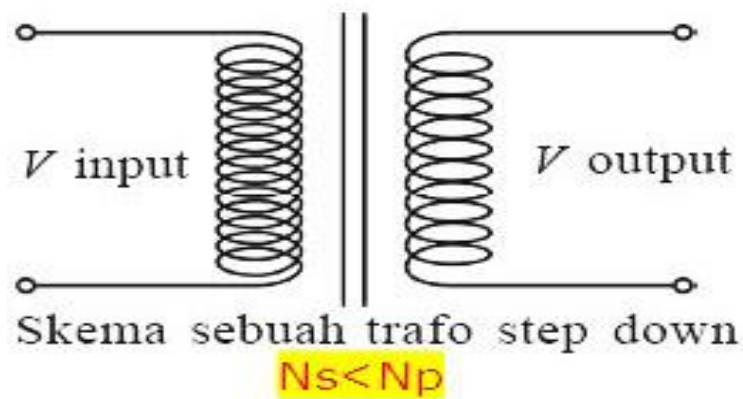
Transformator step-up adalah transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak dari pada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penaik tegangan. Transformator ini biasa ditemui pada pembangkit-pembangkit tenaga listrik sebagai penaik tegangan.



Gambar 2.2 Transformator Step-Up

2. Transformator Step-Down

Transformator step-down memiliki lilitan sekunder lebih sedikit dari pada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penurun tegangan. Transformator jenis ini sangat mudah ditemui, terutama dalam adaptor AC-DC.



Gambar 2.3 Transformator Step-Down

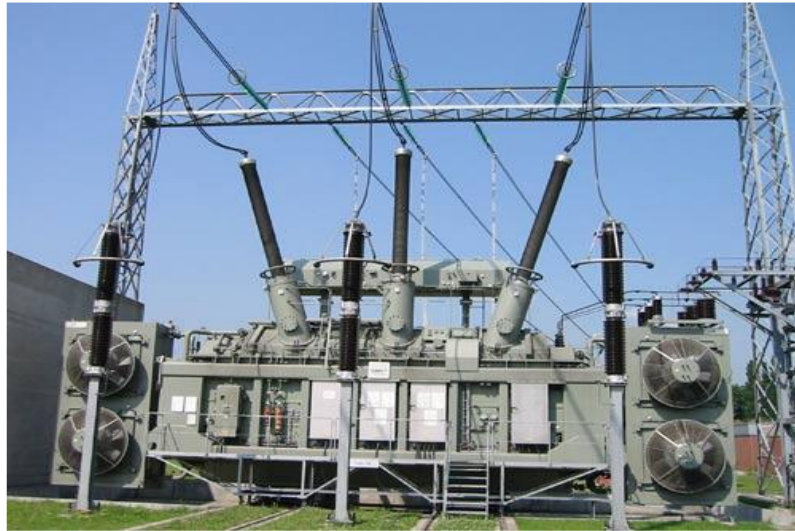
Jenis Transformator berdasarkan Penggunaannya.

Ada beberapa jenis trafo yang dikenal dan digunakan secara luas di masyarakat, diantaranya adalah :

1. Trafo Daya

Trafo Daya adalah trafo yang biasa digunakan di GI baik itu GI Pembangkit dan GI Distribusi dimana trafo tersebut memiliki kapasitas daya yang besar. Di GI Pembangkit, trafo digunakan untuk menaikkan tegangan ke tegangan transmisi/tinggi (150/500kV). Sedangkan di GI Distribusi, trafo digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi ke tegangan primer/menengah (11,6/20kV).

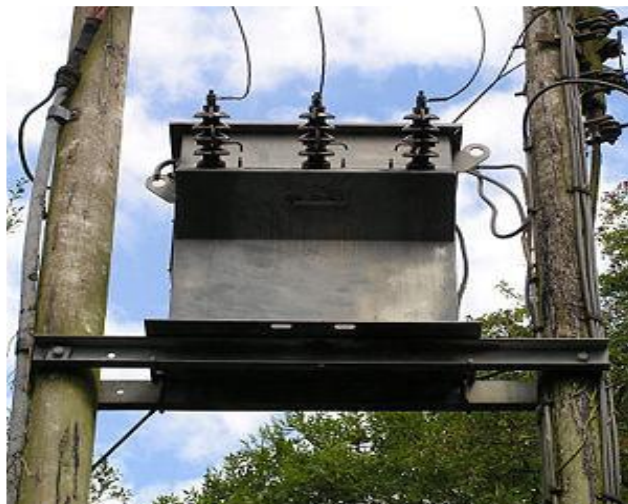
Arga, 2020. Transformator Step Up dan Transformator Step Down <https://pintarelektro.com/transformator-step-up-dan-step-down/> (diakses tanggal 17 juni 2022)



Gambar 2.4 Trafo Daya

2. Trafo Distribusi

Trafo Distribusi Adalah trafo yang digunakan untuk menurunkan tegangan menengah (11,6/20kV) menjadi tegangan rendah (220/380V). Trafo ini tersebar luas di lingkungan masyarakat dan mudah mengenalinya karena biasa berada di tiang listrik.



Gambar 2.5 Trafo Distribusi 3 fasa

3. Trafo Tegangan (Potensial Trafo)

Trafo Tegangan (Potensial Trafo) Adalah trafo yang digunakan untuk mengambil input data masukan berupa besaran tegangan dengan cara perbandingan belitan pada belitan primer atau sekunder. Trafo ini biasa digunakan untuk pengukuran tak langsung beban yang mengalir ke pelanggan kemudian membatasinya. Selain itu bisa juga besaran tegangannya diambil sebagai input data masukan peralatan pengaman jaringan.



Gambar 2.6 Trafo Tegangan

4. Trafo arus (Current Trafo)

Trafo Arus (*Current Transformer*) yaitu peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran besaran arus pada instalasi tenaga listrik disisi (TET, TT dan TM) yang berskala besar dengan melakukan transformasi dari besaran arus yang besar menjadi besaran arus yang kecil secara akurat dan teliti untuk keperluan pengukuran dan proteksi.



Gambar 2.7 Trafo Arus

2.4 Jenis Transformator Berdasarkan Proses Pendinginan

Terdapat dua jenis transformator berdasarkan proses pendinginan, diantaranya adalah:

1. Tipe Kering (dry type transformer)

Trafo ini merupakan jenis baru yang di claim sebagai trafo free maintenance karena tidak menggunakan oli sebagai bahan pendinginnya melainkan menggunakan kipas yang berada didalam unit trafo namun Karena panas nya yang lumayan tinggi biasanya trafo ini membutuhkan perlakuan khusus yang mengharuskan diletakkan diruangan ber Ac sebagai pendingin tambahan nya. Trafo ini juga memiliki alat untuk memonitor dan trip jika terjadi overheating atau kelebihan panas dari trafo itu sendiri.

- a. (AN) Pendingin udara natural
- b. (AF) Pendinginan udara terpompa



Gambar 2.8 Transformator tipe Kering

2. Tipe Basah (oil type transformer)

Trafo jenis ini merupakan jenis lama yang sampai saat ini masih banyak digunakan, trafo ini level olinya tidak boleh sampai kurang dari batas minimum, sehingga harus terus dipantau, trafo ini diberi nama trafo basah karena menggunakan oli sebagai bahan pendingin yang bersifat isolasi.



Gambar 2.9 Transformator tipe basah ONAN

a. ONAN : Oil Natural Air Natural

Pada tipe ini udara dan oil akan bersirkulasi dengan alami. Perputaran oil akan dipengaruhi oleh suhu dari oil tersebut. Metode ini banyak digunakan oleh transformator dengan kapasitas daya sampai dengan 30 MVA. Transformator dipasangi radiator tipe sirip untuk sirkulasi minyak secara alami/natural.

b. ONAF : Oil Natural Air Forced

Pada tipe ini oil akan bersirkulasi dengan alami namun saat oil melalui radiator oil akan didinginkan dibantu dengan kipas/fan. Metode ini banyak digunakan oleh transformator dengan kapasitas daya antara 30 MVA dan 60 MVA. Menggunakan radiator tipe sirip yang dilengkapi dengan kipas pendingin. Kipas-kipas dinyalakan saat pembebanan yang berat saja.

c. OFAF : Oil Forced Air Forced

Pada tipe ini oil akan didinginkan dengan bantuan pompa agar sirkulasi semakin cepat dan juga dibantu kipas/fan pada radiatornya. Khusus jenis trafo tenaga tipe basah, kumparan-kumparan dan intinya direndam dalam minyak trafo, terutama trafo-trafo tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo mempunyai sifat sebagai media pemindah panas dan bersifat pula sebagai isolasi (tegangan tembus tinggi) sehingga berfungsi sebagai media pendingin dan isolasi. Untuk itu minyak trafo harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- 1) Ketahanan isolasi harus tinggi (>10 kV/mm)
- 2) Berat jenis harus kecil, sehingga partikel-partikel inert di dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.
- 3) Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik.
- 4) Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan. Tidak merusak bahan isolasi padat (sifat kimia).

d. OFWF : Oil Forced Water Forced

Merupakan transformator dengan minyak sebagai pendingin belitan yang bersirkulasi secara paksa atau buatan dan air sebagai pendingin luar yang bersirkulasi secara paksa atau buatan. Transformator daya dengan rating daya yang besar dan memiliki rentang penggunaan daya yang lebar pada umumnya menggunakan gabungan dari tiga jenis sistem pendingin, yaitu ONAN, ONAF, dan OFAF. Biasanya transformator tersebut dilengkapi oleh sensor temperatur analog. Sensor ini biasanya sudah diatur agar sistem pendingin dapat diubah konfigurasinya ketika temperatur transformator mencapai batasan tertentu. Misal ketika temperatur $0^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$ digunakan sistem ONAN, antara $50^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$ digunakan sistem ONAF (kipas angin menyala), dan $\geq 60^{\circ}\text{C}$ digunakan sistem OFAF (pompa minyak menyala).

2.6 Peralatan Sistem Distribusi

Jaringan distribusi yang baik adalah jaringan yang memiliki perlengkapan dan peralatan yang cukup lengkap, baik itu peralatan guna kontruksi maupun peralatan proteksi. Untuk jaringan distribusi sistem saluran udara, peratan-peralatanm proteksi dipasangkan diatas tiang-tiang listrik berdekatan dekat letak pemasangan trafo, perlengkapan utama pada sistem distribusi tersebut antara lain:

1. Tiang

Berfungsi Untuk meletakkan penghantar serta perlengkapan system seperti transformator, Fuse, isolator, arrester, recloser dan sebagainya. Tiang dibagi menjadi 3 jenis yaitu tiang kayu, besi dan beton sesuai dengan fungsi bawah tanah.

2. Penghantar

Berfungsi sebagai penyalur arus listrik dari trafo daya pada gardu induk ke konsumen. Kebanyakan penghantar yang digunakan pada sistem distribusi Begitu juga dengan beberapa kawat jaringan bawah tanah.



Gambar 2.10 Kabel Penghantar

3. Kapasitor

Berfungsi untuk memperbesar factor daya pada system penyaluran.

4. Recloser

Berfungsi untuk memutuskan saluran secara otomatis ketika terjadi gangguan dan akan segera menutup kembali beberapa waktu kemudian sesuai dengan setting waktunya. Biasanya alat ini disetting untuk dua kali bekerja, yaitu dua kali pemutusan dan dua kali penyambungan . Apabila hingga kerja recloser yang kedua keadaan masih membuka dan menutup, berarti telah terjadi gangguan permanen.

5. Circuit Breaker

Berfungsi untuk memutuskan saluran apabila terjadi gangguan beban lebih maupun adanya gangguan hubung singkat.



Gambar 2.11 NFB (No Fuse Breaker)

6. PMT

Pemutus Tenaga(PMT) Berfungsi untuk memutuskan saluran secara keseluruhan pada tiap out put. Pemutusan dapat terjadi karena adanya gangguan sehingga secara otomatis PMT akan membuka ataupun secara manual diputuskan karena adanya pemeliharaan jaringan.



Gambar 2.12 Pemutus Tenaga

7. Transformator

Berfungsi untuk menurunkan/menaikkan level tegangan sehingga sesuai dengan tegangan kerja yang diinginkan



Gambar 2.13 Transformator

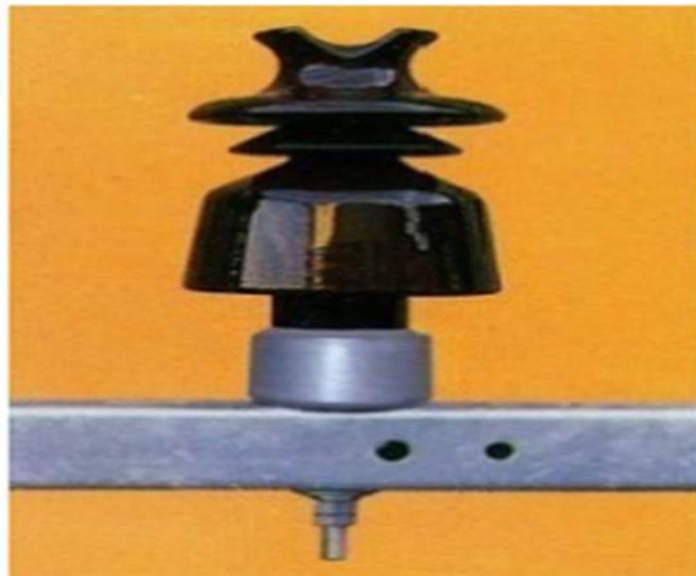
8. Isolator

Berfungsi untuk melindungi kebocoran arus dari penghantar ke tiang maupun ke penghantar lainnya. Perlengkapan – perlengkapan diatas sangat penting keberadaannya, terutama untuk peralatan proteksi. Agar dapat bekerja dengan baik dan terjaminnya kontinuitas pelayanan, maka harus dilakukan pemeliharaan secara rutin untuk mengetahui kerusakan dan kehandalan dari masing-masing peralatan tersebut. Pemeliharaan peralatan yang rutin sangat penting dilakukan agar setiap saat dapat diawasi keadaannya apakah masih layak dipakai atau tidak.

Jenis – jenis isolator yang sering dipakai pada jaringan distribusi :

1. Isolator Tumpu

Gambar 2.3 Di bawah ini memperlihatkan contoh isolator tumpu tegangan menengah (TM) yang digunakan oleh pihak PLN.



Gambar 2. 14 Isolator Tumpu

2. Isolator Tarik

Gambar 3.11 Di bawah ini, memperlihatkan contoh isolator tarik tegangan menengah (TM) yang digunakan oleh pihak PLN.



Gambar 2. 15 Isolator Tarik

2.7 Transformator Distribusi

Transformator adalah salah komponen elektro yang berkerja untuk menaikkan tegangan serta menurunkan tegangan dengan perinsip kerja gandengan elektromagnetik. Dalam sistem distribusi tenaga listrik transformator dapat dibagi berdasarkan sistem kerja menjadi dua macam yaitu: 1. Transformator Step Up (11,6 KV menjadi 150 KV) 2. Transformator Down (150 KV menjadi 20 KV) dan (20 KV menjadi 380 / 220 Volt) Sistem distribusi menggunakan jenis transformator step down untuk menghasilkan tegangan yang diinginkan.



Gambar 2.16 Transformator Distribusi

2.8 Bagian Bagian Transformator

Bagian Transformator dan Fungsinya

1. Inti Besi
2. Kumparan Transformator
3. Minyak Transformator
4. Bushing
5. Tangki Konservator

1. Inti Besi

Inti besi (electromagnetic circuit) digunakan sebagai media jalannya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan–lempengan besi tipis berisolasi yang disusun sedemikian rupa.



Gambar 2.17 Inti Besi Transformator

2. Kumparan Transformator

Kumparan transformator adalah beberapa lilitan kawat berisolasi yang membentuk suatu kumparan atau gulungan. Kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, pertinak dan lain-lain. Kumparan tersebut sebagai alat transformasi tegangan dan arus.



Gambar 2.18 Kumparan Transformator

3. Minyak Transformator

Di dalam sebuah transformator terdapat dua komponen yang secara aktif “membangkitkan” energi panas, yaitu besi (inti) dan tembaga (kumparan). Bila energi panas tidak disalurkan melalui suatu sistem pendinginan akan mengakibatkan besi maupun tembaga akan mencapai suhu yang tinggi, yang akan merusak nilai isolasinya. Untuk maksud pendinginan itu, kumparan dan inti dimasukkan ke dalam suatu jenis minyak, yang dinamakan minyak transformator.

Minyak itu mempunyai fungsi ganda, yaitu pendinginan dan isolasi. Fungsi isolasi ini mengakibatkan berbagai ukuran dapat diperkecil. Perlu dikemukakan bahwa minyak transformator harus memiliki mutu yang tinggi dan senantiasa berada dalam keadaan bersih. Disebabkan energi panas yang dibangkitkan dari inti maupun kumparan, suhu minyak akan naik. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya perubahan-perubahan pada minyak transformator.



Gambar 2.19 Minyak Transformator

4. Bushing

Bushing merupakan komponen penting dari transformator yang berada di bagian luar transformator. Fungsinya sebagai penghubung antara kumparan transformator dengan jaringan di luar transformator. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang terhubung dengan kumparan yang berada di dalam transformator dan konduktor tersebut diselubungi oleh bahan isolator. Bahan isolator berfungsi sebagai media isolasi antara konduktor bushing dengan badan

tangki utama transformator. Secara garis besar, bushing terdiri dari empat bagian utama, yaitu konduktor, isolator, klem koneksi, dan aksesoris.



Gambar 2.20 Bushing

5. Tangki Konservator

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada transformator, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat transformator mengalami kenaikan suhu. Seiring dengan naik turunnya volume minyak dikonservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara didalam konservator pun akan bertambah dan berkurang.

Penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan udara luar. Agar minyak isolasi transformator tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar, maka udara yang akan masuk ke dalam konservator akan difilter melalui silica gel. Untuk menghindari agar minyak trafo tidak berhubungan langsung dengan udara luar, maka saat ini konservator dirancang dengan menggunakan brether bag/rubber bag, yaitu sejenis balon karet yang dipasang di dalam tangki konservator



Gambar 2.21 Tangki Konservator

6. Alat pernapasan (Dehydrating Breather)

Sebagai tempat penampungan pemuaian minyak isolasi akibat panas yang timbul maka minyak ditampung pada tangki yang sering disebut sebagai konservator. Pada konservator ini permukaan minyak diusahakan tidak boleh bersinggungan dengan udara karena kelembapan udara yang mengandung uap air akan mengontaminasi minyak walaupun prosesnya berlangsung cukup lama. Untuk mengatasi hal tersebut udara yang masuk ke dalam tangki konservator pada saat minyak menjadi dingin diperlukan suatu media pengisap kelembapan yang digunakan biasanya adalah silicagel. Kebalikan jika trafo panas maka pada saat menyusut maka akan mengisap udara dari luar masuk ke dalam tangki dan untuk menghindari terkontaminasi oleh kelembapan udara maka diperlukan suatu media pengisap kelembapan yang digunakan biasanya adalah silicagel yang secara khusus dirancang untuk maksud tersebut di atas. Konstruksi alat pernapasan transformator dapat dilihat pada gambar berikut



Gambar 2.22 Dehydrating Breather

7. Penghantar

Penghantar Dalam penggunaan penghantar disistem jaringan listrik tentunya berfungsi untuk menghantarkan arus listrik. Dalam pemilihan jenis penghantar yang akan digunakan kabel atau kawat, penghantar tersebut harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut: - Memiliki daya hantar yang tinggi - Memiliki kekuatan tarik yang tinggi - Memiliki berat jenis yang rendah - Memiliki fleksibilitas yang tinggi - Tidak cepat rapuh - Ekonomis - Jenis-jenis bahan pengantar yang digunakan yaitu: - Kawat logam biasa (contoh: BBC (Bare Copper Conductor)) - Kawat logam campuran (contoh: AAAC (All Aluminium Alloy Conductor))



Gambar 2.23 Kabel Penghantar

8. Tap Changer

Kestabilan tegangan dalam suatu jaringan merupakan salah satu hal yang dinilai sebagai kualitas tegangan. Transformator dituntut memiliki nilai output yang stabil sedangkan besarnya tegangan input tidak selalu sama. Dengan mengubah banyaknya belitan pada sisi primer diharapkan dapat merubah ratio antara belitan primer dan sekunder dengan demikian tegangan output / sekunder pun dapat disesuaikan dengan kebutuhan sistem berapapun tegangan input / primernya. Penyesuaian ratio belitan ini dapat disebut Tap Changer.

9. NGR (*Neutral Grounding Resistant*)

Salah satu metoda pentanahan adalah dengan menggunakan NGR. NGR adalah sebuah tahanan yang dipasang serial dengan neutral sekunder pada transformator sebelum terhubung ke ground / tanah. Tujuan dipasang NGR adalah untuk mengontrol besarnya arus gangguan yang mengalir sisi netral ke tanah.

2.9 PHB (Panel Hubung Bagi)

1. Pengertian

PHB adalah merupakan perlengkapan yang digunakan untuk membagi dan mengendalikan tenaga listrik. Komponen utama yang terdapat pada PHB diantaranya adalah : Sekring, pemutus tenaga, sakelar isolasi, alat dan instrument ukur (ampere meter dll), rel (busbar). Dalam PHB juga terdapat alat bantu berupa lampu indicator, tombol-tombol operasi, rangkaian dan komponen kontrol. PHB merupakan bagian dari suatu sistem suplai. Sistem suplai itu sendiri pada umumnya terdiri atas : pembangkitan (generator), transmisi (penghantar), pemindahan daya (transformator). Sebelum tenaga listrik sampai ke peralatan konsumen seperti motor-motor, katup solenoid, pemanas, lampu-lampu penerangan, AC dan sebagainya, biasanya melalui PHB terlebih dahulu. Di dalam pembahasan selanjutnya pada modul ini hanya akan dibahas tentang PHB tegangan rendah. Di

dalam memilih PHB yang akan dipakai dalam sistem, terdapat empat katagori yang dapat dipakai sebagai kriteria dalam pemilihan yaitu :

2. Arus

Yang dimaksud dengan arus ini adalah erat kaitannya dengan kapasitas PHB itu sendiri yang dipakai untuk melayani sejumlah beban yang sudah diperhitungkan sebelumnya, sehingga dalam pemilihan PHB itu perlu mempertimbangkan besarnya arus yang akan mengalir di PHB tersebut.

Yang berkaitan dengan arus ini hal-hal yang perlu dipertimbangkan adalah:

- 1) Rating arus rel
- 2) Rating arus saluran masuk
- 3) Rating arus saluran keluar
- 4) Rating kemampuan rel dalam menahan arus hubungan singkat

3. Proteksi dan Instalasi

Di dalam memilih PHB perlu dipertimbangkan pula kriteria pengaman dan pemasangannya yaitu antara lain :

- 1) Tingkat pengamanan
- 2) Metode instalasinya
- 3) Jumlah muka operasinya
- 4) Peralatan ukur untuk proteksi
- 5) Bahan selungkupnya

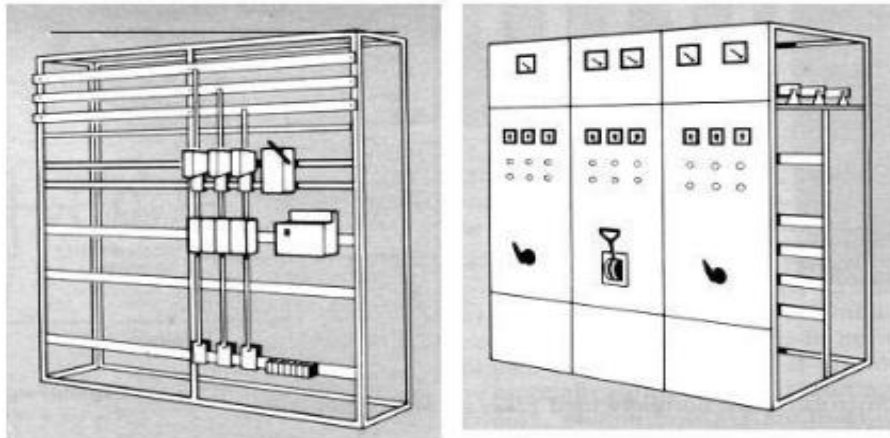
4. Aplikasi

Bentuk dan konstruksi PHB yang ada dipasaran sangat banyak, sehingga susah untuk membedakan PHB jika dilihat dari bentuk fisiknya saja. Untuk membedakan PHB yang jenisnya sangat bervariasi akan lebih tepat jika ditinjau dari aplikasinya. Berikut adalah contoh dari beberapa pemakaian PHB yang lazim ditemui di lapangan :

- 1) PHB untuk penerangan dan daya
- 2) PHB untuk unit konsumen
- 3) PHB untuk distribusi sistem saluran penghantar (trunking)
- 4) PHB untuk perbaikan faktor daya
- 5) PHB untuk distribusi di Industri
- 6) PHB untuk distribusi motor-motor
- 7) PHB utama 8) PHB untuk distribusi
- 9) PHB untuk sub distribusi
- 10) PHB untuk sistem control

Bentuk Konstruksi PHB jika ditinjau dari segi bentuk konstruksinya, dapat dibedakan sebagai berikut :

- 1) Konstruksi Terbuka Pada jenis PHB dengan konstruksi terbuka ini pada bagian bagian yang aktif atau bertegangan seperti rel beberapa peralatan, terminal dan penghantar dapat terlihat dan terjangkau dari segala sisi. Pemasangan PHB sistem terbuka ini hanya diijinkan pada ruangan yang tertutup dan hanya operator atau orang yang profesional yang boleh masuk dalam ruangan tersebut.
- 2) Konstruksi Semi -Tertutup PHB jenis ini berupa panel yang dilengkapi dengan pengaman yang dapat mencegah terjadi kontak dengan bagian-bagian yang bertegangan pada PHB. Pengaman ini pada umumnya dipasang pada bagian sakelar/tombol operasi muka, sehingga operator tidak mempunyai akses menyentuh bagian-bagian yang bertegangan pada PHB dari arah muka. Namun demikian pada panel jenis ini tidak semua sisi tertutup seperti contohnya pada bagian belakang dan samping nya . Untuk itu PHB jenis ini pula hanya diijinkan dipasang pada tertutup dan hanya operator atau orang yang profesional yang boleh masuk ruangan tersebut.



Gambar 2.24 PHB Terbuka PHB Tertutup

2.10 Sistem Proteksi

Sistem proteksi tenaga listrik merupakan sistem pengamanan pada peralatan peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti generator, busbar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya terhadap kondisi abnormal operasi sistem tenaga listrik tersebut.

Kegunaan sistem proteksi tenaga listrik, antara lain untuk :

- a. Mencegah kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
- b. Mengurangi kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
- c. Mempersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas.
- d. Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan dan mutu tinggi kepada konsumen
- e. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik

2.12 Prinsip Kerja Sistem Proteksi

Dalam prinsip kerja sistem proteksi, dikenal juga dengan istilah arus lebih. Yaitu dimana dalam satu daerah proteksi terdapat komponen proteksi yang terpasang secara bersamaan atau tumpang tindih. Adanya arus lebih ini berguna untuk menunjang berkejanya sistem proteksi dalam mengamankan dan menetralkan gangguan yang terjadi apabila salah satu dari komponen proteksi tidak bekerja maka ada komponen proteksi yang lain yang dapat meng back-up untuk mengamankan peralatan listrik tersebut

2.13 Tipe Proteksi

Ada dua kategori proteksi yang dikenal yaitu proteksi utama (main protection) dan proteksi pembantu (back up protection). Proteksi utama adalah pertahanan utama dan akan membebaskan gangguan pada bagian yang akan diproteksi secepat mungkin. Mengingat keandalan 100 % tidak hanya dari perlindungan tetapi juga dari trafo arus, trafo tegangan dan pemutus rangkaian yang tidak dapat dijamin, untuk itu diperlukan perlindungan pembantu (auxiliary protection) pada alat proteksi tersebut. Proteksi pembantu bekerja bila rele utama gagal dan tidak hanya melindungi daerah berikutnya dengan perlambatan waktu yang lebih lama dari pada relay utamanya.

1. NFB (*No Fuse Breaker*)



Gambar 2.25 NFB (No Fuse Breaker)

NFB atau No Fuse Breaker berfungsi sebagai pembatas arus listrik dari beban lebih. Bila arus yang mengalir pada NFB ini melebihi dari In (arus nominal) pada NFB, maka NFB ini akan memutuskan arus ke beban.

NFB dalam bahasa Indonesia bisa diartikan sebagai pemutus tanpa sekering, berfungsi untuk menghubungkan dan memutus tegangan/arus utama dengan sirkuit atau beban, selain itu juga berfungsi untuk memutuskan/melindungi beban dari arus yang berlebihan ataupun jika terjadi hubung singkat. Cara kerja NFB, ketika arus yang mengalir melaluinya melebihi dari nilai yang tertera pada NFB maka secara otomatis NFB akan memutuskan arusnya gambar diatas adalah NFB 3 Phase umumnya digunakan pada instalasi motor induksi atau breaker pada panel kontrol.

Selain itu NFB sangat baik di gunakan pada pengguna listrik rumah tingkat atas dan industry. Ini di karenakan Penggunaan NFB yang sangat menjamin keamanan listrik anda. Namun sebaliknya penggunaan NFB jangan pernah anda gunakan untuk pengguna rumah menengah ke bawah (SEDERHANA), karena alat ini tidak akan berfungsi pada instalasi rumah anda.

2. Relai Bucholz

Relai bucholz dipasang pada pipa dari maintank ke konservator ataupun dari OLTC ke konservator tergantung design trafonya apakah dikedua pipa tersebut dipasang relai bucholz. Relai bucholz berfungsi untuk mendeteksi dan mengamankan gangguan di dalam transformator yang menimbulkan gas. Selama transformator beroperasi normal, relai akan terisi penuh dengan minyak. Pelampung akan berada pada posisi awal.



Gambar 2.26 *Relai Buchollz*

Bila terjadi gangguan yang kecil didalam tangki transformator, misalnya hubung singkat dalam kumparan, maka akan menimbulkan gas. Gas yang terbentuk akan berkumpul dalam relai pada saat perjalanan menuju tangki konservator, sehingga level minyak dalam relai turun dan akan mengerjakan kontak alarm (kontak pelampung atas). Bila level minyak transformator turun secara perlahan-lahan akibat dari suatu kebocoran, maka pelampung atas akan memberikan sinyal alarm dan bila penurunan minyak tersebut terus berlanjut, maka pelampung bawah akan memberikan sinyal trip. Bila terjadi busur api yang besar, kerusakan minyak akan terjadi dengan cepat dan timbul surja tekanan pada minyak yang bergerak melalui pipa menuju ke relai Bucholz.

Analisa gas yang terkumpul didalam relai bucholz:

- H_2 dan C_2H_2

Menunjukkan adanya busur api pada minyak antara bagian-bagian konstruksi.

- H_2 , C_2H_2 dan CH_4

Menunjukkan adanya busur api sehingga isolasi phenol terurai, misalnya terjadi gangguan pada sadapan.

- H_2 , C_2H_4 dan C_2H_2

Menunjukkan adanya pemanasan pada sambungan inti.

- H_2 , C_2H , CO_2 dan C_3H_4

Menunjukkan adanya pemanasan setempat pada lilitan inti.

Gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan kontak rele bucholz bekerja adalah :

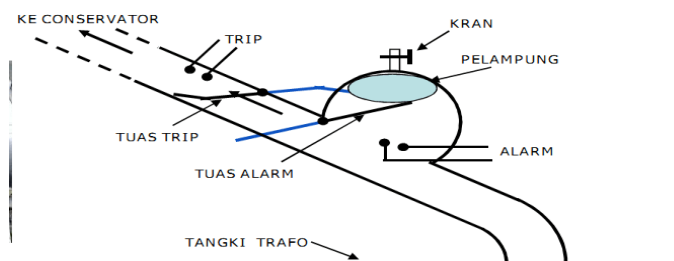
- a. Pemanas setempat
- b. Kontak – kontak listrik yang kurang baik
- c. Hubung singkat yang terjadi di dalam lapisan inti
- d. Kerusakan isolasi antara inti dengan baut
- e. Kemasukan udara di dalam benjana sehingga menimbulkan korosi atau pengaratatan sehingga dapat menyebabkan hubung singkat
- f. Kehilangan minyak akibat kebocoran, sehingga transformator kekurangan minyak

Sedangkan kerusakan – kerusakan yang lebih serius yang dapat menyebabkan rele bucholz bekerja adalah :

- a. Hubung singkat antara belitan
- b. Hubung singkat antara belitan dengan tanah
- c. Hubung singkat antara fasa
- d. kerusakan isolator pada transformator

Perlu diketahui bahwa agar rele bucholz dapat bekerja secara efektif, desain transformator dan terutama dari benjananya, harus diatur sedemikian rupa. Sehingga gelembung-gelembung gas yang terjadi tidak akan tersangkut dan tertinggal di dalam benjana transformator, melainkan akan naik dan mengalir ke wadah atupun benjana.

Prinsip Kerja Bucholz



Gambar 2.27 Bagian-bagian Bukholz

Sofiyandi, Endi. 2011. Gangguan Gangguan Pada Transformator. <https://electricdot.wordpress.com/2011/10/27/gangguan-gangguan-padatransformator/> (diakses tanggal 23 Juni 2022)

Konstruksi Bukholz ditunjukkan pada gambar diatas. Dengan adanya pelampung (floating-rest). Pelampung mempunyai kontak bantu atau switch (auxiliary contact), Kontak pada bukholz ada 2 sau bekerj sebagai kontak alarm dan satu beerja sebagai kontak trip. Ketika terjadi gangguan dari dalam trafo maka akan timbul gas di area bukholz yang menyebabkan pelampung bergerak secara bertahap ke atas. Ketika pelampung bergerak ke atas maka akan membuat kontak relay untuk tuas alarm beroperasi dan mengirimkan sinyal ke CB bahwa kondisi trafo sedang dalam gangguan. Relay ini juga dilengkapi peralatan yang menggerakkan kontak trip yang umumnya terhubung di CB dalam panel PMT Trafo jika trafo mengalami gangguan yang serius.

Relay pada bukholz akan bekerja secara dua tahap

- Membuat kontak alarm beroperasi dan mengirimkan sinyal alarm
- Membuat kontak perintah trip ke PMT

3. Relay Temperature

Relay Temperature bekerja apabila suhu kumparan trafo melebihi setting dari pada relai temperature, besarnya kenaikan suhu adalah sebanding dengan faktor pembebanan dan suhu udara luar trafo. Urutan kerja relai suhu kumparan/winding ini dibagi 2 tahap:

- a. Mengerjakan alarm (winding temperature alarm)
- b. Mengerjakan perintah trip ke PMT (winding temperature trip)



Gambar 2.28 Relai Temperature

Prinsip Kerja Relay Temperature

Dalam relay temperature terdapat dua jarum penunjuk, warna merah dan warna putih

- Warna putih berarti penunjuk suhu pada trafo
- Warna merah berarti penunjuk suhu max pada trafo

Ada dua macam relay suhu pada transformator yaitu :

- Relay suhu minyak

Relay ini dilengkapi dengan sensor yang di pasang pada minyak trafo yang juga berfungsi sebagai isolasi. Pada saat trafo bekerja memindahkan daya dari sisi primer ke sekunder, maka akan timbul panas pada minyak isolasi

- Relay suhu kumparan

Relay ini hampir sama dengan relay suhu. Perbedaannya terletak pada sensornya. Sensor relay suhu kumparan berupa elemen panas yang di pasang pada kumparan trafo.

Cara kerja kedua relay ini hampir sama yaitu mendeteksi suhu pada trafo. Ketika suhu trafo lebih panas dari setting proteksi suhu, maka kontak relay akan mengirimkan sinyal ke panel control berupa indicator alarm. Jika suhu pada trafo terus naik maka kontak relay akan mengirimkan sinyal ke panel control guna menjatuhkan PMT.

2.14 Kegunaan sistem proteksi

- A. Mencegah kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
- B. Mengurangi kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
- C. Mempersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas.
- E. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik

2.15 Gangguan Hubung singkat Pada Transformator

Transformator distribusi merupakan jantung dari jaringan distribusi tenaga listrik 20 kV. Transformator distribusi diharapkan bekerja terus-menerus untuk mensuplai tenaga listrik ke pelanggan. Timbulnya gangguan pada transformator distribusi mengakibatkan kerusakan pada trafo dan terputusnya penyaluran tenaga listrik ke pelanggan. Gangguan pada transformator distribusi dapat diakibatkan terjadinya hubung singkat eksternal, kegagalan isolasi, akibat petir, kegagalan proteksi, kelemahan tap changer, kurangnya pemeliharaan, kesalahan operasional, proses penuaan, kerusakan atau kebocoran packing, kebocoran pada bushing dan penyebab gangguan lainnya. Studi kasus pada jaringan distribusi 20 kV di PT. Bukit Asam.

Untuk menghitung Arus hubung singkat Transformator Dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

Rumus Perhitungan arus hubung singkat Transformator

$$I_{sc} = \frac{100\%}{Z} \times I_{fl} \text{ (Full Load/Beban Maksimal)}$$

Ket : I_{sc} : Arus Hubung Singkat/ Sircuit Current

Z : Impedansi

FL : Full Load/ Beban Maksimal

Untuk Mencari arus hubung singkat suatu Transformator Harus diketahui beban maksimal transformator tersebut, adapun cara mencari beban maksimal transformator yaitu:

Rumus Mencari Beban Maksimal/Full Load(I_{fl})

$$I_{fl} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{tr}}$$

Ket: S : Rated Power/ Nilai Daya

V_{tr} : Arus Tegangan Rendah

Perlu di perhatikan ketika mencari arus hubung singkat

1. Data yang di gunakan harus berdasarkan dari Nameplate Transformator
2. Menghitung Arus Hubung Singkat pada sebuah Transformator Dilakukan dari sisi tegangan rendah

2.16 Penyebab Gangguan

Penyebab Gangguan pada Transformator dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Gangguan Internal Trafo (Internal Faults)

Trafo memiliki sifat statis. Oleh karenanya, sebenarnya trafo termasuk peralatan pada sistem tenaga listrik yang reliable (berkeandalan tinggi). Namun, tetap saja, ada kemungkinan kegagalan ataupun gangguan terjadi diakibatkan oleh internal faults. Kondisi gangguan internal ini bisa terjadi karena, saat bekerja, trafo mendapatkan tekanan dari sumber-sumber eksternal.

Yang termasuk internal faults pada trafo adalah :

1. Kegagalan pada isolasi belitan, laminasi, atau baut inti -> Kualitas yang menurun (biasanya terjadi kerapuhan) akibat usia atau overload.
 - Kegagalan pada isolasi belitan dapat mengakibatkan gangguan bumi (earth-faults)
 - Peluang terjadinya gangguan antar fasa sangat kecil
 - Kegagalan pada laminasi atau isolasi baut inti menyebabkan peningkatan eddy current, yang mengakibatkan panas berlebih pada inti.

2. Penurunan kualitas minyak yang bisa disebabkan oleh kualitas minyak yang buruk, penetrasi kelembaban, dekomposisi karena terlalu panas, atau pembentukan endapan oleh oksidasi sebagai akibat dari sambungan yang buruk.

3. Berkurangnya / habisnya minyak pada tangki konservator diakibatkan karena kebocoran.

4. Ketidakmampuan menahan stress (tekanan) gangguan.
 - Hal ini dapat terjadi karena desain yang buruk, atau

- Arus yang sangat besar berulang-ulang menyebabkan tekanan mekanis yang parah, mengakibatkan bungkusan (packing) dan wedges menjadi longgar dan akhirnya terguncang.
5. Gangguan pada tap-changer.
 6. Gangguan pada sistem pendinginan.

2. Gangguan Eksternal Trafo (External Faults)

Beberapa kondisi eksternal yang bisa menyebabkan gangguan pada trafo antara lain:

1. Gangguan hubung singkat pada sistem.

Arus sangat tinggi yang disebabkan oleh hubung singkat yang terjadi pada sistem mengakibatkan mechanical stress yang tinggi pada belitan trafo dan isolasi.

2. Overload

Overload dapat mengakibatkan overheating dan juga menimbulkan mechanical stress dalam belitan trafo dan isolasi.

3. Gangguan Surja Hubung (Switching surges)

Besarnya tegangan surja hubung bisa sampai dengan berkali-kali lipat dari tegangan nominal sistem. Hal ini mengakibatkan stress pada ujung akhir belitan.

4. Petir

Gangguan ini hanya mungkin terjadi pada trafo yang tersembung pada saluran listrik overhead. Solusi untuk mengatasi gangguan petir adalah dengan menggunakan arrester ataupun spark gaps.

2.17 Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar / switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode waktu tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal / gangguan seperti kondisi short circuit / hubung singkat.



Gambar 2.29 Pemutus Tenaga

2.18 Syarat-syarat pemasangan PMT/Circuit Breaker

1. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara terus-menerus.
2. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
3. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan kecepatan tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, membuat sistem kehilangan kestabilan, dan merusak pemutus tenaga itu sendiri.

2.19 Hal yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan PMT, yaitu:

1. Tegangan efektif tertinggi dan frekuensi daya jaringan dimana pemutus daya itu akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem.
2. Arus maksimum kontinyu yang akan dialirkan melalui pemutus daya. Nilai arus ini tergantung pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban dimana pemutus daya tersebut terpasang
3. Arus hubung singkat maksimum yang akan diputuskan pemutus daya tersebut.
4. Lamanya maksimum arus hubung singkat yang boleh berlangsung. hal ini berhubungan dengan waktu pembukaan kontak yang dibutuhkan.
5. Jarak bebas antara bagian yang bertegangan tinggi dengan objek lain disekitarnya.
6. Jarak rambat arus bocor pada isolatornya.
7. Kekuatan dielektrik media isolator sela kontak.
8. Iklim dan ketinggian lokasi penempatan pemutus daya.

2.20 Persyaratan Sistem Proteksi

Pada sistem proteksi tenaga listrik, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi demi mengamankan peralatan-peralatan listrik yang ada. Untuk itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu sistem proteksi, seperti berikut ini

1. Keterandalan (Reliability)

Pada kondisi normal (tidak ada gangguan) relay tidak bekerja. Jika terjadi gangguan maka relay tidak boleh gagal bekerja dalam mengatasi gangguan. Kegagalan kerja relay dapat mengakibatkan alat yang diamankan rusak berat atau gangguannya meluas sehingga daerah yang mengalami pemadaman semakin luas. Relay tidak boleh salah kerja, artinya relay yang seharusnya tidak bekerja, tetapi bekerja. Hal ini menimbulkan pemadaman yang tidak seharusnya dan menyulitkan analisa gangguan yang terjadi. Keandalan relay pengaman ditentukan dari rancangan, pengerjaan, beban yang digunakan, dan perawatannya.

2. Selektivitas (Selectivity)

Selektivitas berarti relay harus mempunyai daya beda (discrimination), sehingga mampu dengan tepat memilih bagian yang terkena gangguan. Kemudian relay bertugas mengamankan peralatan. Relay mendeteksi adanya gangguan dan memberikan perintah untuk membuka pemutus tenaga dan memisahkan bagian yang terganggu. Bagian yang tidak terganggu jangan sampai dilepas dan masih. Jika terjadi pemutusan hanya terbatas pada daerah yang terganggu.

3. Sensitivitas (Sensitivity)

Relay harus mempunyai kepekaan yang tinggi terhadap besaran minimal (kritis) sebagaimana direncanakan. Relay harus dapat bekerja pada awalnya terjadinya gangguan. Oleh karena itu, gangguan lebih mudah diatasi pada awal kejadian. Hal ini memberi keuntungan dimana kerusakan peralatan yang harus diamankan menjadi kecil. Namun demikian, relay juga harus stabil.

4. Kecepatan Kerja

Relay pengaman harus dapat bekerja dengan cepat. Jika ada gangguan, misalnya isolasi bocor akibat adanya gangguan tegangan lebih terlalu lama sehingga peralatan listrik yang diamankan dapat mengalami kerusakan. Namun demikian, relay tidak boleh bekerja terlalu cepat (kurang dari 10 ms). Disamping itu, waktu kerja relay tidak boleh melampaui waktu penyelesaian kritis (critical clearing time). Pada sistem yang besar atau luas, kecepatan kerja relay pengaman mutlak diperlukan karena untuk menjaga kestabilan sistem agar tidak terganggu. Hal ini untuk mencegah relay salah kerja karena transient akibat surja petir.

5. Ekonomis

Satu hal yang harus diperhatikan sebagai persyaratan relay pengaman adalah masalah harga atau biaya. Relay tidak akan diaplikasikan dalam sistem tenaga listrik, jika harganya sangat mahal. Persyaratan reliabilitas, sensitivitas, selektivitas dan kecepatan kerja relay hendaknya tidak menyebabkan harga relay tersebut menjadi mahal.