

BAB III
MACAM GANGGUAN DAN PENGAMAN
PADA TRANSFORMATOR PEMBANGKIT

3.1. MACAM GANGGUAN PADA TRANSFORMATOR PEMBANGKIT

Macam-macam gangguan transformator pembangkit dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

A. Gangguan Luar (Through Fault)

Gangguan luar dimaksud adalah gangguan yang diakibatkan oleh, atau terjadi diluar daerah pengaman transformator yang dapat merupakan sumber kerusakan pada transformator. Gangguan-gangguan tersebut antara lain :

1. Reban lebih (Overload)

Pembebanan lebih yang melampaui kapasitasnya menyebabkan pemanasan yang berlebihan akibat kenaikan suhu.

Suhu yang tinggi menyebabkan :

- a. Memperpendek umur transformator (Life time)
- b. Merusak isolasi dan material belitan.

2. Hubung singkat disisi luar (External Short Circuit)

Terjadi hubung singkat phasa ke phasa ke tanah diluar daerah pengaman transformator akibat arus hubung singkat yang besar.

B. Gangguan dalam (Internal Fault)

Gangguan dalam yang dimaksud adalah gangguan yang

bersumber dari dalam transformator itu sendiri.

Gangguan dalam pada transformator dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Gangguan listrik (Electrical Fault)

Gangguan ini tergolong gangguan berat yang umumnya adalah gangguan listrik (Electrical Fault) dan langsung dapat menyebabkan kerusakan pada bagian-bagian transformator.

Gangguan ini biasanya dapat terdeteksi langsung oleh relay-relay arus dan tegangan tidak seimbang.

Gangguan tersebut antara lain :

- a. Gangguan hubung singkat phasa ke phasa atau phasa ke tanah pada terminal belitan tegangan tinggi atau rendah.
- b. Gangguan hubung singkat phasa ke phasa atau phasa ke tanah pada belitan tegangan tinggi atau rendah.
- c. Hubung singkat diantara gulungan belitan tegangan tinggi atau rendah.
- d. Hubung singkat pada belitan tertier atau hubung singkat diantara gulungan belitan tertier.

2. Gangguan awal

Gangguan ini sering diistilahkan "Incipient Fault" yaitu gangguan yang tergolong ringan dan berawal dari gangguan kecil namun kemudian secara perlahan-lahan

berkembang menjadi gangguan berat dan mengakibatkan kerusakan apabila tidak segera terdeteksi. Keadaan gangguan seperti ini tidak dapat terdeteksi oleh relay-relay arus dan tegangan tidak seimbang.

Gangguan-gangguan tersebut antara lain :

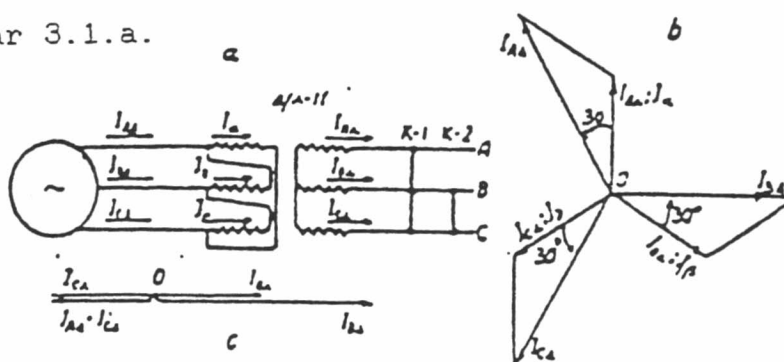
- a. Kendornya baut-baut atau ring pada terminal konduktor.
- b. Gangguan pada inti besi akibat kerusakan laminasi isolasi yang menimbulkan percikan bunga api dibawah minyak.
- c. Gangguan di sistim pendingin, seperti kerusakan pada pompa sirkulasi minyak, kipas pendingin dan bagian-bagian dari sistim pendingin lainnya yang dapat menyebabkan kenaikan suhu operasi yang tinggi, meskipun transformator masih beroperasi dibawah beban penuh.
- d. Adanya kemungkinan pengentalan minyak atau kebutuhan pada bagian-bagian tertentu, sehingga sirkulasi minyak menjadi terganggu yang dapat mengakibatkan pemanasan setempat (local hot spot) pada sebagian belitan.
- e. Gangguan atau tidak berfungsinya bagian-bagian mekanik dari tap perubah berbeban (Load tap changer) akibat pemasangan yang kurang sempurna, (loss contact, getaran dan sebagainya).

- f. Kebocoran minyak dari bagian las-lasan, perapat packing dan sebagainya.
- g. Gangguan pada terminal bushing akibat adanya kontaminasi, keretakan, penuaan, bintang dan lain sebagainya.

3.1.1. Hubung Singkat Pada Sisi Sekunder Transformator

Dalam menganalisa gangguan dan menentukan rangkaian pengaman untuk transformator. hal yang perlu diperhatikan adalah hubungan dari transformator tersebut. Bila transformator mempunyai hubungan Y/Y-12 atau / - 12 hal ini tidak akan menjadi masalah, tetapi bila transformator memiliki hubungan Y/ maka ada sesuatu yang harus dipertimbangkan yaitu pergesekan phase.

Bila kita tinjau suatu hubung singkat yang terjadi pada sisi sekunder dari transformator seperti terlihat pada gambar 3.1.a.



Gambar 3.1
Hubung Singkat Pada Sisi Sekunder Transformator⁷⁾

⁷⁾ M. Titarenko, I. Noskov-Dukelsky, Op.cit, hal 40.

- a. Gambar untuk gangguan hubung singkat $3\phi(K_1)$ dan $2\phi(K_2)$.
- b. Vektor diagram arus gangguan 3ϕ dan gangguan 2ϕ .

Untuk mempermudah analisa, kita asumsikan perbandingan transformator adalah satu oleh karena itu berlaku :

1. Arus phase pada sisi delta akan sama besarnya (magnitude) dengan arus pada sisi bintang.

$$I_a = I_{AY}$$

$$I_B = I_{BY} \dots\dots\dots (3.1)$$

$$I_C = I_{CY}$$

2. Pada sisi delta, arus line pada kondisi normal dihitung dengan rumus :

$$I_A = (I_a - I_B) = \sqrt{3} \cdot I_{AY}$$

$$I_B = (I_B - I_C) = \sqrt{3} \cdot I_{BY} \dots\dots\dots (3.2)$$

$$I_C = (I_C - I_A) = \sqrt{3} \cdot I_{CY}$$

3. Perbandingan transformator dari transformator adalah :

$$k = \sqrt{3} \dots\dots\dots (3.3)$$

Berdasarkan persamaan (3.2) dan gambar 3.1.b terlihat bahwa pada kondisi normal dan saat terjadi gangguan tiga phase (simetris) pada sisi sekunder (K-I), arus line pada sisi delta mendahului (leading) 30° terhadap arus phase. Hubungan ini dapat ditulis dengan persamaan :

$$I_A = k I_{AY} \delta^{j30^\circ} \dots\dots\dots (3.4)$$

Persamaan ini (3.4) juga berlaku bila sisi primer transformator terhubung bintang dan sisi sekunder terhubung delta.

Bila terjadi gangguan dua phasa pada sisi sekunder (K-2) maka yang akan terjadi adalah :

$$I_{AY} = I_a = 0 \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

$$I_{BY} = -I_{CY}$$

Bila kita menggunakan persamaan (3.2) maka arus line pada sisi delta adalah :

$$I_A = -I_{BY}$$

$$I_B = 2I_{BY} \quad \dots\dots\dots (3.6)$$

$$I_C = I_{CY} = -I_{BY}$$

Untuk gangguan tak simetris pada sisi sekunder seperti gangguan dua phasa, analisisnya dapat dilakukan dengan menggunakan komponen simetris, tetapi yang perlu mendapat perhatian adalah vektor group dari transformator, karena hal ini akan menentukan besarnya pergeseran phase antara sisi sekunder dan primer.

Pada gangguan ke tanah disisi sekunder transformator yang terhubung bintang, besar arus gangguan tergantung dari sistem pertanahannya.

Untuk sistem dengan pentanahan langsung, arus gangguan hanya dibatasi oleh impedansi belitan. Semakin dekat posisi gangguan terhadap titik netral, semakin besar pula harga reaktansi bocor pada belitan tersebut tetapi

harga reaktansi pada belitan lain semakin kecil disebabkan oleh perubahan angka transformator. Keadaan inilah yang menjadi alasan mengapa harga arus gangguan akan mencapai minimum pada lokasi gangguan disekitar titik tengah belitan.

Sedang untuk transformator dengan pentanahan melaluitahanan, arus gangguan tergantung dari harga tahanan pentanahan dan juga jarak antara titik gangguan dengan titik netral sistim. Bila besar arus gangguan ketanah pada ujung belitan adalah I_F maka besar arus gangguan pada jarak $x\%$ dari titik netral adalah $(x/100)I_F$.

3.1.2. Komponen Simetri

Komponen simetri ini adalah merupakan media bantu dalam menganalisa gangguan tidak simetri seperti gangguan dua phasa, dua phasa ketanah dan satu phasa ke tanah. Pada kondisi seimbang, tegangan pada phasa a,b,c (V_a, V_b, V_c) akan memiliki besar yang sama, tetapi satu sama lain akan berbeda phasa sebesar 120° . Bila kita gunakan urutan phase a.b.c (positive sequence) maka V_b lagging 120° terhadap V_a dan V_c lagging 120° terhadap V_b . Disini dalam penggambaran phasor kita gunakan V_a sebagai referensi dan kita peroleh :

$$V_a = V_a$$

$$V_b = \alpha^2 V_a \quad \dots\dots\dots (3.7a)$$

$$V_c = \alpha V_a$$

Disini kita kenal apa yang disebut sebagai operator A , yaitu :

$$\alpha = e^{j120^\circ}$$

$$\alpha^2 = e^{-j120^\circ} \quad \dots\dots\dots (3.7b)$$

$$\alpha^3 = 1$$

$$1 + \alpha + \alpha^2 = 0$$

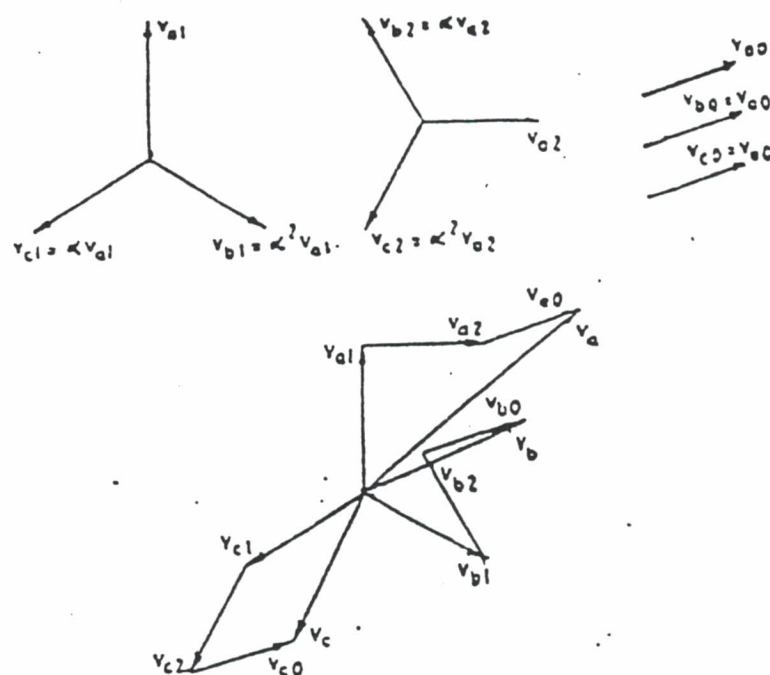
Baik tegangan maupun arus pada masing-masing phase dapat kita bawa ke masing-masing urutan yaitu urutan nol, positif dan negatif (0.1.2). Dari sini dapat dituliskan persamaan :

$$V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2}$$

$$\begin{aligned} V_b &= V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} \\ &= V_{a0} + \alpha^2 V_{a1} + \alpha V_{a2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= V_{c0} + V_{c1} + V_{c2} \\ &= V_{a0} + \alpha V_{a1} + \alpha^2 V_{a2} \end{aligned}$$

Phasor dari ketiga urutan ini yang disebut komponen simetri dan sangat membantu sekali dalam menganalisa kondisi tak simetris. Pada gambar 3.2 diperlihatkan bagaimana suatu tegangan yang tidak simetris tersusun atas tegangan urutannya.



Gambar 3.2

Phasa Dari Tegangan Urutan Positif Negatif Dan Nol

Persamaan 3.8 dalam penulisannya biasanya digunakan bentuk matrik sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} \quad \text{dan} \quad \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = A^{-1} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad \dots (3.9)$$

dimana :

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \end{bmatrix} \quad \text{dan} \quad A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \alpha & \alpha^2 \\ 1 & \alpha^2 & \alpha \end{bmatrix} \quad \dots (3.10)$$

Formula ini juga bermanfaat untuk menghitung arus.

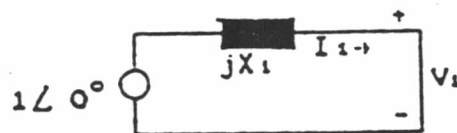
3.1.3. Analisa Gangguan Menggunakan Komponen Simetris

Seperti dijelaskan pada sub-sub terdahulu bahwa untuk analisa gangguan tak simetris dapat dilakukan dengan menggunakan metode komponen simetri. Disamping itu analisa ini juga dapat digunakan untuk gangguan tiga fasa simetri.

1. Gangguan Tiga Fasa Simetri

Pada gangguan jenis ini karena merupakan gangguan simetris maka analisa dapat diwakili oleh komponen urutan positif saja. Karena urutan negatif dan nol tidak memiliki harga maka berlaku :

$$V_2 = V_0 = I_2 = I_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (3.11)$$



Gambar 3.3.

Rangkaian Pengganti Urutan Positif

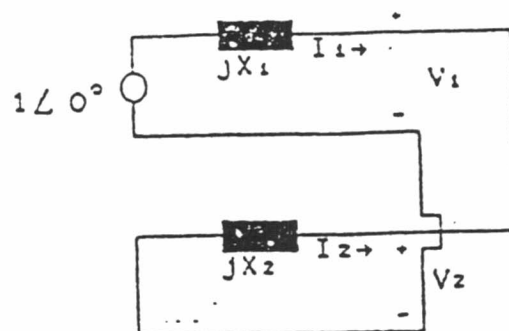
$$I_1 = \frac{1 < 0^\circ}{j X_1} \quad \dots\dots\dots (3.12)$$

$$V_1 = 1 < 0^\circ - I_1 j X_1 \quad \dots\dots\dots (3.13)$$

Sedang tegangan dan arus untuk masing-masing fasa dapat dicari dengan menggunakan operator A seperti diberikan pada persamaan 3.9.

2. Gangguan Dua Fasa

Pada gangguan dua fasa akan muncul urutan positif dan negatif.



Gambar 3.4.
Rangkaian Urutan Gangguan Dua Fasa

Besar arus urutan positif dan negatif adalah :

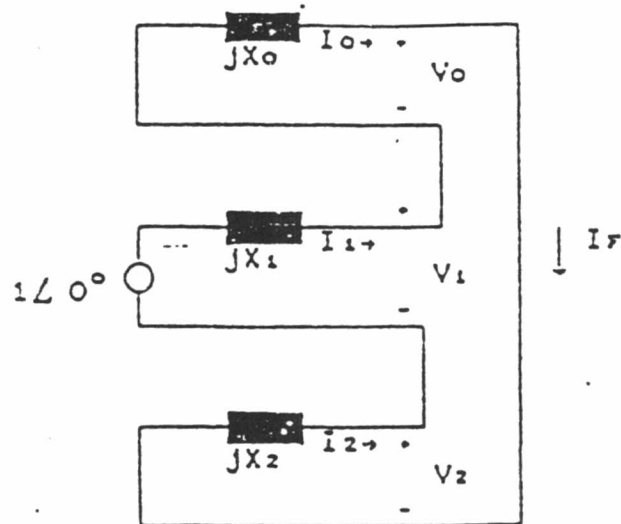
$$I_1 = -I_2 = \frac{1 \angle 0^\circ}{jX_1 + jX_2} \quad \text{dan} \quad I_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

$$V_1 = V_2 = jX_1 I_1 \quad \text{dan} \quad V_0 = 0 \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

Tegangan dan arus fasa dapat diperoleh menggunakan persamaan (3.9). Bila yang mengalami gangguan adalah fasa b dan c maka pada saat gangguan arus pada fasa a sama dengan nol.

3. Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Pada gangguan jenis ini akan muncul komponen urutan positif, negatif dan nol.



Gambar 3.5.
Rangkaian Urutan Gangguan Satu Fasa Ke tanah

Bila diasumsikan yang mengalami gangguan adalah fasa A, maka tegangan pada fasa yang mengalami gangguan dan arus pada fasa yang tidak mengalami gangguan adalah nol :

$$V_a = I_b = I_c = 0 \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

$$I_0 = I_1 = I_2 = I_F = \frac{1 \angle 0^\circ}{jX_0 + jX_1 + jX_2} \quad \dots\dots (3.17)$$

$$\begin{aligned} V_0 &= - I_F (jX_0) \\ V_1 &= 1 \angle 0^\circ - I_F (jX_1) \quad \dots\dots\dots (3.18) \\ V_2 &= - I_F (jX_2) \end{aligned}$$

Untuk mencari tegangan dan arus fasa digunakan persamaan (3.9).

4. Gangguan Dua Phasa ke Tanah

Gangguan jenis ini juga mengakibatkan munculnya urutan positif, negatif dan nol. Rangkaian ekivalen urutan untuk gangguan jenis ini ditunjukkan pada gambar 3.6. Pada kondisi ini diasumsikan yang mengalami gangguan ke tanah adalah phasa b dan c.

$$V_b = V_c = I_a = 0 \quad \dots\dots\dots (3.19)$$

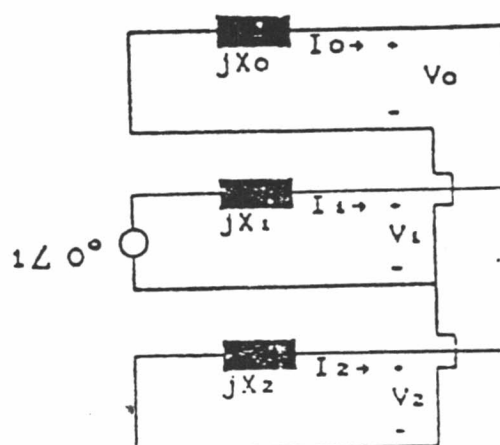
$$I_1 = \frac{1 \angle 0^\circ}{jX_1 + (jX_2/jX_0)}$$

$$I_0 = - \frac{jX_2}{jX_2 + jX_0} I_1 \quad \dots\dots\dots (3.20)$$

$$I_2 = - \frac{jX_0}{jX_2 + jX_0} I_1$$

$$V_0 = V_1 = V_2 = - jI_0 (jX_0) \quad \dots\dots\dots (3.21)$$

Tegangan phasa a dan arus phasa b dan c dapat diberi menggunakan persamaan 3.9.



Gambar 3.6.

Rangkaian Urutan Gangguan Dua Phasa Ke Tanah

Pada kondisi seperti ini, tegangan pada phasa yang terganggu dan arus pada phasa yang tidak digunakan sama dengan nol.

3.2. FUNGSI DAN PERANAN RELAY PROTEKSI SERTA PERSYARATAN-NYA

3.2.1. Fungsi dan Peranan

Nilai investasi peralatan listrik pada suatu pembangkit listrik sedemikian besarnya sehingga perhatian yang khusus harus diutamakan agar setiap peralatan tidak hanya dapat beroperasi dengan efisien yang optimal, tetapi juga harus teramankan dari kecelakaan atau kerusakan yang fatal.

Kerusakan yang fatal dapat menimbulkan :

- Kerugian biaya investasi
- Kerugian operasi (long outages)
- Tergantungnya pelayanan (service)

Untuk itu relay proteksi sangat diperlukan pada peralatan pembangkit. Hampir semua peralatan listrik pembangkit tidak biarkan beroperasi tanpa proteksi. Relay Proteksi adalah suatu perangkat kerja proteksi yang mempunyai fungsi dan peranan :

- a. Memberikan sinyal alarm atau melepas pemutus tenaga (circuit breaker) dengan tujuan mengisolir gangguan atau kondisi yang tidak normal seperti adanya : beban

lebih. tegangan rendah. kenaikan suhu. beban tidak seimbang. daya kembali. frekwensi rendah, hubung singkat dan kondisi tidak normal lainnya.

- b. Melepas/metrip peralatan yang berfungsi tidak normal untuk mencegah timbulnya kerusakan.

Contoh : Proteksi beban lebih (over load) berfungsi mengamankan mesin listrik dan mencegah kerusakan isolasi.

- c. Melepas/mentrip peralatan yang terganggu secara tepat dengan tujuan mengurangi kerusakan yang lebih berat.

Contoh : Bila suatu mesin listrik secara cepat distop/dilepas setelah terjadinya gangguan pada belitan, maka hanya sebagian kumparan saja yang perlu diperbaiki. Tetapi apabila gangguan terjadi secara terus menerus maka kemungkinan seluruh belitan akan rusak dan memerlukan perbaikan total.

- d. Melokalisir kemungkinan dampak akibat gangguan dengan memisahkan peralatan yang terganggu dari sistim. Peralatan yang terganggu dapat menyebabkan gangguan pada peralatan lain yang berada pada sistim.

- e. Melepas peralatn/bagian yang terganggu secara cepat dengan maksud menjaga stabilitas sistim, kontinuitas pelayanan dan unjuk kerja sistim.

Secara umum fungsi dan peranan relay proteksi adalah :

1. Mencegah kerusakan
2. Membatasi kerusakan
3. Mencegah meluasnya gangguan sistim.

3.2.2. Syarat-syarat suatu Relay Proteksi

Dalam memilih relay pengaman ada beberapa pertimbangan yang harus diperhatikan, yaitu :

a. Selektivitas

Sistim pengaman harus memiliki sifat selektif, maksudnya bahwa sistim pengaman dapat membedakan antara kondisi normal dan kondisi gangguan. Sistim pengaman harus dapat selektif terhadap gangguan dan dengan segera mengisolir bagian yang mengalami gangguan dengan bagian yang normal sehingga dapat disimpulkan bahwasannya sistim pengaman hanya akan beroperasi pada kondisi abnormal.

Disamping itu semua, sistim pengaman juga tidak boleh beroperasi karena gangguan diluar wilayah pengamanan (zone protection) seperti ditunjukkan pada gambar 3.7., dimana bila terjadi gangguan pada saluran transmisi, maka relay pengaman hanya akan mengisolasi saluran yang terganggu tanpa mentripkan CB sekitarnya.

b. Kecepatan beroperasi

Didefinisikan sebagai waktu antara pertama kali terjadi gangguan hingga CB trip dan merupakan jumlah dari waktu

operasi relay dengan waktu membuka CB.

c. Sensitifitas

Didefinisikan sebagai kemampuan relay beroperasi karena arus gangguan yang cukup kecil. Sensitifitas ini dapat diketahui dari sensitifitas faktor (K_s) yang merupakan rasio antara arus hubung singkat minimum dengan arus operasi relay.

d. Stabilitas

Semisal terjadi suatu gangguan diluar daerah pengamanan dari transformator maka pengamanan dari transformator tersebut harus tetap stabil dalam arti tidak beroperasi. Untuk mencapai keadaan stabil ini maka rangkaian pengamanan dan jenis gangguan memegang peranan yang penting. oleh karena itu diperlukan modifikasi.

Sebagai contoh lagi, pengamanan differensial dari trafo dimodifikasi dengan memasang filter inrush current dengan maksud supaya saat saklar masuk dan terjadi arus inrush maka pengamanan differensial tersebut tetap stabil.

e. Keandalan (Reliability)

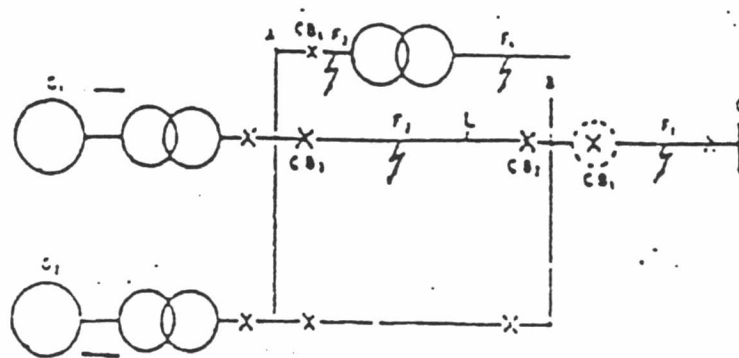
Faktor keandalan ini dapat diartikan menjadi dua hal, yaitu :

- Relai pengamanan tidak akan gagal bila terjadi gangguan didalam daerah pengamanan (zone protection).

- Tidak terjadi gangguan pada komponen dari relay.

f. Faktor Ekonomis

Pemilihan relay juga harus disesuaikan dengan peralatan yang diamankan (ekonomis). Misalnya untuk trafo dengan rating ≤ 5 MVA tidak perlu menggunakan relay differensial.



Gambar 3.7
Penjelasan Selektivitas Dan Sensitivitas⁸⁾

3.3. ELEMEN DASAR

Relay pengaman tersusun atas tiga komponen dasar meliputi :

a. Sensing element

Bagian ini juga sering disebut bagian pengukuran yang mana akan merespon besarnya tertentu, misalnya arus dan atau tegangan. Bagian ini biasanya berupa trafo arus (CT) dan trafo (PT).

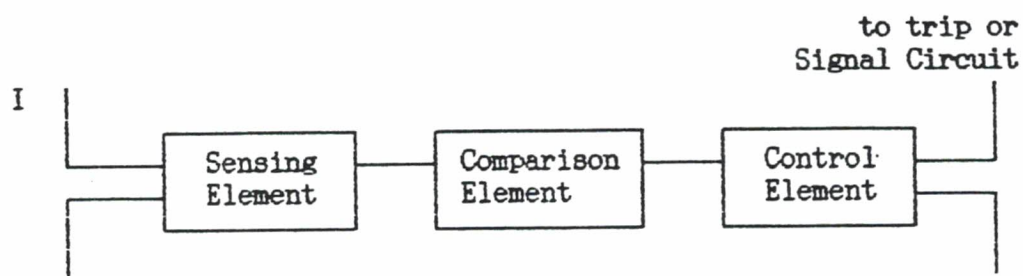
8) Sunil S. Rao, Switchgear and Protection, Khanra
Publisher 1980, hal. 558.

b. Comparing element

Berfungsi untuk membandingkan besarnya yang direspon sensing element dengan set point. Bila terjadi ketidakcocokan, bagian ini akan memberi instruksi pada control element.

c. Control element

Bila mendapat instruksi dari comparing element, maka bagian ini akan memberi perintah kontak relay untuk trip.



Gambar 3.8
Elemen Dasar Relai Pengaman

3.4. PEMILIHAN PENGAMAN PADA TRANSFORMATOR

Gangguan yang biasanya terjadi pada transformator adalah gangguan ke tanah, gangguan antar belitan dan temperatur lebih yang disebabkan beban lebih atau beberapa sebab lain seperti panasnya inti. Dalam pemilihan jenis pengaman untuk transformator dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ukuran transformator, perlu tidaknya alat pengaman tersebut ada tidaknya tap-changer. Berikut ini

ditunjukkan beberapa informasi yang penting dalam hal pemilihan pengaman bagi transformator, yaitu :

- KVA
- Ratio tegangan
- Hubungan belitan (vector group)
- Persen reaktansi
- Jenis pentanahan titik netral
- Dengan atau tanpa konservator
- Pemasangan transformator indoor atau outdoor.

Sedangkan secara umum pengaman untuk transformator dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

1. Pengaman Cadangan (Back Up Protection)
2. Pengaman Utama (Main Protection)

3.5. PENGAMAN CADANGAN

Pada sistim tenaga listrik, kondisi tidak normal dapat dirasakan dengan mengukur tegangan dan arus disamping relay pengaman utama atau yang mendeteksi tegangan dan arus. transformator juga dilengkapi dengan pengaman cadangan dan peralatan monitor.

Untuk mengatasi gangguan yang cukup serius pada transformator sebagai pengaman utama (Main Protection) digunakan relay differensial. Sedangkan untuk mengatasi gangguan awal cukup dipakai pengaman cadangan (Back Up Protection) dalam hal ini dapat dipakai relay bucholz,

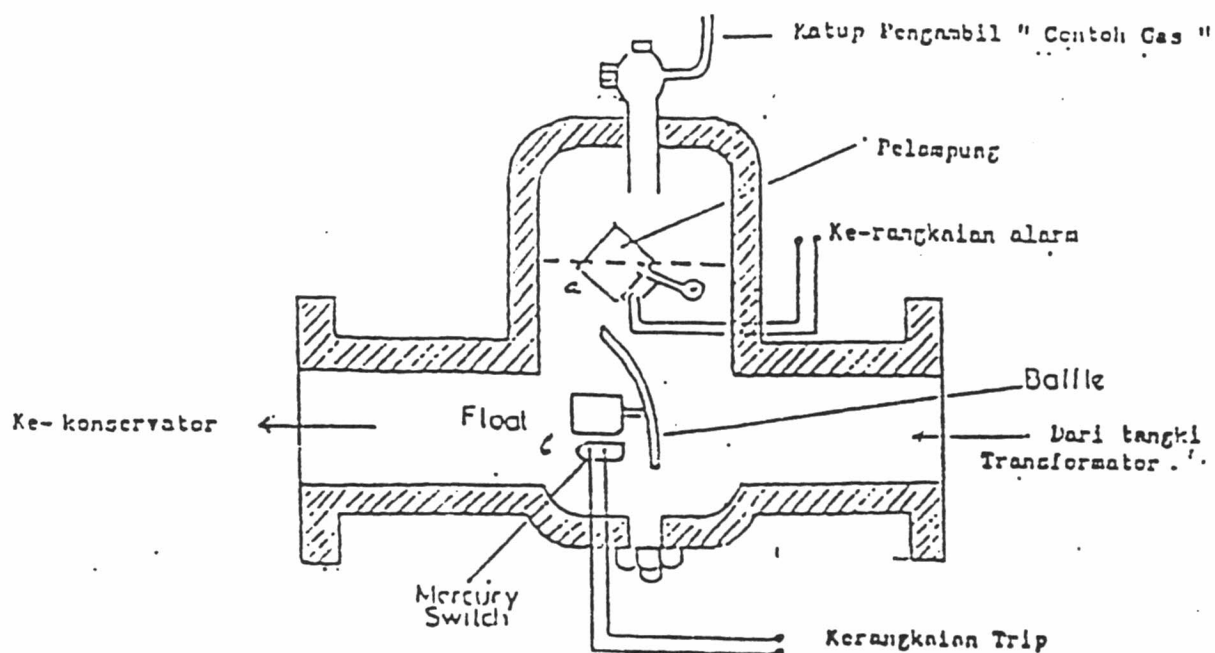
relay thermis, relay tekanan lebih dan sebagainya.

3.5.1. Relay Bucholz

Selama transformator beroperasi normal, relay terisi penuh dengan minyak.

Pelampung akan berada pada posisi awal. Bila terjadi gangguan yang kecil didalam tangki transformator, misalnya hubung singkat dalam kumparan, akan menimbulkan gas. Gas yang terbentuk akan berkumpul dalam relay pada saat perjalanan menuju tangki konservator, sehingga level minyak dalam relay turun dan akan mengerjakan kontak alarm (kontak pelampung atas).

Bila level minyak transformator turun secara perlahan-lahan akibat kebocoran, maka pelampung atas akan memberikan sinyal alarm dan bila penurunan minyak ini terus berlanjut maka pelampung bawah akan memberikan sinyal trip. Bila terjadi busur api yang besar, kerusakan minyak akan terjadi cepat dan timbul surya tekanan pada minyak yang bergerak melalui pipa ke relay bucholz. Pada kecepatan aliran tertentu pelampung bawah akan menutup kontak untuk sinyal trip.

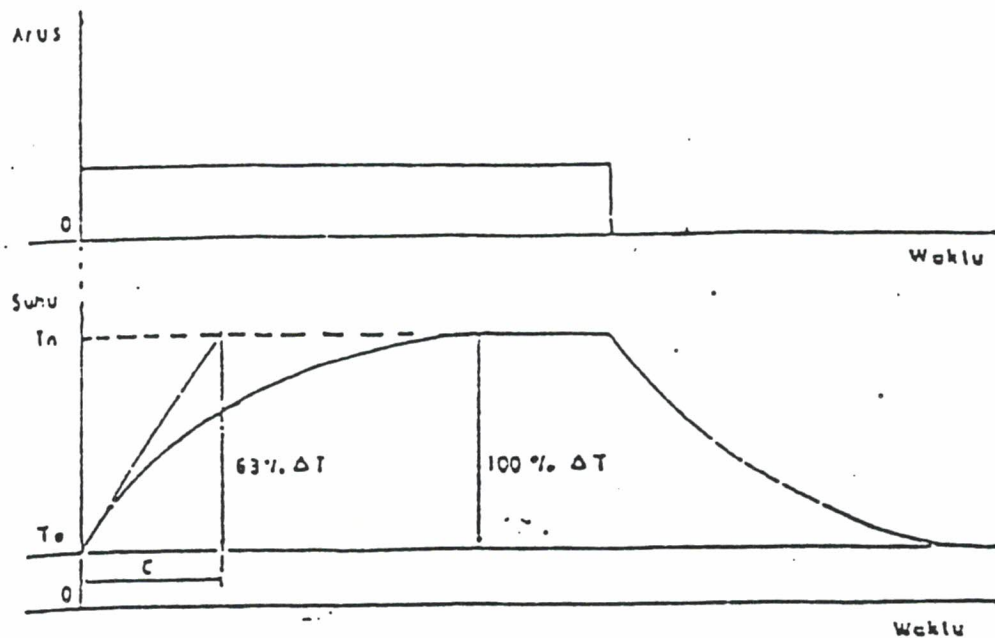


Gambar 3.9.
Bentuk Bucholz Rele⁹⁾

3.5.2. Relay Beban Lebih

Relay ini disebut juga relay termis yang prinsip kerjanya dengan menggunakan elemen bimetal. Relay ini terdiri atas elemen pemanas yang dilalui arus dari transformator arus dan memanaskan bimetal. Suatu transformator bila mendapat sejumlah panas yang disebabkan oleh arus beban, suhunya akan naik secara eksponensial ditunjukkan pada gambar 3.10.

⁹⁾ Team PLN. Relay Proteksi Peralatan Pembangkit, PLN Pusat Pendidikan dan Latihan, hal. 1-17.



Gambar 3.10
Kurva Suhu Transformator¹⁰⁾

T_o = Suhu awal
 T_n = Suhu akhir
 T = Kenaikan suhu = $T_n - T_o$
 i = Konstanta waktu termis

Kecepatan transformator menjadi panas ditentukan oleh kapasitas (MVA) dan sistim pendinginannya, sedangkan suhu akhir ditentukan oleh besarnya arus.

Ukuran untuk menunjukkan kecepatan kenaikan suhu disebut konstanta waktu termis (thermal time constant) yang pengertiannya adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai 63% dari T . Semakin kecil harga konstanta waktu termis suatu transformator, berarti transformator tersebut semakin cepat panas.

¹⁰⁾ Ibid. hal. 3-10.

Arus yang mengalir pada relay beban lebih sebanding dengan arus beban transformator, dimana arus ini akan menaikkan suhu transformator, dan suhu relay secara bersama-sama.

Agar relay dapat menirukan sifat termis transformator, maka konstanta waktu termis relay harus sama dengan atau lebih kecil dari pada konstanta waktu termis transformator ($\text{relay} < \text{transformator}$).

2.5.3. Relay Tekanan Lebih

Untuk mengamankan transformator terhadap tekanan lebih umumnya ada 2 (dua) macam relay tekanan lebih yang mempunyai prinsip kerja yang berbeda :

a. Sudden Pressure Relay

Relay ini mengamankan transformator terhadap kenaikan tekanan lebih yang mendadak.

b. Pressure Relief Devise

Relay ini biasanya diletakkan/dipasang pada bagian pipa yang tertinggi. Bila pada tangki transformator terjadi tekanan yang berlebihan akibat gangguan di dalam transformator, maka tekanan tekanan tersebut akan berusaha keluar melalui tempat-tempat yang tekanannya lebih rendah.

Bila tekanan gas atau minyak di dalam tangki transformator naik melebihi kekuatan dari pelat relay tersebut, maka pelat akan pecah. Dengan pecahnya pelat

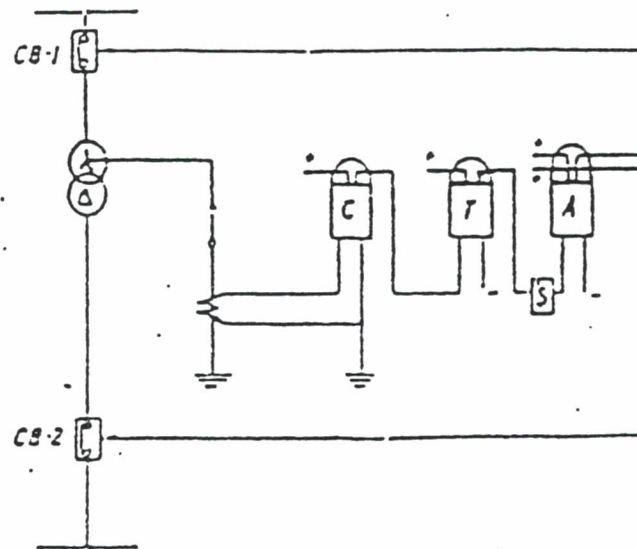
tersebut maka jarum pemecah (breaking needle) akan keluar karena kekuatan pegas dan mengerjakan switch. Kontak-kontak micro switch dapat digunakan untuk memberikan alarm ataupun untuk mentripkan PMT. Bahan pelat yang digunakan dari relay tersebut biasanya terbuat dari kaca, palstik dan tembaga.

3.6. PENGAMAN TERHADAP GANGGUAN KE TANAH

Pada transformator penaik tegangan dengan titik netral pada belitan tegangan tinggi ditanahkan secara langsung, maka bila terjadi gangguan ke tanah akan mengakibatkan terjadi arus gangguan yang cukup besar. Pada kondisi gangguan seperti ini, pengaman arus lebih yang dilengkapi dengan undervoltage blocking pada sisi tegangan rendah yang terhubung delta dianggap kurang memadai. Hal ini disebabkan setelah melalui transformator maka arus gangguan akan didistribusikan pada ketiga phasanya. Resultan arus gangguan dianggap tidak cukup untuk mengoperasikan relay arus lebih. Begitu juga drop tegangan antara phase juga sangat kecil sehingga undervoltage blocking relay juga tidak bekerja.

Untuk mengatasi kondisi yang demikian ini maka digunakanlah pengaman gangguan ke tanah (earth-fault protection) yang dilengkapi dengan zero-sequence over current protection. Pengaman ini terdiri dari pengaman

arus lebih yang dihubungkan pada titik netral transformator melalui CT. Rangkaian pengaman jenis ini dapat dilihat pada gambar 3.11. Setting arus operasi relay dibuat diatas arus ketidak seimbangan pada titik netral.



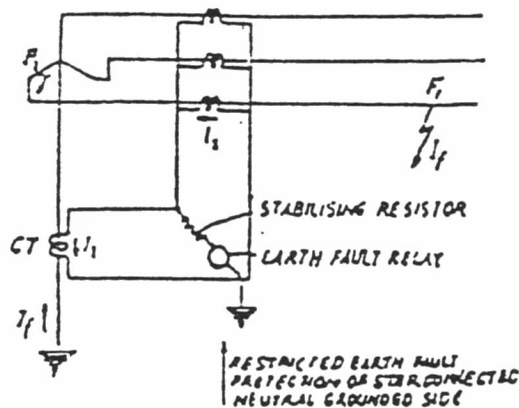
Gambar 3.11
Pengaman Gangguan Satu Fasa Ke Tanah Pada Transformator¹¹⁾

3.6.1. Relay Gangguan Tanah Terbatas (REF)

Relay hanya dipasang pada transformator yang titik netralnya diketanahkan langsung atau melalui tahanan. Fungsi dan relay ini adalah untuk membantu relay differensial dalam mengatasi gangguan ke tanah di dalam kumparan transformator.

11) M. Titarenko. I. Noskov-Dukelsky. Op.cit, hal 310.

Relay diperlukan karena sensitifitas dari relay differensial sangat terbatas, terutama dalam mendeteksi terjadinya hubung singkat didekat titik netral. Prinsip kerja relay gangguan tanah terlihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12
Prinsip Kerja Relai Gangguan Tanah Terbatas¹²⁾

Bila terjadi gangguan tanah diluar daerah pengamanan (F_1), maka menyebabkan arus I_2 dan I_1 mengalir pada sisi sekunder CT seperti ditunjukkan pada gambar 3.12. Maka dari itu relay gangguan terbatas (REF) tidak beroperasi untuk gangguan diluar daerah pengaman dari transformator.

Bila gangguan tersebut didalam daerah pengamanan, misalnya didalam belitan transformator (F_2) maka hanya arus I_2 yang mengalir pada sisi sekunder CT oleh karena itu relay akan beroperasi.

¹²⁾ Sunil S. Rao. Op.cit, hal. 744

Untuk menjaga agar relay tidak beroperasi pada saat kondisi through faults, spurious signal maka biasanya setting relay ini berkisar 15% rating arus belitan transformator. pada kondisi gangguan tanah internal akan timbul tegangan yang tinggi pada terminal relay.

Untuk mengamankan peralatan proteksi dari tegangan tinggi ini digunakan tahanan non linier (varistor). Relay ini memberikan perintah trip tanpa waktu tunda.

3.7. RELAY FLUKSI LEBIH

Pada prinsipnya relay fluksi lebih digunakan sebagai pengaman transformator generator. Relay ini mendeteksi besarnya fluksi atau perbandingan tegangan dan frekwensi. Dengan rumus dasar dapat dinyatakan :

$$V = K \times \phi \times f \quad \dots\dots\dots (3.22)$$

dimana : V = Tegangan saluran ketanah

K = Konstanta

ϕ = Fluksi medan magnit

f = Frekwensi . k = konstanta

maka :

$$V = \phi \cdot f \quad \dots\dots\dots (3.23)$$

sehingga :

$$\phi = V/f \quad \dots\dots\dots (3.24)$$

dimana : V = Tegangan saluran ke tanah

f = Frekwensi

Bila kemampuan inti besi transformator dilampaui maka pada inti tersebut akan terjadi kelebihan panas.

Pada saat ini besi dalam keadaan jenuh, panas lebih yang timbul dapat mengakibatkan keretakan atau menurunnya kemampuan isolasi dari inti.

Oleh karena itu relay fluksi lebih berfungsi untuk melindungi transformator generator dari akibat pemanasan lebih dari keretakan isolasi pada saat terjadi kejenuhan.

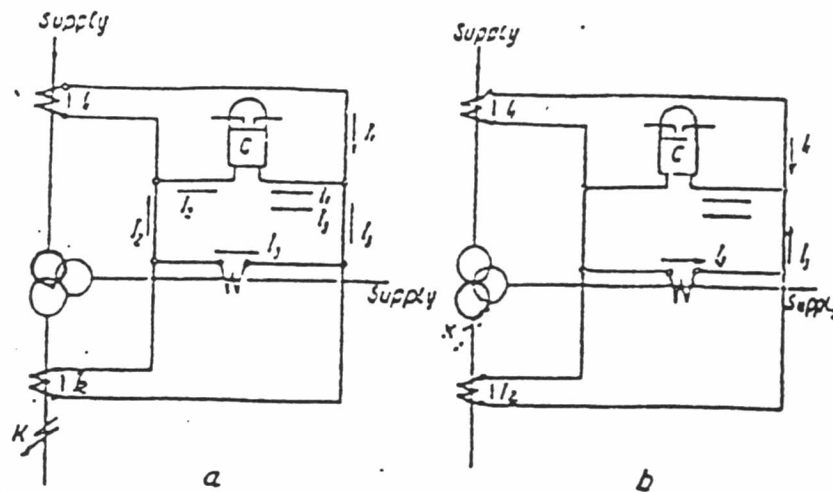
3.8. RELAY DIFFERENSIAL

Pengaman differensial beroperasi berdasarkan prinsip perbedaan antara dua besaran. Dalam sistim pengaman ini dikenal apa yang disebut dengan daerah pengaman (zone of protection). Daerah pengaman ini terletak diantara belitan transformator dan penghantarnya hingga Circuit breaker. Pada gambar memperlihatkan diagram sederhana yang menunjukkan cara beroperasi dari pengaman differensial untuk transformator tiga belitan yang disuplay dari duah buah sumber.

3.8.1. Prinsip Kerja Relay Differensial

Pada saat kondisi normal atau jika terjadi gangguan diluar daerah kerja pada K_1 maka arus melalui relay adalah sebesar :

$$I_r = I_1 + I_2 + I_3 = 0 \quad \dots\dots\dots (3.25)$$



Gambar 3.13
Prinsip Kerja Relay Differensial Pada Transformator
Tiga Belitan¹³⁾

Karena $I_r = 0$ maka CB tidak akan jatuh. karena nilai differensial tidak bekerja.

Sedangkan bila gangguan terjadi dalam daerah kerja pada K_2 maka besar arus yang melalui relay sebesar :

$$I_r = I_1 + I_3 \quad \dots\dots\dots (3.26)$$

Maka relay differensial bekerja dan CB akan jatuh. Adapun untuk memperoleh harga arus yang sesuai baik besar maupun phasanya. diantara ketiga sisi transformator agar didapatkan $I_r = 0$. maka yang harus diperhatikan adalah harga ratio transformator arus harus sama.

¹³⁾ M. Titarenko. I. Noskov-Dukelsky, Op.cit, hal 288.

Pada umumnya arus primer, sekunder maupun tertier dari transformator mempunyai arus dan tegangan yang tidak sama. begitu juga hubungan transformator belitan primer, sekunder dan tertiernya. Untuk membuat agar arus yang mengalir ke relay sama atau setidaknya tidak mendekati nol. Selama kondisi normal atau saat gangguan external maka harus dilakukan sesuatu agar arus keluaran CT baik dari sisi primer ataupun sekunder transformator sama dalam besar maupun sudut phasanya. Hal ini dapat dilakukan dengan cara memilih rasio CT yang tepat, menentukan hubungan CT yang disesuaikan dengan vektor group dari transformator utama dan juga dengan menggunakan CT pembantu (auxilliary current transformer/matching transformer).