

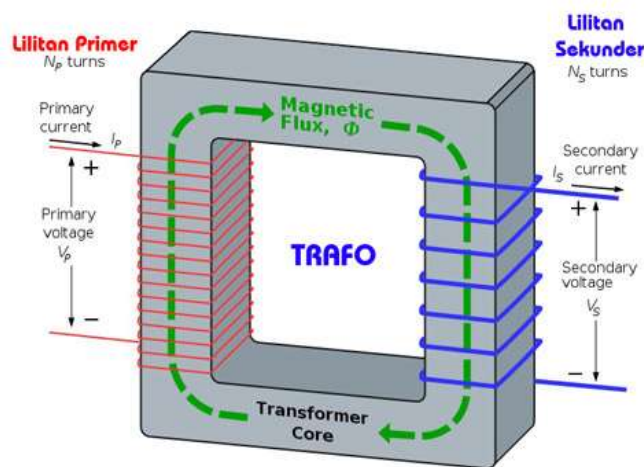
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator¹²

2.1.1. Pengertian Transformator

Trafo merupakan peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (IEC60076 -1 tahun 2011). Trafo menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum hukum ampere dan induksi faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet / fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi.



Gambar 2.1 Pengertian Transformator

Arus AC yang mengalir pada belitan primer membangkitkan flux magnet yang mengalir melalui inti besi yang terdapat diantara dua belitan, flux magnet tersebut menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat bedapotensial / tegangan induksi.

¹²Tim Review KEPDIR, 2014, Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga Hal, 1

2.1.2. Jenis Transformator

Berdasarkan Fungsinya trafo tenaga dapat dibedakan menjadi:

1. Transformator pembangkit.
2. Transformator gardu induk atau penyaluran.
3. Transformator distribusi.

2.1.3. Bagian-Bagian Transformator

Transformator Memiliki beberapa bagian yang mempunyai fungsi masing-masing

1. Inti Besi

Inti besi (electromagnetic circuit) memiliki fungsi untuk memudahkan jalannya flux yang muncul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang melingkari inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan lainnya. Dibentuk dari lempengan-lempengan besi tipis berisolasi yang disusun sedemikian rupa untuk mengurangi eddy current yang berupa arus sirkurasi pada inti besi hasil induksi medan magnet, dimana arus akan mengakibatkan rugi-rugi (losses).



Gambar 2.2 Inti Besi

2. Kumparan Transformator

Kumparan transformator merupakan sejenis kawat yang dililitkan pada inti besi sehingga membentuk suatu kumparan. Kumparan terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder yang diisolasi baik mengenai inti besi maupun antar kumparan dengan isolasi padat seperti karton, perti nak dan lain-lain. Kumparan tersebut digunakan sebagai alat tegangan dan arus.



Gambar 2.3 Kumparan Transformator

3. Minyak transformator

Minyak transformator merupakan salah satu bahan isolasi cair yang dipergunakan sebagai isolasi dan pendingin pada transformator.



Gambar 2.4 Minyak Transformator

4. Bushing

Bushing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Bushing sekaligus berfungsi sebagai penyekat antara konduktor tersebut dengan tangki transformator.



Gambar 2.5 Bushing

5. Tangki Konservator

Tangki transformator berfungsi untuk menampung minyak cadangan dan uap/udara akibat pemanasan trafo karena arus beban. Diantara tangki dan trafo dipasangkan relay bucholz yang akan meyerap gas produksi akibat kerusakan minyak. Tangki transformator juga akan melindungi semua komponen di dalamnya, termasuk inti dan belitan dari efek atmosfer.



Gambar 2.6 Tangki Konservator

6. Pendingin

Suhu pada transformator yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas jaringan, rugi-rugi pada transformator itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada transformator. Oleh karena itu pendingin efektif sangat diperlukan. Minyak isolasi transformator selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasi dan akan didinginkan pada sirip sirip radiator. Adapun proses pendingin ini dapat dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi meningkatkan efisiensi pendingin.

Adapun macam macam sisten pendingin dapat dilihat pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Macam-macam Pendingin Pada Trafo

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

7. Tap Charger (On Load Tap Changer)

Kualitas operasi tenaga listrik jika tegangannya nominal sesuai ketentuan, tapi pada saat operasi terjadi penurunan tegangan sehingga kualitasnya menurun untuk itu perlu alat pengatur tegangan agar tegangan selau pada kondisi terbaik, konstan dan kontinyu. Untuk itu trafo dirancang sedemikian rupa sehingga perubahan tegangan pada salah satu sisi input berubah tetapi sisi outputnya tetap.

8. Alat pernapasan (*Dehydrating Breather*)

Sebagai tempat penampungan pemuaiian minyak isolasi akibat panas yang timbul maka minyak ditampung pada tangki yang sering disebut sebagai konservator.



Gambar 2.7 Dehydrating Breather



2.1.4. Prinsip Kerja Transformator⁷

Apabila kumparan primer dihubungkan tegangan (sumber), maka akan mengalir arus bolak balik pada kumparan tersebut. Oleh karena itu kumparan mempunyai inti, arus menimbulkan fluks magnet yang juga berubah-ubah, pada kumparan primer akan timbul GGL induksi.

Besarnya GGL induksi pada kumparan primer adalah:

$$E_p = - N_p \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

E = gaya gerak listrik (Volt).

N_p = jumlah lilitan primer

dt = perubahan waktu dalam satuan detik

d ϕ = perubahan garis- garis gaya magnet dalam satuan weber.

Fluks magnet yang menginduksikan GGL induksi juga alami oleh kumparan sekunder karena merupakan fluks bersama (mutual fluks). Dengan demikian fluks tersebut menginduksikan GGL induksi pada kumparan sekunder. Besarnya GGL induksi pada kumparan sekunder adalah:

$$E_s = N_s \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana : N_s = Jumlah lilitan sekunder.

Dari persamaan (1) dan (2) didapatkan perbandingan lilitan berdasarkan perbandingan GGL induksi yaitu :

$$a = \frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

a = nilai perbandingan lilitan transformator

Apabila, a > 1, maka transformator berfungsi untuk menaikkan tegangan (step – up transformator)

a < 1, maka transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan (step – down transformator)

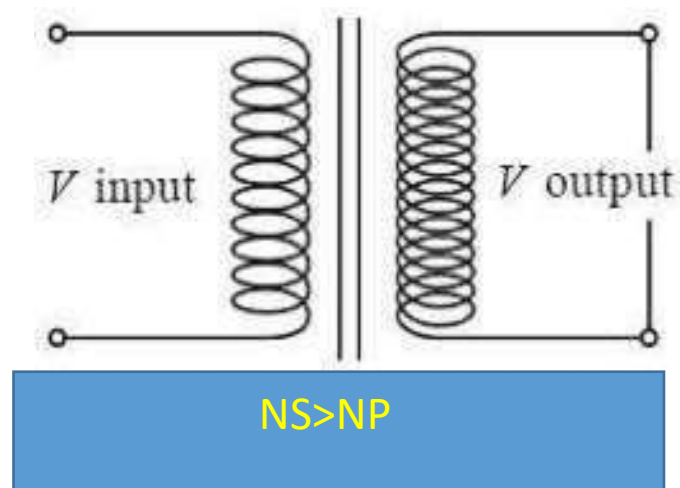
⁷Lilikwatil, Yakob. Mesin-mesin listrik untuk program D3, Deepublish Yogyakarta, Maret 2014
Hlm 198-199

2.1.5. Jenis- Jenis Transformator

2.1.5.1. Jenis- Jenis Transformator Berdasarkan Level Tegangan

A. Transformator Step-Up

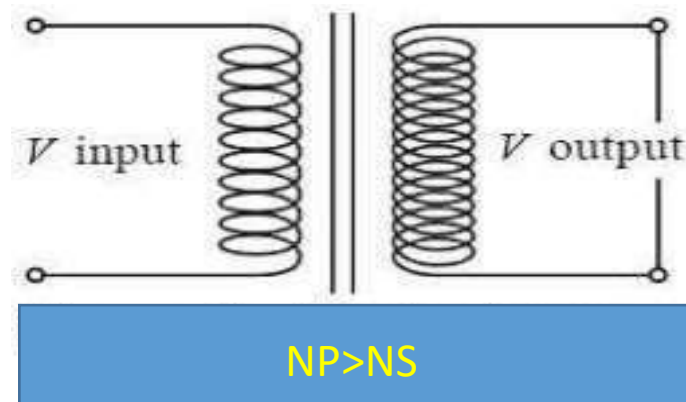
Transformator Step-Up adalah trafo penaik tegangan dari tegangan AC Yang rendah menjadi tegangan yang tinggi. Tegangan di sisi Sekunder sebagai tegangan keluaran Output yang lebih tinggi dapat ditingkatkan dengan memperbanyak jumlah lilitan, pada kumparan sekundernya jumlah lilitannya lebih banyak daripada jumlah lilitan pada kumparan primernya. Pada pembangkit listrik, Trafo jenis ini digunakan sebagai penghubung trafo generator ke jaringan (grid).



Gambar 2. 8 Skema Transformator step up

B. Traformator step down

Transformator Step Down adalah trafo penurun tegangan dari tegangan yang tinggi menjadi tegangan lebih rendah. Pada Traformator Step Down ini, Rasio jumlah lilitan pada kumparan primer lebih banyak jika dibandingkan dengan jumlah lilitan pada kumparan sekundernya atau kebalikannya trafo step- up. Di jaringan Distribusi, transformator atau trafo step down ini digunakan untuk mengubah dan menurunkan tegangan grid yang tinggi menjadi tegangan rendah yang bisa digunakan untuk peralatan rumah tangga.



Gambar 2.9 Skema Transformator Step Down

2.2 Gangguan Pada Transformator⁴

Gangguan-Gangguan Pada Transformator Tenaga Dalam operasi suatu transformator dapat mengalami gangguan-gangguan yang dikelompokkan pada 2 (dua) bagian, yaitu:

- a. Gangguan internal
- b. Gangguan eksternal

2.2.1 Gangguan internal

Gangguan internal adalah gangguan yang terjadi di daerah proteksi trafo, baik di dalam trafo maupun di luar trafo sebatas lokasi CT.

Penyebab gangguan internal biasanya akibat:

1. Kegagalan isolasi pada belitan, lempengan inti atau baut pengikat inti penurunan nilai isolasi minyak yang dapat disebabkan oleh kualitas minyak buruk, tercemar uap air dan adanya dekomposisi karna overheatin, oksidasi akibat sambungan listrik yang buruk.

2. Kebocoran minyak

Ketidaktahanan terhadap arus gangguan (electrical dan mechanical stresses).

⁴ PT. PLN (PERSERO) PUSDIKLA Dasar- Dasar Sistem Proteksi Tegangan Tinggi (Jakarta:2009 PT. PLN (Persero), Hal 1-3



3. Gangguan pada tap charger
4. Gangguan pada sistem pendingin
5. Gangguan pada bushing.

Gangguan internal adalah gangguan yang terjadi di dalam transformator tenaga itu sendiri. Gangguan-gangguan yang digolongkan sebagai gangguan internal adalah sebagai berikut:

1. Incipient Faults

Adalah gangguan kecil yang apabila tidak segera terdeteksi akan membesar dan akan menyebabkan yang lebih serius seperti:

- a. Terjadi busur api yang kecil dan pemanasan lokal yang disebabkan oleh:
 1. Cara penyambungan konduktor yang tidak baik
 2. Partial discharge
 3. Kerusakan isolasi pada baut – baut penjepit inti
- b. Gangguan pada sistem pendingin

Semua gangguan tersebut diatas akan menyebabkan terjadinya pemanasan lokal tetapi tidak mempengaruhi suhu transformator secara keseluruhan. Gangguan ini tidak dapat terdeteksi dari terminal transformator karena keseimbangan arus tegangan tidak berbeda dengan kondisi normal.

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 antaralain, hubung singkat antar belitan, yaitu:

- a. Hubung singkat antara kumparan dengan tanah
- b. Hubung singkat dua fasa
- c. Kerusakan pada isolator transformator



2.2.2 Gangguan eksternal

Gangguan eksternal yaitu gangguan yang terjadi diluar transformator tenaga (pada sistem tenaga listrik) tetapi dapat menimbulkan gangguan pada transformator yang bersangkutan. Gangguan-gangguan yang dapat digolongkan dalam gangguan eksternal ini adalah sebagai berikut:

1. Gangguan hubung singkat

Gangguan hubung singkat diluar transformator ini biasanya dapat segera dideteksi karena timbulnya arus yang sangat besar, dapat mencapai beberapa kali arus nominalnya, seperti:

- a. Hubung singkat di rel
- b. Hubung singkat pada penyulang(*feeder*)
- c. Hubung singkat pada incoming feeder transformator tersebut.

2. Beban lebih (*Overload*)

Transformator tenaga dapat beroperasi secara terus menerus pada arus beban nominalnya. Apabila beban yang dilayani lebih besar dari 100%, maka akan terjadi pembebanan lebih. Hal ini dapat menimbulkan pemanasan yang berlebih. Kondisi ini mungkin tidak akan menimbulkan kerusakan, tetapi apabila berlangsung secara terus menerus akan memperpendek umur isolasi.

3. Gelombang Surya

Gelombang surya dapat terjadi karena cuaca, yaitu petir yang menyambar jaringan transmisi dan kemudian akan merambat ke gardu terdekat dimana transformator tenaga terpasang. Walaupun hanya terjadi dalam kurun waktu sangat singkat (beberapa puluh mikrodetik), akan tetapi karena tegangan puncak yang dimiliki cukup tinggi dan energi yang dikandungnya besar, maka ini dapat menyebabkan kerusakan pada transformator tenaga. Bentuk gelombang dari petir yang dicatat dengan sebuah asilograf sinar katoda (berupategangan sebagai fungsi waktu). Disamping dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan, gangguan tersebut dapat juga membahayakan manusia atau operator yang ada disekitarnya.



Akibat-akibat yang terjadi pada manusia atau operator adalah seperti terkejut, pingsan bahkan sampai meninggal.

Keadaan yang membahayakan tersebut dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu:

- a. Seseorang yang berada di suatu tempat dimana badan atau anggota tubuhnya menghubungkan dua tempat yang mempunyai perbedaan tegangan yang tinggi.
- b. Besar dan lamanya arus mengalir ke tubuh.

2.2.3 Faktor penyebab terjadi gangguan

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang melibatkan banyak komponen dan sangat kompleks. Oleh karena itu, ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, antara lain sebagai berikut.

a. Faktor Manusia

Faktor ini terutama menyangkut kesalahan atau kelalaian dalam memberikan perlakuan pada sistem. Misalnya salah menyambung rangkaian, keliru dalam mengkalibrasi suatu piranti pengaman, dan sebagainya.

b. Faktor Internal

Faktor ini menyangkut gangguan-gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri. Misalnya usia pakai (ketuaan), keausan, dan sebagainya. Hal ini biasmengurangi sensitivitas relai pengaman, juga mengurangi daya isolasi peralatan listrik lainnya

c. Faktor Eksternal

Faktor ini meliputi gangguan-gangguan yang bersal dari lingkungan di sekitar sistem. Misalnya cuaca, gempa bumi, banjir, dan sambaranpetir. Di samping itu ada kemungkinan gangguan dari binatang, misalnya gigitan tikus, burung, kelelawar, ular, dan sebagainya.



2.3. Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya. Juga pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal.

Pemutus Tenaga (PMT) merupakan suatu alat listrik yang berfungsi untuk melindungi sistem tenaga listrik apabila terjadi kesalahan atau gangguan pada sistem tersebut, terjadinya kesalahan pada sistem akan menimbulkan berbagai efek seperti efek termis, efek magnetis dan dinamis stability.

Fungsi utamanya adalah sebagai alat pembuka atau penutup suatu rangkaian listrik dalam kondisi berbeban, serta mampu membuka atau menutup saat terjadi arus gangguan (hubung singkat) pada jaringan atau peralatann lain.

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh suatu Pemutus tenaga dalam sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut:

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 sangat cepat agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, tidak membuat sistem kehilangan kestabilan, dan tidak merusak pemutus tenaga itu sendiri.

Ruangan pemutus tenaga ini berfungsi sebagai ruangan pemadam busur api, yang terdiri dari:

- a. Unit pemutus utama

Unit pemutus utama ini berupa ruangan yang diselubungi bagian luar oleh isolator dari porselen dan disebelah dalamnya terdapat ruangan udara, kontak-kontak bergerak yang dilengkapi oleh pegas penekan dan kontak tetap sebagai



penghubung yang terletak melekat pada isolator porselen. Ruangan pemutus tenaga ini berfungsi sebagai ruangan pemadam busur api, yang terdiri dari:

b. Unit pemutus utama

Unit pemutus utama ini berupa ruangan yang diselubungi bagian luar oleh isolator dari porselen dan disebelah dalamnya terdapat ruangan udara, kontak-kontak bergerak yang dilengkapi oleh pegas penekan dan kontak tetap sebagai penghubung yang terletak melekat pada isolator porselen.

c. Unit pemutus pembantu

yang berfungsi sebagai pemutus arus yang melalui tahanan. Unit pemutus pembantu ini berupa ruangan yang diselubungi bagian luar oleh isolator dari porselen dan disebelah dalamnya terdapat ruangan udara, kontak-kontak bergerak yang dilengkapi oleh pegas penekan dan kontak tetap sebagai penghubung yang terletak melekat pada porselen.

d. Katup kelambatan

Berfungsi sebagai pengatur udara bertekanan dari pemutus utama ke unit pemutus pembantu, sehingga kontak pada unit pemutus pembantu akan terbuka kurang dari 25 ms (micro detik) setelah kontak-kontak pada pemutus utamaterbuka. Katup kelambatan ini berupa bejana berbentuk silinder yang berongga sebagai ruang udara dan juga terdapat ruang pengatur, katup penahan, katup pengatur, rumah perapat, dan tempat katup.

e. Tahanan.

Tahanan ini dipasang paralel dengan unit pemutus utama, yang berfungsi untuk:

- a. mengurangi kenaikan harga dari tegangan pukul
- b. mengurangi arus pukulan pada waktu pemutusan

2.3.1. Klasifikasi PMT (Pemutus Tenaga)

1. Berdasarkan Besar/Kelas Tegangan (V_m)

PMT dapat dibedakan menjadi:



- PMT tegangan rendah (Low Voltage) Dengan range tegangan 0.1 s/d 1 kV(SPLN 1.1995 - 3.3)
- PMT tegangan menengah (Medium Voltage) Dengan range tegangan 1 s/d35 kV (SPLN 1.1995 – 3.4)
- PMT tegangan tinggi (High Voltage) Dengan range tegangan 35 s/d 245 kV(SPLN 1.1995 – 3.5)
- PMT tegangan extra tinggi (Extra High Voltage) Dengan range tegangan lebih besar dari 245 kVAC (SPLN 1.1995 – 3.6)

2. Berdasarkan Jumlah Mekanik Penggerak / Tripping Coil

PMT dapat dibedakan menjadi:

1. PMT Single Pole

PMT type ini mempunyai mekanik penggerak pada masing-masing pole, umumnya PMT jenis ini dipasang pada bay penghantar agar PMT bisa reclose satu fasa.

2. PMT Three Pole

PMT jenis ini mempunyai satu mekanik penggerak untuk tiga fasa, guna menghubungkan fasa satu dengan fasa lainnya di lengkapi dengan kopel mekanik, umumnya PMT jenis ini di pasang pada bay trafo dan bay kopel serta PMT 20 kV untuk distribusi.

3. Berdasarkan Media Isolasi

Jenis PMT dapat dibedakan menjadi:

- PMT Gas SF₆
- PMT Minyak
- PMT Udara Hembus (Air Blast)
- PMT Hampa Udara (Vacuum)

4. Berdasarkan Proses Pemadaman Busur Api Listrik Diruang Pemutus

PMT SF₆ dapat dibagi dalam 2 (dua) jenis, yaitu:

- PMT Jenis Tekanan Tunggal (single pressure type)
- PMT Jenis Tekanan Ganda (double pressure type)

2.4. Proteksi Transformator¹

Proteksi transformator umumnya menggunakan Relay Differensial dan relay Restricted Earth Fault (REF) sebagai proteksi utama. Sedangkan proteksi cadangan menggunakan relay arus lebih (OCR) Relay gangguan ke tanah Ground Fault Relay (GFR). Sedangkan Standby Earth Fault (SEF) umumnya hanya dipergunakan pada transformator dengan belitan Y yang ditanahkan dengan resistor, dan fungsinya lebih mengamankan NGR. Umumnya skema proteksi di sesuaikan dengan kebutuhan. Relay pengaman transformator daya harus dapat mendeteksi adanya sumber gangguan yang berada di dalam maupun diluar transformator yang berrada di daerah pengamannya. Di samping itu adanya gangguan di luar daerah pengamannya bila relay yang terkait tidak bekerja salah satu relay pada transformator harus bekerja.

2.4.1. Proteksi Mekanik & Deteksi Panas (*Thermal Detection*)

1. Relai Bucholz

Bekerja dengan cara mendeteksi akumulasi gas atau aliran minyak dari tangki utama menuju konservator. Relai ini berfungsi untuk mendeteksi gangguan:

Hubung singkat antar belitan dalam satu fasa

- Hubung singkat antar fasa
- Busur api listrik antar laminasi
- Busur api listrik karena kontak yang kurang baik
- Kejutan aliran minyak dan/ atau gas yang disebabkan gangguan dalam transformator



Gambar 2. 10 Relay Bucholz

¹Arfianda, Muammad 2019. Analisa Penggunaan Rele Differensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Gardu Induk Paya Pasir, Jurnal Mahasiswa UMSU (Hal 31-33)

2. Relai Jansen

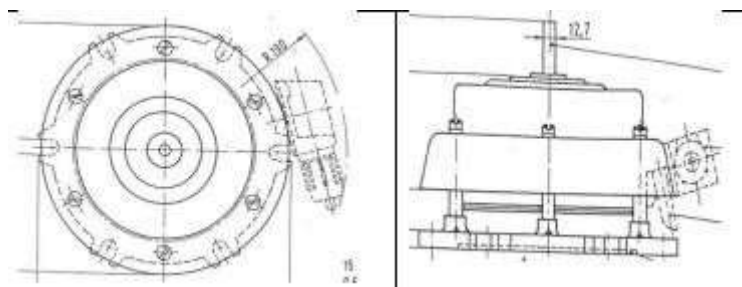
Prinsip kerja relai ini sama dengan relai Buchholz, tapi hanya mempunyai satu pelampung yang bereaksi terhadap aliran minyak dan pada tekanan tertentu akan mengerjakan kontak trip. Relai ini dipasang di antara tangki OLTC dan konservator OLTC



Gambar 2. 11 Relay Jansen

3. Relay tekanan lebih (sudden pressure)

Relay ini berfungsi untuk mendeteksi kenaikan tekanan minyak yang mendadak/ spontan di dalam tangkai utama transformator dan langsung mengerjakan kontak trip.



Gambar 2. 12 Relay tekanan lebih (*sudden pressure*)

4. Relay suhu minyak

Berfungsi untuk mengamankan/ mencegah transformator dari kerusakan isolasi belitan akibat adanya panas yang berlebih. Dalam penerapannya terdapat seting alarm dan seting trip.

5. Relay suhu belitan (sisi primer dan sekunder)

Berfungsi untuk mengamankan/ mencegah transformator dari kerusakan

isolasi belitan akibat adanya panas berlebih pada belitan. Prinsip kerja mendeteksi suhu belitan secara tidak langsung dan juga memperhatikan kondisi pembebanan transformator. Untuk pembebanan transformator dikompensasi dengan menggunakan CT yang dipasang di transformator. Seting relai suhu belitan ini terdiri dari seting alarm dan seting trip.



Gambar 2. 13 Relay Suhu

2.4.2. Proteksi elektrik

Adalah relai yang mengambil parameter pengukuran dari besaran analog listrik yaitu tegangan dan arus.

1. Relay diferensial

Relay diferensial adalah relai yang bekerja apabila mendeteksi adanya perbedaan fasor dan atau perbedaan nilai sesaat arus masuk dan arus keluar. Dalam hal ini perbandingan arus belitan primer, sekunder dan atau tersier (jika tersier dibebani)



Gambar 2.14 Relay Differensial

2. Relai gangguan ke tanah terbatas

Berfungsi untuk mengamankan transformator dari gangguan fasa ke tanah di dekat titik netral transformator. Relai ini dipasang di transformator dengan desain vector group YNyn yang ditanahkan. Daerah pengamanan REF ini adalah daerah



yang tidak terdeteksi oleh relai diferensial. Sehingga sensitifitas dari relai ini menjadi titik utama dari penyetingannya. Dan besar arus gangguan fasa ke tanah tergantung dari besar nilai tahanan yang dipasang pada pentanahan titik netral

2.4.3. Dasar-Dasar Sistem Proteksi⁵

Sistem proteksi pada sistem tenaga listrik adalah sistem pengamanan pada peralatan-peralatan listrik yang, pada sistem tenaga listrik, seperti generator, transformator jaringan transmisi/distribusi dan lain lain sistem ini akan mengamankan peralatan-peralatan terhadap kondisi operasi abnormal.

Suatu sistem proteksi harus memiliki kriteria operasi yang handal, selektif dan sederhana agar dapat mencegah gangguan dengan cepat, tepat dan benar. Circuit breaker (CB), peralatan ukur yang terdiri dari transformator arus (CT) dan atau transformator tegangan (PT) dan relay untuk memonitor besaran gangguan.

1. Pemutus Tenaga atau Circuit Breaker (CB)

Komponen yang berfungsi untuk memutuskan atau menghubungkan rangkaiansistem tenaga listrik sesuai dengan kapasitas pemutusannya. Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh pemutus tenaga dalam sistem tenaga listrik yaitu:

- a. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem tenaga listrik secara kontinyu.
- b. Mampu memutuskan dan menghubungkan jaringan dalam keadaan berbeban maupun dalam keadaan gangguan hubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
- c. Dapat memutuskan harus hubung singkat dengan sangat cepat agar harus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem, membuat sistem kehilangan kestabilan dan merusak pemutus tenaga itu sendiri.

2. Transformator Ukur

⁵ Hazairin. 2004. Dasar-dasar sistem proteksi tenaga listrik. UNSRI. (Hal 2-5)



Transformator ukur merupakan suatu peralatan yang dapat merubah suatu besaran listrik kebesaran yang sama dengan harga yang berbeda. Memiliki bilitan primer yang dihubungkan ke jaringan sistem tenaga listrik dan belitan sekunder yang dihubungkan ke peralatan ukur dan peralatan pengamanan. Oleh karena pada sistem tenaga listrik memiliki besaran nilai yang cukup besar maka transformator ukur berfungsi menurunkan nilai besaran.

a. Transformator Arus (Current Transformer/CT)

Transformator arus memiliki fungsi mengknversikan arus pada sistem tenaga listrik dari arus besaran primer menjadi besaran sekunder yang dihubungkan ke peraalatan ukur atau relay pengaman. Standarisai besaran arus sekunder dengan nominal 1A dan 5A.

b. Transformator tegangan (Potensial Tranfomer/PT)

Transformator tegangan berfungsi mentransformasikan besaran tegangan yang tinggi atau tegangan primer menjadi tegangan yang rendah atau tegangan sekunder yang dihubungkan ke peralatan ukur atau relay pengaman. Penerapan tegangan ssekunder pada trafo tegangan dengan nilai nominal $100/\sqrt{3} V$ dan $110\sqrt{3} V$.

3. Relay Proteksi

Relay Proteksi adalah peralatan pengaman yang dapat merasakan, medeteksi atau melihat adanya gangguan, yang kemudian secara otomatis memberikan respon berupa sinyal untuk menggerakkan sistem mekanis pemutus tenaga agar dapat memisahkan bagian yang terganggu.

Relay proteksi mempunyai peranan sebagai berikut:

- a. Memberi tanda atau melepas pemutus tenaga (circuit breaker dengan tujuan mengisolir gangguan atau kondisi yang tidak normal .
- b. Melepas atau mentrip peralatan yang berfungsi tidak normal secara cepat untuk mencegah timbulnya kerusakan atau mengurangi kerusakan yang lebih berat.



- c. Melokalisir kemungkinan dampak akibat gangguan dengan memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem.
- d. Melepas peralatan atau bagian yang terganggu secara cepat dengan maksud menjaga stabilitas sistem, kontinuitas pelayanan dan untuk kerja sistem.

Tujuan relay proteksi

- 1) Mencegah kerusakan peralatan- peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
- 2) Mengurangi kerusakan peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan.
- 3) Mempersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas.
- 4) Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan kehandalan dan mutu tinggi pada konsumen
- 5) Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.

Fungsi relay proteksi sebagai berikut:

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia.

Hal yang menimbulkan kegagalan pengamanan dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a) Kegagalan pada relay sendiri.
- b) Kegagalan suplai arus atau tegangan ke relay tegangannya rangkaian suplai ke relay dari trafo tersebut terbuka atau terhubung singkat.
- c) Kegagalan sistem suplai arus searah untuk tripping pemutus tenaga. Hal ini dapat disebabkan baterai lemah karena kurang perawatan, terbukanya atau terhubung singkat rangkaian arus searah.



d) Kegagalan pada pemutus tenaga. Kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan trip tidak menerima suplai, kerusakan mekanis ataupun kegagalan pemutus arus karena besarnya arus hubung singkat melampaui kemampuan dari pemutus tenaganya.

Karena adanya kemungkinan kegagalan pada sistem pengaman maka harus dapat diatasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan (Back upprection).

Dengan demikian pengamanan menurut fungsinya dapat di kelompok menjadi:

- 1) Pengamanan utama yang pada umumnya selektif dan cepat, dan malah jenis tertentu mempunyai sifat selektif mutlak misalnya relay differensial.
- 2) Pengaman cadangan, Umumnya mempunyai perlambatan waktu hal ini untuk memberikat kesempatan kepada pengaman utama bekerja lebih dahulu, dan jika pengaman utama gagal, baru pengaman cadangan bekerjadan relay ini tidak seselektif pengaman utama.

2.4.4. Persyaratan Sistem Proteksi⁶

Pesyaratan sistem proteksi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

a. Sensitif

Sistem proteksi harus mampu mendeteksi sekecil apapunktidaknormalan sistem dan beroperasi dibawah nilai minium gangguan. Studi koordinasi sistem proteksi harus dilakukan untuk menentukan sensitivitas setting dan memastikan relay bekerja dengan benar.

b. Selektif

Sistem proteksi harus mampu menentukan daerah kerjanya dan atau fasa yang terganggu secara cepat. Peralatan dan sistem proteksi hanya memisahkan bagian yang sedang terganggu. Zona proteksi harus tepat dan memadai untuk memastikan bahwa hanya bagian yang terganggu yang dipisahkan dari sistem pada saat terjadi gangguan atau kondisi abnormal.

⁶ Karyono, Wirawan, dkk.2013. Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali, Jakarta (Hal 8- 10)

c. Andal

Kemungkinan suatu sistem proteksi dapat bekerja sesuai fungsi yang diinginkan dalam kondisi jangka waktu tertentu. Proteksi diharapkan bekerja pada saat kondisi yang diharapkan terpenuhi dan tidak boleh bekerja pada kondisi yang tidak diharapkan.

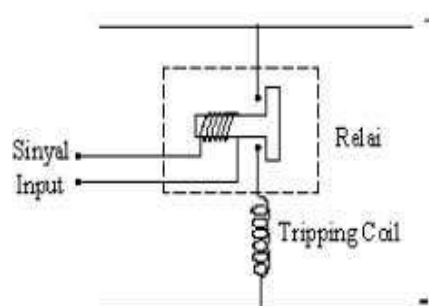
d. Cepat

Elemen sistem proteksi harus mampu memberikan respon sesuai dengan kebutuhan peralatan yang dilindungi untuk meminimalisasikan terjadinya gangguan meluas, lama gangguan dan gangguan pada stabilitas sistem⁶.

2.4.5. Prinsip Kerja Relay Proteksi³

Relay dapat bekerja apabila mendapatkan sinyal-sinyal input yang melebihi dari setting relay tersebut. Besaran ukur yang dipakai untuk sinyal input yaitu berupa arus, tegangan impedansi, daya, arah daya, pemanasan, pembentuk gelombang frekuensi, gelombang eksplosif dan sebagainya, relay di katakan kerja (operasi), apabila kontak-kontak dari relay tersebut bergerak membuka dan menutup dari kondisi awalnya.

Apabila relay mendapatkan satu atau beberapa sinyal input sehingga dicapai suatu harga pick-up tertentu, maka relay bekerja dengan menutup kontak-kontaknya, maka relay akan tertutup sehingga tripping coil akan bekerja untuk memutuskan beban.



Gambar 2.15 Prinsip kerja relay proteksi

³Elvi Sahnur Nasution And Faisal Irsan Pasaribu “Relay Differensial Sebagai Proteksi Pada Transformator Daya Gardu Induk” n.d.,8.



dari setting rele tersebut. Besaran ukur yang dipakai untuk sinyal input yaitu berupa arus, tegangan, impedansi, daya, arah daya, pemanasan, pembentukan gas, frekuensi, gelombang eksplosi dan sebagainya. Rele dikatakan kerja (operasi), apabila kontak-kontak dari rele tersebut bergerak membuka dan menutup dari kondisi awalnya. apabila rele mendapat satu atau beberapa sinyal input sehingga dicapai suatu harga pick-up tertentu, maka rele kerja dengan menutup kontak-kontaknya. Maka rele akan tertutup sehingga tripping coil akan bekerja untuk memutuskan beban.

2.4.6. Klasifikasi Relay Proteksi

Relay –Relay yang akan digunakan dalam sistem tenaga listrik dapat diklarifikasikan sebagai berikut :

a. Berdasarkan prinsip kerjanya

1. Relay temperature (Thermal Relay)

Relay jenis ini bekerja karena pengaruh panas arus listrik yaitu mendeteksi arus dengan pertambahan temperature yang ditimbulkan arus yang melewatinya. Relay ini dapat juga bekerja karena ketidakseimbangan arus yang menyebabkan kenaikan temperature akibat komponen urutan negatif. Relay jenis ini sering dipakai untuk proteksi terhadap keadaan arus lebih yaitu dengan mendeteksi panas yang terjadi akibat arus lebih tersebut.

2. Relay Elektromagnetik

Jenis relay ini dapat menggunakan sumber arus bolak-balik atau sumber arus searah sebagai tenaga penggerak relay.

3. Relay statis

Relay jenis statis adalah relay yang bekerja dengan menggunakan komponen-komponen statis, seperti transistor, diode dan lain-lain guna mendapatkan karakteristik yang diinginkan.

b. Berdasarkan besaran ukur dan fungsinya

1. Relay- relay akan bekerja bila besaran ukurnya turun sampai harga



tertentu. Relay jenis ini misalnya relay tegangan kurang (under voltage relay) dan relay frekuensi kurang (under frekuensi relay).

2. Relay- relay akan bekerja bila besaran ukurnya melebihi suatu harga tertentu, misalnya: relay arus lebih (over current relay) dan relay relay tegangan lebih (over voltage relay).

3. Relay daya adalah jenis relay besaran (directional relay) yang akan bekerja bila arah daya mengalir kesuatu arah tertentu yang tidak dikehendaki.

4. Relay differensial. yaitu relay yang akan bekerja berdasarkan perbedaan tegangan, arus atau fasa antar dua tempat atau lebih.

5. Relay jarak yaitu relay yang bekerja berdasarkan pada perbandingan harga tegangan dan arus. Jadi dapat dikatakan bahwa besaran yang di deteksi adalah impedansi.

2.4.7. Fungsi sistem proteksi

Sistem pengaman tenaga listrik merupakan sistem pengaman pada peralatan-peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti generator, bus bar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya terhadap kondisi abnormal operasi sistem tenaga listrik tersebut (J. Soekarto, 1985). Kegunaan sistem pengaman tenaga listrik, antara lain untuk:

1. Mencegah kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
2. Mengurangi kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
3. Mempersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas.
4. Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan keandalan dan mutu



tinggi kepada konsumen.

5. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.

2.5. Relay Differensial

Relay differensial adalah salah satu relay pengaman utama sistem tenaga listrik yang bekerja seketika tanpa koordinasi relay sekitarnya sehingga waktu kerja dapat dibuat secepat mungkin.

Daerah pengamannya dibatasi oleh pasangan trafo arus dimana relay differensial dipasang sehingga relay differensial tidak dapat dijadikan sebagai pengaman cadangan untuk daerah berikutnya. Proteksi relay differensial bekerja dengan prinsip ketidakseimbangan arus (current balance).”Dimana arus yang masuk pada suatu titik, sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut”. Atau menjumlahkan Prinsip kerja relay differensial adalah dengan membandingkan nilai arus pada CT di sisi kumparan primer dan CT sisi kumparan sekunder.

Jika hasil penjumlahan arus dari kedua CT tersebut melebihi nilai setelan yang telah ditentukan, maka relay akan trip dan mengirim perintah kepada CB sisi transformator tenaga dari tegangan. Sebagai proteksi utama relay ini bekerja dengan waktu seketika (instantaneous) atau bekerja dengan kecepatan dibawah 100 ms atau periode waktu nol (ketika pengaturan penundaan waktu < 0.05 detik) maka penundaan waktunya tidak lebih dari 50 ms. Selektifitas relay harus terbukti relay harus trip terjadi gangguan di daerah pengamannya. Relay tidak boleh trip ketika terjadi gangguan diluar daerah pengamannya.

Jenis- jenis relay differensial antara lain :

1. Rele Arus Diferensial Rele arus diferensial menggunakan besaran-besaran arus yang masuk dan yang keluar dari peralatan yang diamankan untuk dibandingkan di dalam sirkit diferensial. Setiap perbedaan arus digunakan untuk menggerakkan rele tersebut dengan demikian masing-masing fasa dibandingkan
2. Rele Persentase Diferensial Telah diuraikan cara kerja rele arus diferensial, maka untuk rele persentase diferensial mempunyai ciri kerja yang hampir sama dengan



rele arus diferensial, hanya saja rangkaian diferensialnya melalui kumparan penahan (*restraining coil*). Arus diferensial yang diperlukan untuk mengerjakan rele mempunyai besaran yang bervariasi, dengan perkataan lain dimungkinkan adanya setting rele. Arus diferensial yang mengalir masuk ke rele sebanding dengan $(I_1 - I_2)$ dan arus yang mengalir dalam restrain coil sebanding dengan $(I_1 + I_2) / 2$ karena kumparan kerja dihubungkan ditengah kumparan penahan (*restraining coil*).

2.5.1 Fungsi Rele Diferensial

Pengaman rele diferensial merupakan alat pengaman utama untuk mengamankan transformator daya, fungsinya antara lain adalah :

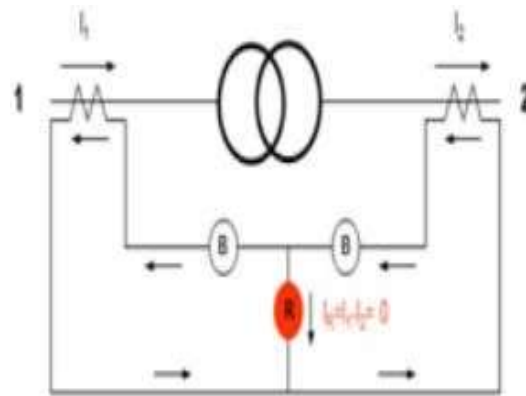
1. Mengamankan transformator dari gangguan hubung singkat yang terjadi di dalam transformator, antara lain hubung singkat antara kumparan dengan kumparan atau antara kumparan dengan tangki.
2. Rele diferensial arus membandingkan arus yang melalui daerah pengamanan.
3. Rele ini harus bekerja kalau terjadi gangguan di daerah pengamanan, dan tidak boleh bekerja dalam keadaan normal atau gangguan di luar daerah pengamanan.
4. Rele ini merupakan unit pengamanan dan mempunyai selektifitas mutlak.

2.5.2. Prinsip Kerja Relay Diferensial

Prinsip kerja rele diferensial ini adalah dengan cara membandingkan dua besaran arus pada sisi primer dan arus pada sisi sekunder pada transformator arus (CT) serta arus yang masuk ke rele. Kerja rele diferensial ini dibantu oleh dua buah transformator arus (CT) dimana dalam keadaan normal, transformator arus yang pertama dan transformator yang kedua dibuat suatu ratio sedemikian rupa, sehingga arus pada kedua transformator arus tersebut sama besar. Adapun prinsip kerja rele diferensial ini terjadi dalam tiga keadaan, yaitu dalam keadaan normal, keadaan gangguan diluar daerah proteksi dan gangguan didalam daerah proteksi.

1. Rele diferensial pada keadaan normal

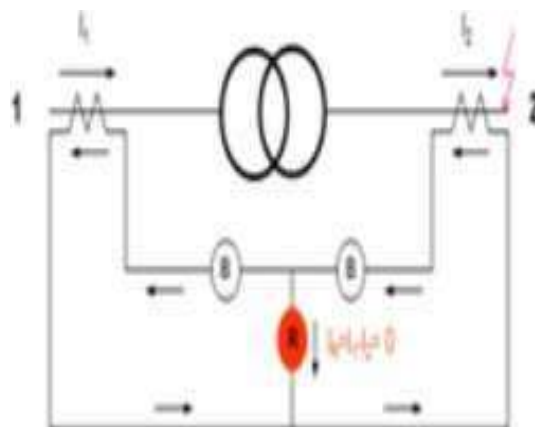
Dalam keadaan normal, arus mengalir melalui peralatan / insulasi listrik yang diproteksi yaitu transformator daya, dan arus-arus transformator arus, yaitu I_1 dan I_2 bersirkulasi melalui "path" IA. Jika rele diferensial dipasang antara terminal 1 dan terminal 2, maka dalam kondisi normal tidak akan ada arus yang mengalir melaluinya.



Gambar 2.16 Rele Differensial Saat Keadaan Normal

2. Relay diferensial pada gangguan di luar daerah proteksi

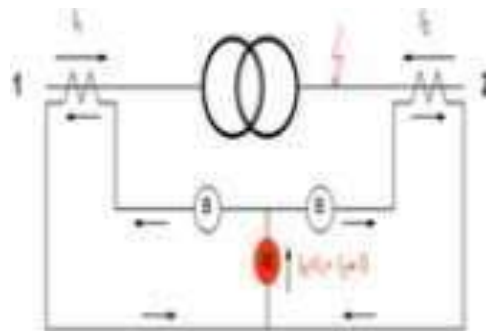
Bila dalam keadaan gangguan diluar dari transformator daya yang diproteksi (*external fault*), maka arus yang mengalir akan bertambah besar, akan tetapi sirkulasi akan tetap sama dengan pada kondisi normal dengan demikian Relay diferensial tidak akan bekerja.



Gambar 2. 17 Gangguan Di Luar Daerah Proteksi

3 Relay diferensial pada gangguan di dalam daerah proteksi

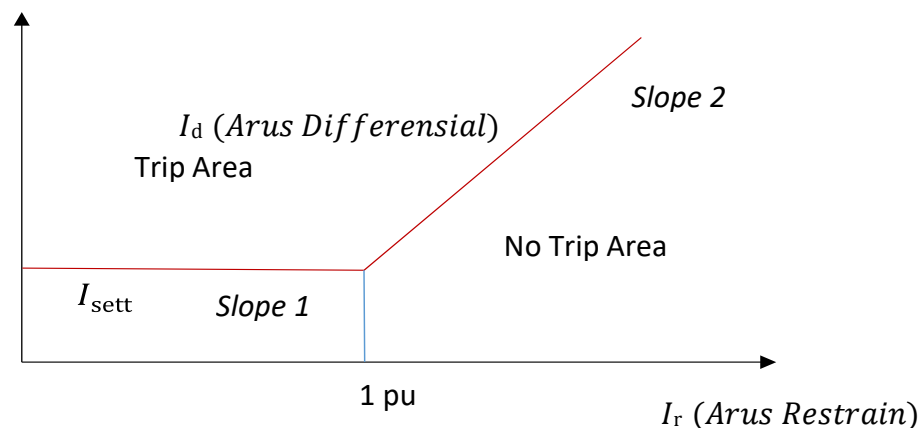
Jika gangguan terjadi didalam proteksinya pada transformator daya yang diproteksi (*internal fault*), maka arah sirkulasi arus disalah satu sisi akan terbalik, menyebabkan “keseimbangan” pada kondisi normal terganggu, akibatnya arus I_d akan mengalir melalui Relay diferensial dari terminal 1 menuju ke terminal 2 maka terjadi selisih arus didalam Relay, selanjutnya Relay tersebut akan mengoperasikan CB untuk memutus.



Gambar 2.18 Gangguan Di Dalam Daerah Proteksi

2.5.3. Karakteristik Relay Differensial⁸

Setiap relay differensial dilengkapi dengan nilai settingannya dan memberikan karakteristik tripping tertentu. Karakteristik inilah yang akan mengenali jenis gangguan.



Gambar 2.19 Karakteristik Relay Differensial

⁸Muhammad Rizki.2018. Jurnal Analisa Peforma Rele Differensial Hal 8



Slope1 merupakan setting untuk menentukan titik dimana relay differensial mulai bekerja (pick-up relay). Sehingga bisa dibilang Slope1 ini merupakan nilai penentu kapan relay differensial ini akan bekerja. Slope1 bertugas untuk mengenali gangguan internal. Slope2 bertugas untuk mengenali gangguan eksternal. Nilai Slope2 digunakan untuk melihat adanya gangguan diluar daerah pengaman.

Pada saat gangguan eksternal nilai arus yang melewati transformator sangat besar. Arus yang besar tersebut idealnya ditransformasikanoleh CT bernilai sama besar pada masing-masing sisi transformator. Tetapi setiap CT memiliki karakteristik error yang mengakibatkan arus differensial menjadi besar pada sisi belitan transformator. Untuk membedakan apakah arusdifferensial itu disebabkan oleh gangguan internal atau gangguan eksternal, maka digunakan perhitungan arus restrain (persamaan) untuk mengetahui nilai arus rata-rata yang mengalir pada kedua sisi belitan transformator.

2.5.4. Sifat Pengaman Relay Differensial

Adapun sifat pengaman pada relay differensial yaitu sebagai berikut:Sangat selektif dan cepat tidak perlu dikoordinasikan dengan relay lain.Sebagairelay pengaman utama Daerah pengamanannya dibatasi oleh pasangan trafo arus, dimana relay differensial dipasang. Pengaman relay differensial untuk pengaman generator,trafo daya, saluran transmisi yang pendek dan motor- motor yang kapasitasnya besar.

2.5.5. Pemasangan Relay Differensial

Di dalam pemasangan relay differensial pada transformator daya, sering mengalami kesulitan ketepatan kerja relay, sehingga pada akhirnya relay akan mengalami salah kerja. Salah kerja pada relay differensial disebabkan oleh hubungan transformator daya disisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendahsering berbeda,sehingga terjadi ketidak seimbangan arus pada transformator. Sehubungan dengan pemasangan relay differensial ke transformator daya, maka perlu sekali untuk mengetahui persyaratan relaydifferensial tersebut, yaitu: besar arus-arus yang masuk ke relay harus sama.. fasa-fasa tersebut harus berlawanan



2.5.6. Perhitungan Teori Setting Rele Differensial

2.5.6.1. Perhitungan Rasio CT¹⁰

Pemilihan CT disesuaikan dengan alat ukur dan proteksi. Pemilihan CT dengan kualitas baik akan memberikan perlindungan sistem yang baik pula. Relaydifferensial sangat tergantung terhadap karakteristik CT.

Jika karakteristik CT bekerja dengan baik. Maka sistem akan terlindungi oleh rele differensial ini secara optimal. CT ditempatkan di kedua sisi peralatan yang akan diamankan . rasio CT untuk rele differensial yang dipilih sebaiknya memiliki nilai yang mendekati nilai I_{rating} .

$$I_{rating} = 110\% \times I_{nominal} \dots\dots\dots(2.4)$$

- Arus nominal pada sisi primer

$$I_{N1} = \frac{S}{\sqrt{3}XV_p} \dots\dots\dots(2.5)$$

- Arus nominal pada sisi sekunder

$$I_{N2} = \frac{S}{\sqrt{3}XV_s} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana

I_{N1} = Arus nominal pada sisi primer ;

I_{N2} = Arus nominal pada sisi sekunder ;

V_p = tegangan pada sisi primer;

V_s = Tegangan pada sisi sekunder ;

2.5.6.2. Perhitungan Error Mismatch⁹

Error Mismatch adalah kesalahan dalam membaca perbedaan arus dan tegangan di sisi primer dan sekunder transformator tenaga. Error mismatch diharapkan nilainya sekecil mungkin agar proteksi relay diferensial bekerja secara

¹⁰Panjaitan, Bonar .2012. Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik. Jakarta . Erlangga (Hal 331)



optimal dalam mengamankan transformator tenaga. Dengan syarat kesensitifan relay diferensial dalam pengoperasian Mismatch error tidak boleh lebih dari 5%. Syarat ini ditentukan untuk proteksi agar optimal menjaga sistem tenaga listrik dari gangguan. *Error mismatch* didapatkan dari perbandingan nilai

Berikut adalah persamaannya:

$$\text{Error Mismatch} = \frac{CT \text{ Ideal}}{CT \text{ terpasang}} \% \dots \dots \dots (2.7)$$

Persamaan untuk menghitung nilai ratio CT ideal adalah

$$CT_1 (\text{ Ideal }) = CT_2 \frac{V_s}{V_p} \dots \dots \dots (2.8)$$

$$CT_2 (\text{ Ideal }) = CT_1 \frac{V_p}{V_s} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

CT (ideal) : rasio trafo arus ideal

CT (Terpasang) : nilai CT terpasang.

CT_1 (ideal) : rasio trafo arus ideal sisi primer CT_2

(ideal) : rasio trafo arus ideal sisi sekunder

V_p : Tegangan primer

V_s : Tegangan sekunder

2.5.6.3. Perhitungan Arus Sekunder CT¹¹

Arus sekunder CT meruokan arus yang terbaca oleh transformator arus.

Persamaan yang digunakan untuk mencari arus sekunder CT adalah :

$$I_{\text{Sekunder}} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_n \dots \dots \dots (2.10)$$

⁹Maulana , Ilham. 2020 . Analisis Setting Rele Differensial Pada Transformator Daya 60 MVA Di Gos 150 kV Jatiwaringin, Jurnal Mahasiswa Institut Teknologi PLN. (Hal 34)

¹ Ibid Hal 19



Dimana :

I_n = Arus nominal

2.5.6.4. Perhitungan Nilai Arus Differensial¹²

Arus differensial yaitu arus selisih antara arus sekunder CT sisi tegangan tinggi terhadap arus sekunder CT sisi tegangan rendah. Persamaan yang digunakan untuk mencari arus differensial adalah:

$$I_d = I_2 - I_1 \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

I_d = Arus differensial

I_1 = Arus sekunder CT1

I_2 = Arus sekunder CT

2.5.6.5 Perhitungan Arus Restrain⁸

Arus restrain adalah arus penahan yang digunakan sebagai parameter kerja dari relay differensial. Arus restrain digunakan untuk mengetahui arus rata-rata yang mengalir pada transformator sisi tegangan tinggi dengan sisi tegangan rendah

$$I_r = \frac{I_1 + I_2}{2} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

I_r = Arus restrain (A)

I_1 = Arus sekunder CT₁ (A)

I_2 = Arus sekunder CT₂ (A)

¹¹ Ria Fitruani, Nor. 2017. Analisa Penggunaan Rele Differensial Sebagai Prorteksi Pada Transformator Daya 16 MVA Di Gardu Induk Jajar, Mahasiswa Universitas Muhammadiyah Surakarta

⁸Ibid Hal 14



2.5.6.6 Perhitungan Percent Slope²

Dengan membagi arus diferensial dan arus restrain maka diperoleh nilai *percent slope*. *Slope* bertugas untuk menentukan arus diferensial agar dapat bekerja terhadap gangguan internal, sedangkan *slope₂* bertugas untuk tidak bekerja pada saat gangguan eksternal. Berikut persamaan untuk menghitung percent slope:

$$Slope_1 = \frac{id}{ir} \times 100\% \dots\dots\dots(2.13)$$

$$Slope_2 = (\frac{id}{ir} \times 2) \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana :

Slope₁ = Setting kecuraman 1

Slope₂ = Setting kecuraman 2

Id = Arus Differensial (A)

Ir = Arus Restrain (A)

2.5.6.7. Perhitungan Arus Setting⁹

Arus setting merupakan batasan dalam menentukan apakah relay differensial akan bekerja atau tidak dengan cara membandingkan dengan arus differensial. Jika arus differensial nilainya melebihi arus setting maka relay akan bekerja men-tripkan jaringan. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung arus setting :

$$I_{setting} = Slope \times I_{restrain} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana :

I_{setting} = Arus Setting (A)

Slope = Setting kecuraman (%)

I_r = Arus restrain (A)

² Cahyo Saputra 2018 “Studi Setting Rele Differensial Pada Transformator Tenaga Di PT. Pertamina Refinery Unit Lv Cilacap.” Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

⁹Ibid Hal 36