

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator Daya

Transformator ini merupakan suatu alat listrik statis yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain dengan mengubah tegangan tanpa mengubah frekuensi.



Gambar 2.1 Transformator Daya

Arus nominal pada transformator daya dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

Arus nominal pada sisi primer :

$$I_{N1} = \frac{S}{V_p \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.1)^1$$

Arus nominal pada sisi sekunder :

$$I_{N2} = \frac{S}{V_s \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.2)^1$$

Dimana :

- I_{N1} = Arus nominal transformator daya sisi primer
- I_{N2} = Arus nominal transformator daya sisi sekunder
- S = Daya pada transformator
- V_p = Tegangan pada sisi primer
- V_s = Tegangan pada sisi sekunder

¹ Abdul Kadir, Transmisi tenaga listrik, 1998 hal 43

Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material *magnetic* berlaminasi. Landasan fisik transformator adalah induktansi mutual (timbang balik) antara kedua rangkaian yang dihubungkan oleh suatu fluks magnetik bersama yang melewati jalur dengan reluktansi rendah. Kedua kumparan memiliki induktansi mutual yang tinggi. apabila kumparan primer dihubungkan dengan tegangan, maka akan mengalir arus bolak-balik pada kumparan tersebut. Oleh karena kumparan mempunyai inti, arus menimbulkan fluks magnet yang juga berubah-ubah pada intinya. akibat adanya magnet yang berubah-ubah pada kumparan primer akan timbul GGL induksi.

2.2 Gangguan Pada Transformator Daya

Gangguan yang berpengaruh terhadap kerusakan transformator tidak hanya karena adanya gangguan didalam transformator atau didalam daerah pengaman transformator, tetapi juga adanya diluar daerah pengaman.

1. Gangguan di luar daerah pengamananya

Gangguan di luar daerah pengaman transformator daya ini sering terjadi dan dapat merupakan beban lebih, hubung singkat satu fasa ke tanah maupun gangguan antar fasa. Gangguan ini pada daerah ini mempunyai pengaruh terhadap transformator ini, sehingga transformator harus dilepaskan/dipisahkan bila gangguan tersebut terjadi setelah waktu tertentu untuk memberi kesempatan pengaman daerah yang terganggu bekerja. Kondisi beban lebih yang berlanjut dapat dideteksi dengan relay thermal atau thermometer yang memberi sinyal sehingga dapat mengatur ataupun mengadakan manipulasi jaringan sehingga beban berkurang tetapi bila perlu diputuskan suplainya.

Untuk kondisi gangguan diluar daerahnya misalnya gangguan hubung singkat pada rel atau gangguan hubung singkat di saluran keluaranya, maka relay arus lebih dengan perlambatan waktu atau sekring digunakan sebagai pengamannya. Koordinasi yang baik untuk pengaman cadangan transformator ini

perlu diciptakan terhadap pengaman daerah berikutnya yang terkait. Pengaman utama dari transformator ini dibuat semedikian rupa sehingga tidak boleh bekerja terhadap gangguan tersebut di atas.

2. Gangguan di daerah pengamannya

Pengaman utama transformator daya ditunjukkan sebagai pengaman didalam daerah pengamanannya. gangguan di dalam sangat serius dan selalu ada resiko terjadinya kebakaran, gangguan dalam dapat digolongkan menjadi dua kelompok, yaitu:

Kelompok (a)

- Gangguan listrik akan dengan segera menyebabkan kerusakan yang serius tetapi pada umumnya dapat dideteksi oleh adanya arus atau tegangan yang tidak seimbang, diantaranya :
- Gangguan satu fasa atau antar fasa pada sisi tegangan tinggi atau tegangan rendah di terminal luar.
- Gangguan satu fasa atau antar fasa pada lilitan sisi tegangan tinggi atau tegangan rendah. Hubung singkat antar lilitan di sisi tegangan tinggi atau tegangan rendah.
- Gangguan tanah pada lilitan tersier, atau hubung singkat antar belitan di lilitan tersier.

Kelompok (b)

Apa yang dinamakan gangguan ialah suatu gangguan yang dimulai gangguan yang kecil atau tidak berarti, namun secara lambat akan menimbulkan kerusakan. gangguan ini tidak dapat dideteksi adanya tegangan atau bertambah besarnya arus pada ujung lilitan. yang termasuk gangguan lilitan ini ialah :

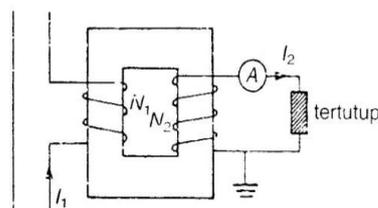
- Sambungan secara elektrik dari konduktor jelek dan gangguan inti misalnya tembusnya lapisan isolasi inti serta baut atau ring klem kurang kencang, yang akan menimbulkan busur yang terbatas pada minyak.
- Gangguan sistem pendingin, yang akan menyebabkan pemanasan lebih walaupun bebannya belum mencapai nominal. Sehubungan butir 2 adalah kemungkinan kurang minyak atau tersumbatnya aliran minyak sehingga menimbulkan pemanasan setempat pada lilitan.

- Gangguan dari pengatur tegangan dan pembagian beban yang tidak baik antara transformator yang bekerja paralel, yang akan menyebabkan pemanasan lebih karena adanya arus sirkulasi.

Secara umum untuk gangguan pada kelompok (a) sangat penting bahwa peralatan yang terganggu harus secepat mungkin dipisahkan setelah terjadi gangguan, tidak hanya untuk membatasi kerusakan transformator daya tersebut tetapi juga membatasi lama waktu tegangan sistem turun. Bila tegangan turun terlalu lama dapat menimbulkan hilangnya sinkronisasi antar mesin, bila hal ini terjadi arus lebih yang besar akan muncul karena adanya lepas sinkron dari unit pembangkit sehingga akan ada relay yang salah kerja menyebabkan gangguan yang beruntun. Gangguan pada kelompok (b) tidak merupakan hal yang serius pada masa gangguan *incipient*, tetapi dapat menjadi gangguan yang parah tergantung dari waktu, maka juga harus dihilangkan secepat mungkin. Dalam hal bila pengamanan untuk kelompok (a) tidak mampu mengamankan gangguan pada kelompok (b), maka untuk pengamanan untuk kelompok (b) tidak perlu mendeteksi gangguan pada terminal dan untuk menghilangkan gangguan tidak perlu secepat seperti gangguan pada kelompok (a). Inilah merupakan filosofi dasar pengamanan transformator daya, dan ini artinya bahwa pengamanan kelompok (a).

2.3 Trafo Arus/Current Transformer (CT)

Transformator arus digunakan untuk mengukur arus beban suatu rangkaian. Dengan menggunakan transformator arus, maka arus beban yang besar dapat diukur hanya dengan menggunakan alat ukur (amperemeter) yang tidak terlalu besar.



Gambar 2.2 Rangkaian Trafo Arus²

² Zuhail, Dasar Tenaga Listrik, 1991, hal 50

Dengan mengetahui perbandingan transformasi N_1/N_2 dan pembacaan ammeter (I_2), arus beban I_1 dapat dihitung. Bila transformator dianggap ideal maka arus beban:

$$I_1 = N_2 / N_1 \times I_2 \dots\dots\dots (2.3)^2$$

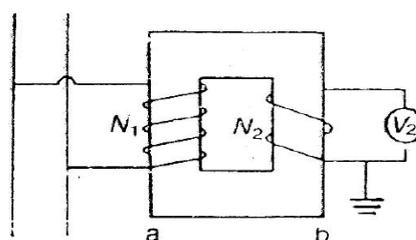
Untuk menjaga agar fluks tetap tidak berubah, maka perlu diperhatikan agar rangkaian sekunder selalu tertutup. Dalam keadaan rangkaian sekunder terbuka, ggm $N_2 I_2$ akan sama dengan nol (karena $h = 0$) sedangkan ggm $N_1 I_1$ tetap ada sehingga fluks normal akan terganggu.

2.4 Trafo Tegangan/Potensial Transformer (PT)

Transformator tegangan digunakan, untuk mengukur tegangan. Dengan, mengetahui N_1 dan N_2 , membaca tegangan V_2 serta menganggap transformator ideal maka tegangan V_1 adalah:

$$V_1 = N_1 / N_2 V_2 \dots\dots\dots (2.4)^3$$

Pentanahan rangkaian sekunder diperlukan untuk tenceg,ah adanya beda potensial yang besar antara kumparan primer dan sekunder (antara titik a dan b) pada saat isolasi kumparan primer rusak.



Gambar 2.3 Rangkaian Trafo Tegangan³

2.5 Pemutus Daya

Pemutus daya diperlukan guna memutus arus-arus kerja ataupun arus – arus hubung singkat. Pemutus daya dapat dioperasikan, yaitu ditutup atau dibuka ditempat atau secara jarak jauh menggunakan sistem proteksi. Dengan demikian

³ Zuhail, Dasar Tenaga Listrik, 1991, Hal 51

sebuah pemutus daya dapat secara otomatis membuka suatu rangkaian bilamana misalnya arus saluran, tegangan saluran, atau frekuensi sistem melampaui batas – batas tertentu. Jenis – jenis pemutus daya yang terpenting adalah :

- a). Pemutus daya minyak (*oil circuit breakers*)
- b). Pemutus daya udara tiup (*airblast circuit breakers*)
- c). Pemutus daya SF6 (*SF6 circuit breakers*)
- d). Pemutus daya Pakem (*Vacuum circuit Breakers*)

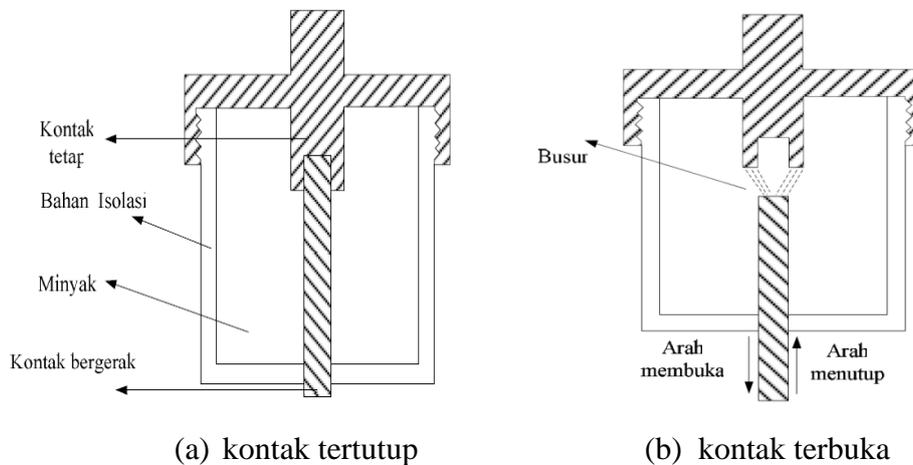
Pelat nama sebuah pemutus daya umumnya memberikan indikasi mengenai

- a. Arus konstan maksimum yang dipakai
- b. Besar arus interupsi maksimum
- c. Maksimum tegangan saluran
- d. Waktu interupsi yang dinyatakan dalam siklus

Waktu interupsi dapat berkisar hingga 3 atau 8 siklus pada sistem 50HZ. Untuk menginterupsi arus – arus listrik besar dalam waktu yang demikian singkat, perlu diatur terjadinya de-ionisasi busur yang cepat, disertai pendinginan yang cepat pula. Interupsi kecepatan tinggi membatasi kerusakan –kerusakan yang dapat terjadi pada instalasi transmisi dan peralatan lainnya, serta mempertahankan stabilitas sistem bilamana terjadi suatu keadaan darurat. Sebuah pemutus daya akan bekerja karena misalnya digerakan oleh suatu alat pengaman berupa rele arus lebih. Kemampuan sebuah saklar daya dinyatakan dalam sebuah arus yang dapat diputuskannya, atau dalam daya hubung singkat MVA.

- a). Pemutus daya minyak (*oil circuit breakers*)

Terdiri atas sebuah tangki atau bejana terbuat dari baja yang diisi dengan minyak isolasi. Pada salah satu versi, isolator tembus (*bushing*) memasukan tegangan fasa dan dihubungkan dengan suatu kontak tetap yang tidak bergerak. Kontak yang bergerak, dikendalikan oleh rele, dapat menutup atau membuka rangkaian. Pada gambar 2.4 rangkaian berada dalam keadaan tertutup dan kontak tetap dan kontak bergerak berada dalam keadaan tersambung, Dan arus listrik mengalir.



Gambar 2.4 Skema Prinsip Kerja Pemutus Daya Minyak⁴

Bilamana terjadi beban lebih sehingga rele arus lebih bekerja, kontak bergerak akan ditarik keluar dari kontak tetap agar hubungan jaringan menjadi terbuka. Pada saat kedua kontak melepaskan, terjadi suatu busur api yang sangat kuat, dan juga gas – gas panas. Tekanan dari gas panas itu menyebabkan terjadinya turbulensi dari minyak – minyak sekitar busur api. Hal itu mengakibatkan minyak yang dingin mengitari busur api. Hal itu mengakibatkan minyak yang dingin mengitari busur api dan memadamkannya. Pada pemutus daya minyak modern busur api dilokasikan dalam suatu ruang pemadam (*explosion chamber*), sehingga tekanan gas panas menghasilkan suatu semburan minyak melintasi busur api. Terdapat pula desain dimana dengan bantuan medan magnet yang terjadi, busur api diperpanjang dan ditiup terhadap suatu seri pelat isolasi yang mematahkan dan mendinginkan busur api. Masalah pada pemutus daya minyak adalah bahwa minyak itu sendiri mudah terbakar. Bilamana kondisi pemutus daya kurang baik, dan daya yang terjadi pada suatu hubung singkat sangat besar, pemutus daya dapat meledak, dan minyak yang terbakar akan disembur ke semua arah, menyebabkan terjadinya kebakaran.

b). Pemutus daya udara bertekanan (*Air blast circuit breakers*)

Tidak memakai minyak. Pada pemutus jenis ini udara bertekanan tinggi ditiup dengan kecepatan supersonik melintasi busur api. Udara bertekanan itu disimpan dalam sebuah tangki dan diisi oleh suatu kompresor. Pemutus daya

⁴ Abdul kadir, Pembangkit Tenaga Listrik, 1994, hal 77

udara bertekanan dengan daya besar dapat membuka arus – arus hubung singkat sebesar 40Kva pada tegangan saluran 500KV. Kebisingan yang terjadi pada pelepasan udara itu adalah sedemikian nyaring, sehingga lebih menyerupai ledakan dasyat. Bilamana GI terletak daerah perumahan, perlu diatur agar kebisingan itu dikurangi.

c). Pemutus daya SF6 (*SF6 circuit breakers*)

Merupakan sistem yang sepenuhnya tertutup, dan diisolasi dengan gas sulfur hexafluorida (SF6). Jenis pemutus daya ini sangat baik, namun mahal. Karena bentuknya kompak, peralatan yang berisolasi gas (SF6) dipakai. Ditempat yang harga tanahnya tinggi, seperti ditengah – tengah kota besar. kini terdapat pula gardu induk yang berisolasi gas SF6 (*gas insulated substations, GIS*). Perlu dikemukakan bahwa pemutus daya SF6 tidak terlalu berisik sebagaimana dengan halnya pemutus daya udara bertekanan. Gas SF6 merupakan suatu terobosan sebagai bahan isolasi dan pemadam bagi pemutus daya. Ia memiliki stabilitas termal tinggi, tidak beracun dan tidak mengganggu kelestarian lingkungan. Pada tekanan yang sama gas SF6 memiliki kekuatan dielektrik 2,5 sampai 3 kali dari udara. Dan juga tekanan yang lebih rendah, dadal isolasi (*insulation breakdown*) masih tinggi, dan menyamai yang dari minyak atau isolasi bahan padat. Kemampuan isolasi gas SF6 untuk sebagian diperoleh dari sifatnya yang elektronegatif, sehingga menarik elektron – elektron bebas kemolekul.

d). Pemutus daya pakem (*Vacuum circuit Breakers*)

Bekerja atas dasar prinsip lain, karena tidak terdapat gas yang dapat berionisasi bilamana kontak – kontak terbuka. Pemutus daya jenis ini tertutup secara rapi, dan tidak boleh bocor. Karenanya tidak terdapat kebisingan atau polusi. Kemampuannya terbatas hingga kira – kira 30Kv. Pemutus daya pakem banyak dipakai pada sistem bawah tanah.

2.6 Auxiliary Current Transformer (ACT)

Transformator arus bantu atau auxiliary current transformer (ACT) merupakan peralatan yang berfungsi :

- Untuk menyesuaikan arus sekunder CT sisi primer dan sisi sekunder.
- Untuk menyesuaikan pergeseran sudut fase.

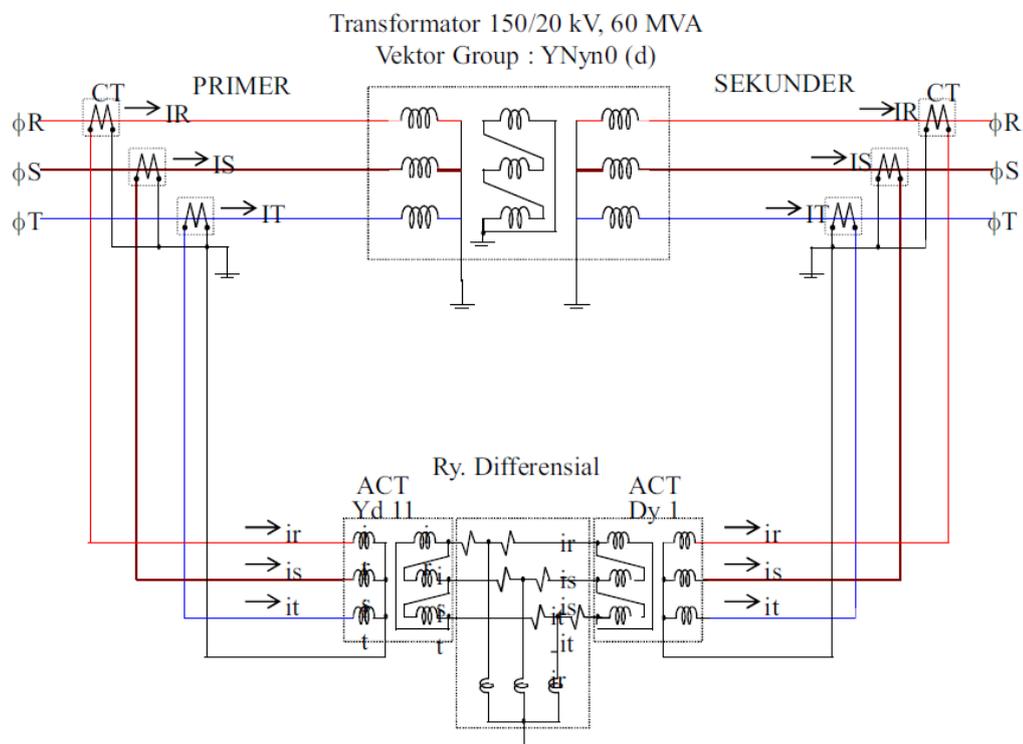
Pemasangan ACT

- Jika berfungsi untuk menyesuaikan pergeseran fasa selalu dipasang pada sisi Y transformator dayanya, dan disisi lainnya dapat dipasang atau tidak.
- Jika berfungsi hanya penyesuaian arus dapat dipasang disisi primer maupun sekunder, atau kedua – duanya.
- Bila CT disisi primer mempunyai sekunder 1 A dan disisi sekunder 5 A, umumnya ACT dipasang dikedua sisi.

Perbandingan transformasi untuk penyesuai sudut fase:

- Hubungan yy sisi sekundernya 5 A atau 1 A
- Hubungan yd sisi sekundernya $5/\sqrt{3}$ atau $1/\sqrt{3}$

berikut ini merupakan contoh skema sederhana pemasangan rele diferensial menggunakan ACT



Gambar 2.5 Wiring Relay Diferensial Untuk Vector Grup Trafo Yyn0 (d)⁵

⁵ PT.PLN Persero Sulsel, Proteksi Sistem Tenaga Listrik.

2.7 Dasar-Dasar Sistem Proteksi

Secara umum rele proteksi harus bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan waktu yang cepat sehingga tidak akan mengakibatkan kerusakan, ataupun kalau suatu peralatan terjadi kerusakan secara dini telah diketahui. Hal ini dijabarkan sebagai fungsi persyaratan rele pengaman. Rele proteksi adalah suatu susunan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidaknormalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan segera secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian sistem yang terganggu dan memberi isyarat lampu dan bel. Rele proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran – besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya supaya masing – masing bagian sistem dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainya tetap dapat beroperasi secara manual. Tugas rele proteksi juga berfungsi menunjukkan lokasi dan macam gangguan.

Rele Pada kaidahnya penyetelan rele ini dikelompokkan menjadi 2 hal yaitu:

- a. Rele – rele yang penyetelanya cenderung mengamankan peralatan secara individu dan ditentukan oleh pabrikan yang lebih mengetahui kemampuan dari peralatanya.
- b. Rele yang harus dikoordinasikan dengan rele lainya untuk mendapatkan selektifitas. Hal yang menimbulkan kegagalan pengaman dapat dikelompokkan sebagai berikut:
 1. Kegagalan pada rele sendiri
 2. Kegagalan suplai arus dan tegangan kerele teganganya rangkaian suplai kerele dari trafo tersebut terbuka atau terhubung singkat.

3. 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
4. Kegagalan pada pemutus tenaga. Kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan tidak menerima suplai, kerusakan mekanis atau kegagalan pemutusan arus karena besarnya hubung singkat melampaui dari pemutus tenaga. Karena adanya kemungkinan kegagalan pada sistem pengaman maka harus dapat diatasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan (*Back up protection*) Dengan demikian pengaman menurut fungsinya dapat dikelompokkan menjadi:
5. Pengaman utama yang pada umumnya selektif dan cepat dan malah jenis tertentu mempunyai sifat selektif mutlak misalnya rele diferensial
6. Pengaman cadangan, umumnya mempunyai perlambatan waktu hal ini untuk memberikan kesempatan pada pengaman utama bekerja terlebih dahulu, dan jika pengaman utama gagal, baru pengaman cadangan bekerja dan rele ini tidak selektif pengaman utama.

2.7.1 Beberapa sifat dari suatu sistem pengaman

Sifat – sifat utama suatu sistem pengaman adalah sebagai berikut:

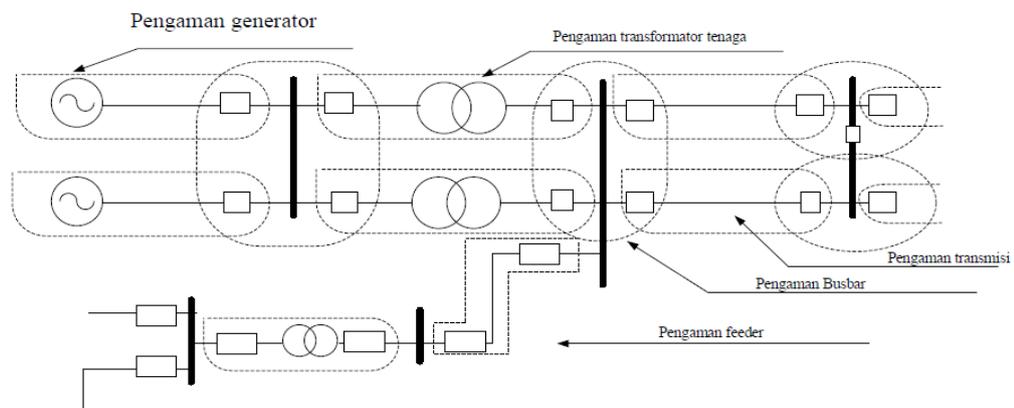
- a. Sistem proteksi harus selektif dalam memilih dengan tepat bagaimana dari instalasi yang terganggu dan harus dipisahkan dari rangkaian yang tidak terganggu dan harus beroperasi terus
- b. Sensitif : sistem proteksi harus perlu memiliki suatu tingkat sensitifitas tinggi, agar gangguan dapat terdeteksi sedini mungkin sehingga bagian yang terganggu atau terjadinya kerusakan menjadi sekecil mungkin
- c. Andal : sistem proteksi perlu memiliki suatu taraf keandalan yang tinggi, dan senantiasa dapat bekerja pada kondisi – kondisi gangguan yang terjadi.
- d. Cepat : sistem proteksi perlu memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan, sehingga meningkatkan waktu pelayanan, keamanan manusia dan peralatan serta stabilitas operasi.

- e. Perluasan sistem : sistem proteksi harus didesain sedemikian rupa, hingga tidak akan mengganggu kemungkinan terjadinya perluasan instalasi atau jaringan diwaktu yang akan datang.

2.7.2 Daerah pengaman (*Protective Zone*)

Untuk mendapatkan daerah pengaman yang cukup baik didalam sistem tenaga listrik dibagi didalam suatu daerah pengaman yang cukup dengan pemutusan subsistem seminim mungkin. Sistem tenaga listrik yang dibagi dalam daerah pengaman adalah:

1. Generator
2. Transformator daya
3. Busbar
4. Transmisi dan distribusi
5. Motor



Gambar 2.6 Diagram Satu Garis Pengaman Utama Pada Sebagian Sistem Tenaga⁶

Daerah pengaman diatas adalah daerah jangkauan dari rele pengaman utama, yang berarti rele pengaman utama yang mendeteksi adanya gangguan hubung singkat dan meneruskan sinyalnya untuk memutuskan rangkaian dengan pemutus beban (*circuit breaker*). Bila rele pengaman utama gagal melaksanakan tugasnya, maka harus ada rele pengaman kedua itu disebut *back up relays*. Rele pengaman kedua dapat dipasang pada satu titik lokasi degan rele pengaman utama

⁶ Haizairin Samaulah, Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik, 2004, Hal 5

yang terletak disisi selanjutnya yang berdampingan (ditempatkan pada lokasi/stasiun yang berlainan).

2.7.3 Kegagalan sistem proteksi

Kegagalan sistem proteksi bisa menimbulkan kerusakan berbagai peralatan dalam instalasi listrik sehingga menimbulkan interupsi pasokan daya. Kerusakan yang timbul merupakan akibat terjadinya arus gangguan yang besar yang tidak dihentikan oleh sistem proteksi sehingga timbul pemanasan berlebihan, bahkan bisa timbul kebakaran dalam instalasi listrik. Hal-hal yang menyebabkan kegagalan sistem proteksi adalah :

a. Baterai yang lemah

Jika baterai lemah, tegangannya rendah, maka arus yang dikirim ke trip coil tidak cukup besar untuk bisa memfungsikan trip coil membuka pemutus tenaga.

b. Pengawatan sekunder, yaitu kawat/saluran dalam sistem proteksi mengalami gangguan sehingga pengiriman arus searah dari baterai ke trip coil tidak mampu men-trip pemutus tenaga. Gangguan pengawatan sekunder bisa berupa:

- isolasi lecet sehingga timbul hubung singkat atau hubung tanah karena menempel pada dinding panel.
- sambungan ujung kabel di terminal blok lepas
- selain sambungan ujung kabel lepas bisa juga terjadi kontak yang kurang baik disebabkan adanya korosi sebagai akibat udara yang lembab.

c. Rele mengalami kerusakan

Rele elektromekanik maupun rele elektronik (digital) bisa saja mengalami kerusakan sehingga tidak bisa mendeteksi adanya gangguan.

d. Mekanisme pemutus tenaga mengalami kemacetan sehingga walaupun trip coil telah bekerja pemutus tenaga tidak trip.

e. Pemutus tenaga tidak mampu memutus arus gangguan.

Ada beberapa hal yang bisa menyebabkan pemutus tenaga tidak mampu memutus arus gangguan, yaitu :

- Mekanisme pemutus tenaga mengalami kemacetan sehingga pemutus tenaga tidak lancar melakukan pemutusan arus gangguan, lambat, lalu timbul akumulasi panas yang merusak pemutus tenaga.
- Penyetelan waktu tunda pada rele arus lebih atau rele hubung tanah terlalu lama untuk nilai gangguan arus yang terjadi, sehingga timbul akumulasi panas yang melampaui batas kemampuan termal peralatan seperti tersebut di atas.
- Nilai arus hubung singkat yang harus diputuskan melebihi kemampuan pemutus (*breaking capacity*) dari pemutus tenaga.

2.8 Jenis-Jenis Rele Proteksi Transformator

Terdapat beberapa jenis rele proteksi yang digunakan untuk mengamankan transformator antara lain :

1. Rele arus lebih

Rele ini berfungsi melindungi transformator terhadap arus lebih yang terjadi karena pembebanan yang berlebihan atau ada gangguan hubung singkat antar fasa di luar maupun di dalam transformator.

2. Rele hubung tanah

Rele ini berfungsi melindungi transformator terhadap gangguan hubung tanah yang terjadi di dalam maupun di luar transformator. Gangguan hubung singkat tanah adalah gangguan yang paling banyak terjadi. Rele hubung tanah pada prinsipnya adalah rele yang mendeteksi adanya arus urutan nol karena gangguan hubung tanah menghasilkan arus urutan nol.

3. Rele diferensial

Rele ini berfungsi melindungi transformator terhadap gangguan daari dalam (internal) transformator tersebut. Apabila terjadi gangguan dalam transformator , maka timbul selisih antara arus yang masuk dan keluar dari transformator bersangkutan dan selisih arus inilah yang mengoperasikan rele diferensial ini. Rele diferensial transformator pada prinsipnya sama dengan rele diferensial generator.

4. Rele hubung tanah terbatas

Rele ini berfungsi melindungi transformator terhadap gangguan hubung tanah yang terjadi dalam transformator. Prinsip kerjanya hampir sama dengan rele diferensial tetapi yang dideteksi adalah selisih antara arus urutan nol yang masuk dan yang keluar dari transformator, mengingat bahwa gangguan hubung tanah menghasilkan arus urutan nol.

5. Rele buchholz

Rele ini mendeteksi terjadinya gelembung-gelembung gas dalam transformator. Apabila terjadi gelembung gas yang banyak dalam transformator (yang menandakan terjadinya loncatan busur listrik yang cukup banyak), maka rele ini bekerja dan men-trip PMT transformator di sisi primer maupun sekunder.

6. Rele suhu

Rele suhu ini mengukur suhu kumparan transformator. Cara kerja dan fungsinya serupa dengan rele suhu pada generator. Pada suhu tertentu rele ini akan membunyikan alarm. Jika suhu kumparan transformator terus naik, maka rele ini kemudian men-trip PMT transformator di sisi primer dan sekunder.

7. Rele tekanan mendadak

Rele ini berfungsi sama dengan rele buchholz, hanya saja yang dideteksi adalah tekanan gas dalam transformator yang naik secara mendadak.

8. Rele tangki tanah

Karena bagian-bagian logam (misalnya inti kumparan) dan transformator ditanahkan melalui tangki transformator, maka rele tangki tanah yang mendeteksi arus yang mengalir antara tangki dan tanah sesungguhnya juga merupakan rele gangguan hubung tanah.

2.9 Pengertian Rele Diferensial

Rele diferensial adalah salah satu rele pengaman utama sistem tenaga listrik yang bekerja seketika tanpa koordinasi relai disekitarnya sehingga waktu kerja dapat dibuat secepat mungkin.

Jenis rele diferensial:

1. Rele arus diferensial
2. Rele persentase diferensial
1. Rele arus diferensial

Rele arus diferensial menggunakan besaran-besaran arus yang masuk dan yang keluar dari peralatan yang diamankan untuk dibandingkan didalam sirkit diferensial. Setiap perbedaan arus digunakan untuk menggerakkan rele tersebut. Dengan demikian arus 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 menggerakkan 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*).

2.10 Daerah Pengaman Rele Diferensial

Daerah pengamanannya dibatasi oleh pasangan trafo arus dimana rele diferensial dipasang sehingga relai diferensial tidak dapat dijadikan sebagai pengaman cadangan untuk daerah berikutnya. Proteksi rele diferensial bekerja dengan prinsip keseimbangan arus (*current balance*). Prinsip ini berdasarkan hukum *kirchhoff* yaitu membandingkan jumlah arus masuk ke primer (I_p) sama dengan jumlah arus yang keluar dari sekunder (I_s).

$$I \text{ diferensial} = I_d = I_p + I_s \dots\dots\dots (2.5)^7$$

Dimana:

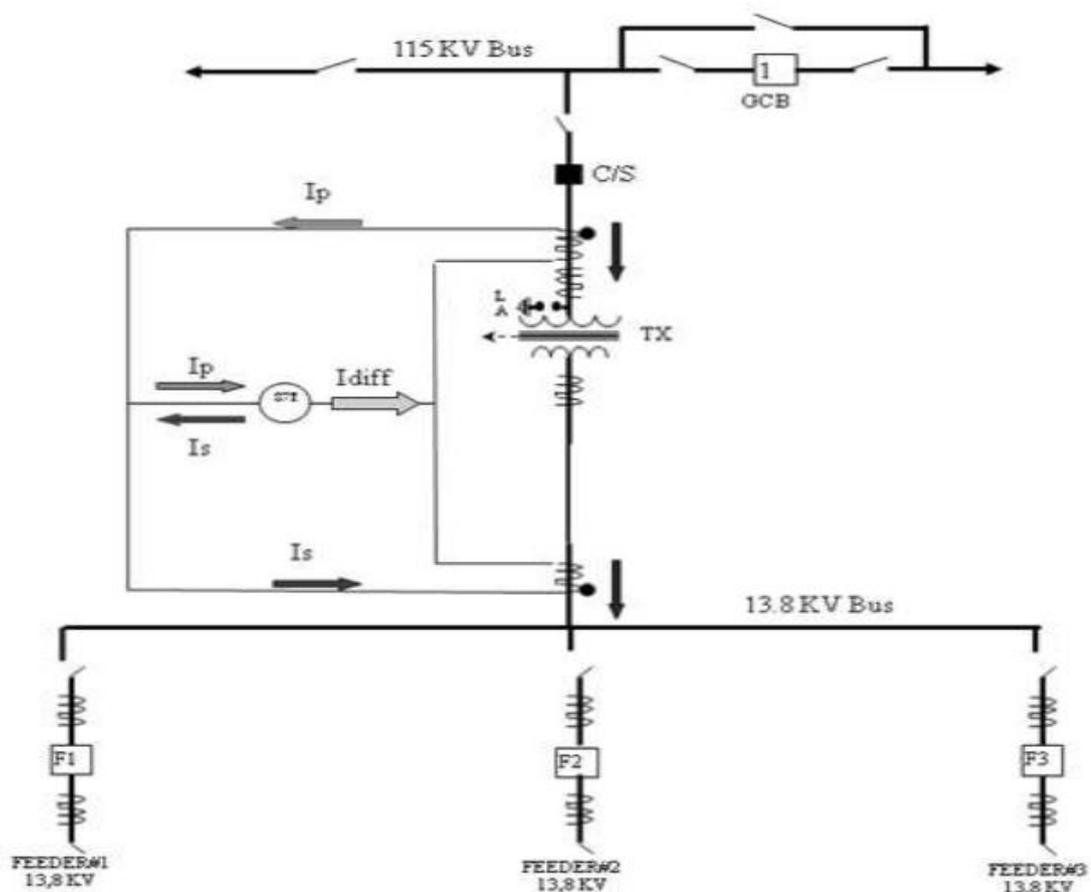
I_d = Arus Diferensial (A)

I_p = Arus Sisi Masuk (A)

I_s = Arus Sisi Keluar (A)

⁷ Jurnal Liem Ek Bien & Dita Helna, 2007, Universitas Trisakti

Gambar 2.7 menunjukkan rele diferensial dalam keadaan arus normal, dimana I_p dan I_s sama besar dan berlawanan arah

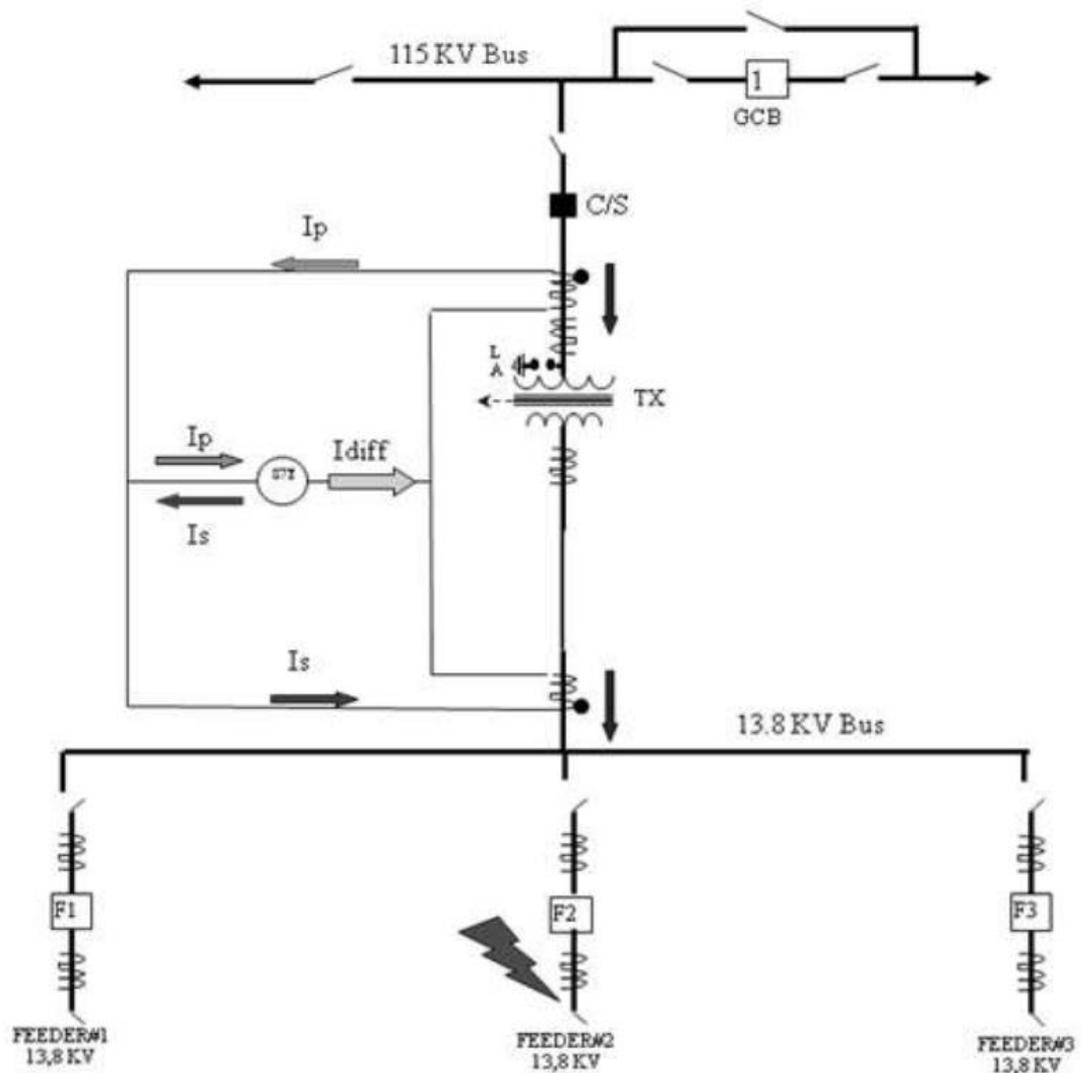


Gambar 2.7 Rele Diferensial Saat Kondisi Normal⁷

$I_d = I_p + I_s = 0 \text{ Ampere}$, $I_{dif} = I_P + I_S = 0 \text{ Ampere}$. Maka tidak ada tegangan yang melintasi *coil relay* dan tidak ada arus yang mengalir pada rele tersebut, sehingga rele diferensial tidak bekerja

1. Gangguan diluar daerah yang dilindungi

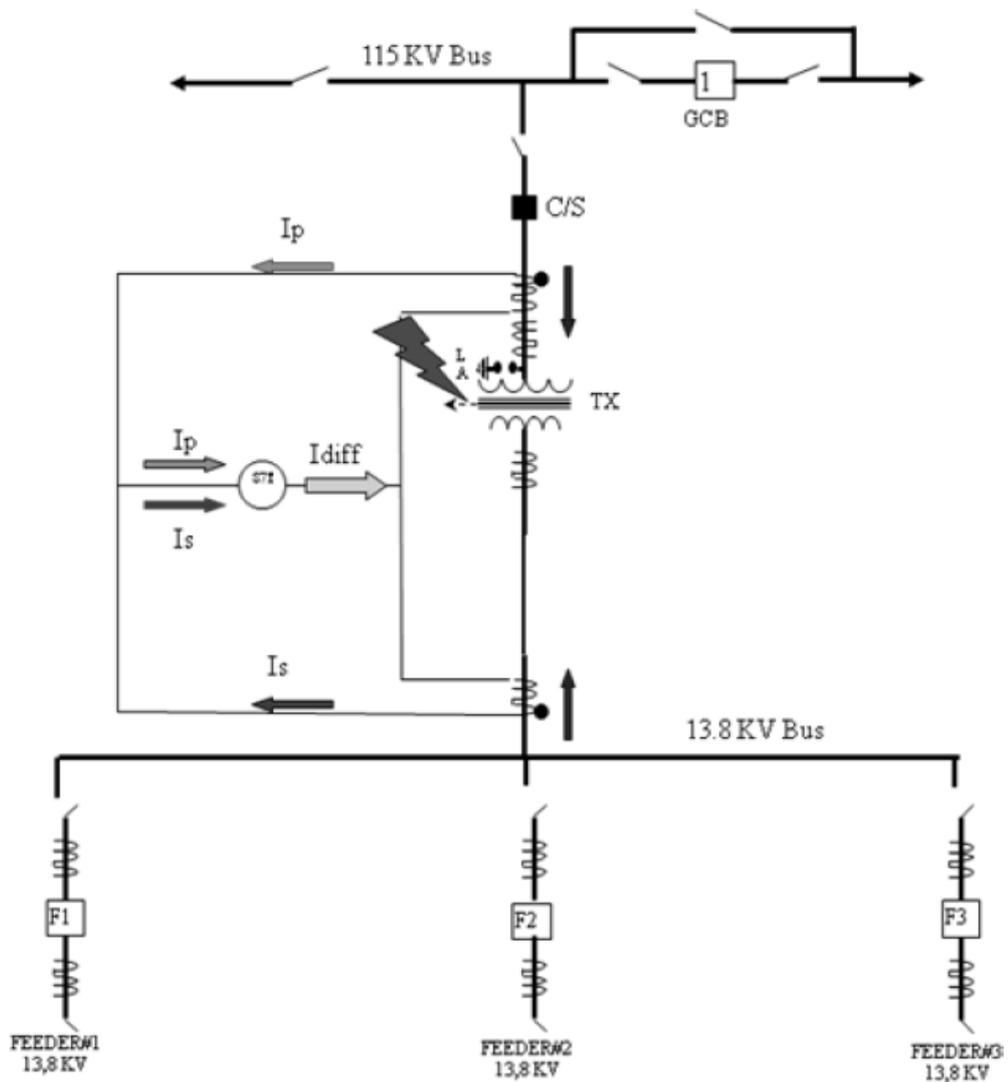
Pada gangguan diluar (eksternal) daerah proteksi rele diferensial (diluar kedua trafo arus), rele diferensial tidak akan bekerja, karena I_p dan I_s sama besar dan berlawanan arah ($I_d = I_p + I_s = 0 \text{ Ampere}$, $I_{dif} = I_p + I_s = 0 \text{ Ampere}$), seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8 Rele Diferensial Saat Gangguan Eksternal⁷

2. Gangguan di dalam daerah yang dilindungi

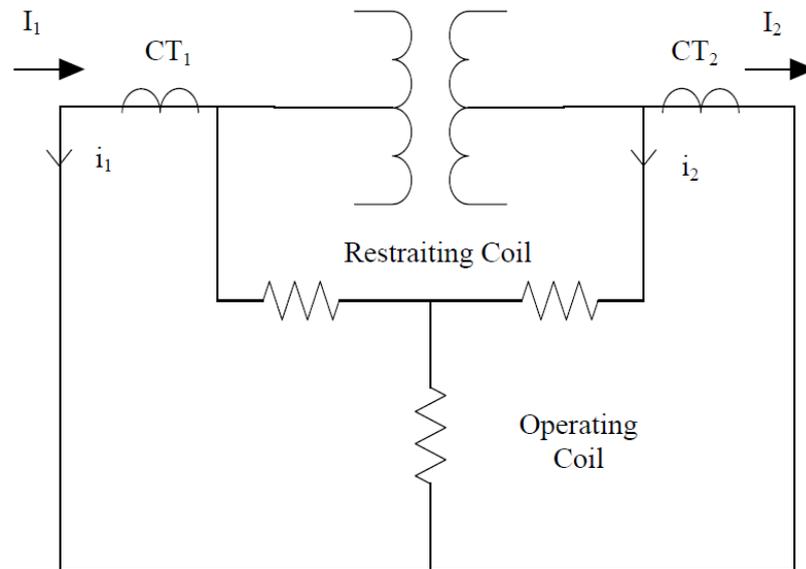
Untuk gangguan didalam (internal) daerah proteksi rele diferensial (diantara kedua trafo arus), I_p dan I_s searah. $I_d = I_p + I_s > 0$ Ampere, $I_{dif} = I_p + I_s > 0$ Ampere. Karena arus akan menuju titik gangguan, sehingga rele diferensial akan bekerja, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Rele Diferensial Saat Gangguan Internal⁷

2.11 Karakteristik Rele Diferensial

Karakteristik diferensial dibuat sejalan dengan *unbalances current* (I_{μ}), untuk menghindari terjadinya kesalahan kerja. Kesalahan kerja disebabkan karena *CT ratio mismatch*, adanya pergeseran fasa akibat belitan transformator tenaga terhubung (Y) – (Δ).



Gambar 2.10 Prinsip Pengoperasian Rele diferensial⁷

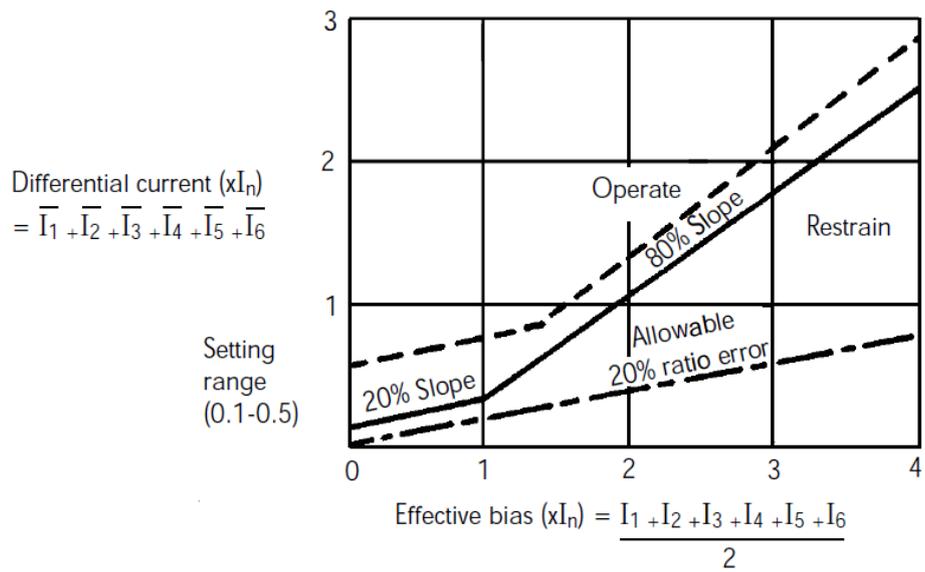
Perubahan tap tegangan (perubahan posisi *tap changer*) pada transformator tenaga oleh on load tap changer (OLTC) yang menyebabkan CT mismatch juga ikut berubah. Kesalahan akurasi CT, Perbedaan kesalahan CT di daerah jenuh (Saturasi CT), dan *Inrush current* pada saat transformator *energize* menimbulkan *unbalances current* (I_{μ}) yang bersifat transient Untuk mengatasi masalah *unbalance current* (I_{μ}) pada rele diferensial caranya dengan menambahkan kumparan yang menahan bekerjanya rele di daerah I_{μ} . Kumparan ini disebut *Restraining Coil*, sedangkan kumparan yang mengerjakan rele tersebut disebut *Operating Coil*. Arus diferensial didapat dari menjumlahkan komponen arus sekunder perfasa di belitan 1 ($|\vec{I}_1|$) dan belitan 2 ($|\vec{I}_2|$) secara vektor perfasa. Jika arus berlawanan dalam arti yang satu menuju rele dan yang yang lainnya meninggalkan rele, maka akan saling mengurangi dan sebaliknya jika arus searah berarti yang kedua-duanya menuju atau meninggalkan rele, maka akan saling menjumlahkan.

Arus penahan (*restrain*) didapat dari arus maksimal komponen arus sekunder perfasa di belitan 1 ($|\vec{I}_1|$) dan belitan 2 ($|\vec{I}_2|$) Slope didapat dengan membagi antara komponen arus diferensial dengan arus penahan. Slope 1 akan menentukan arus diferensial dan arus penahan pada saat kondisi normal dan

memastikan sensitifitas rele pada saat gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil. Sedangkan Slope 2 berguna supaya rele tidak kerja oleh gangguan eksternal yang berarus sangat besar sehingga salah satu CT mengalami saturasi (diset dengan slope lebih dari 50%).

$$\% \text{ Slope} = \frac{Id}{Ir} \times 100\% \dots\dots\dots (2.6)^7$$

Pada Gambar 2.11 halaman berikut merupakan karakteristik rele diferensial. Daerah di atas kurva adalah daerah kerja relai diferensial, sedangkan pada daerah di bawah kurva, relai tidak akan bekerja.



Gambar 2.11 Karakteristik Rele Diferensial Bias Tipe MBCH⁸

2.12 Pemasangan Rele Diferensial

Dalam pemasangan rele diferensial pada transformator daya, sering mengalami kesulitan ketepatan kerja rele, sehingga pada akhirnya rele akan mengalami salah kerja. Salah kerja pada rele pada rele diferensial disebabkan oleh hubungan transformator daya sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah sering berbeda, sehingga terjadi pergeseran fasa dan perbandingan transformasi dari

⁸ Manual book, differential relay type mbch

pada transformator-transformator arusnya menjadi tidak sesuai lagi. Sehubungan dengan pemasangan rele diferensial ke transformator daya maka perlu sekali untuk mengetahui syarat pemasangan rele diferensial tersebut yaitu :

1. Besar arus yang masuk ke rele diferensial harus sama
2. Fasa arus tersebut harus berlawanan
3. Untuk terpenuhinya pemasangan rele pada transformator daya, maka diperlukan transformator arus bantu yang berfungsi untuk mencocokkan arus yang masuk ke rele dan mencocokkan pergeseran fasa dari arus-arus yang akan masuk ke rele.

Dalam penyetelan rele diferensial diperlukan beberapa pertimbangan teknis sebagai berikut :

1. Selektifitas relai terhadap gangguan eksternal.
 - Kedua sisi trafo arus yang digunakan harus mempunyai rasio dan karakteristik yang tipikal.
 - Polaritas trafo arus harus betul.
2. Pengaruh kejenuhan CT utama dan ACT akan mengakibatkan arus sekunder yang melalui relai tidak sama.
3. Pengaruh tap ACT dapat mengakibatkan selisih arus antara primer dan sekunder trafo.
4. Pengaruh adanya OLTC (*On Load Tap Changer*) pada trafo daya dimana pada waktu operasi perbandingan transformasinya berubah–ubah mengikuti tegangan yang masuk sementara tap CT / ACT tidak mengalami perubahan.
5. Pengaruh kesalahan (error) yang harus dikompensasi dalam menentukan setelan kecuraman (slope) yaitu :
 - Kesalahan sadapan : 10%
 - Kesalahan trafo arus CT : 10%
 - Mismatch : 4%
 - Arus eksitasi : 1%
 - Faktor keamanan : 5%

Maka penyetelan slope adalah sebagai berikut :

Slope-1 : 25 – 35 % dan Slope-2 : 50 – 70 %.⁹

2.13 Setting Rele Diferensial

1. Menentukan CT ratio

Pemilihan CT ratio disesuaikan dengan alat ukur dan proteksi. Pemilihan ratio CT dengan kualitas baik akan memberikan perlindungan sistem yang baik pula. Rele diferensial tergantung terhadap karakteristik CT. Jika karakteristik CT bekerja dengan baik, maka sistem akan terlindungi oleh rele diferensial secara optimal. CT ditempatkan pada kedua sisi sisi peralatan yang diamankan.

2. Tap auxiliary current transformer (ACT)

Auxiliary CT adalah CT bantu yang berguna untuk menyesuaikan besar arus yang masuk ke relai diferensial akibat proses pergeseran fasa oleh transformator tenaga dan beda tegangan primer dan sekunder transformator tenaga. Untuk pemilihan tap ACT sama dengan CT dan penempatan CT auxiliary diletakkan pada sisi primer yang CT dihubung Y untuk menyesuaikan arus yang masuk ke rele diferensial. Untuk menghitung nilai tap rasio dari ACT menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{Tap}{N} = \frac{I_x}{I_y} \dots\dots\dots (2.7)^{10}$$

Dimana :

Tap : Tap ACT

N : Pengenal sekunder ACT

I_x : arus pada sisi transformator yang hendak disesuaikan

I_y : arus pada sisi lainnya

Nilai I_x dan I_y berdasarkan arus yang hendak disesuaikan dalam hal ini kajian penyetulan ini menyesuaikan arus pada sisi primer transformator (dimisalkan I_x) agar sama besar dengan arus pada sisi lainnya yaitu sisi sekunder (dimisalkan I_y) dari transformator yang mengalir ke rele.

⁹ Buku Pedoman O & M Proteksi, 2007, PT.PLN (Persero)

¹⁰ Hazairin Samaulah, Lampiran 2 & Ir. J. Soekarto, kursus proteksi pada pembangkit, 2001

3. Arus nominal yang melalui rele diferensial

Untuk mencari arus yang melalui rele dapat ditentukan dengan persamaan berikut yaitu :

$$I_p = \frac{I_{N1}}{KCT\ 1} \dots\dots\dots (2.8)^{11}$$

$$I_s = \frac{I_{N2}}{KCT\ 2} \dots\dots\dots (2.9)^{11}$$

Keterangan :

I_s = Arus Sekunder yang melewati rele

I_p = Arus Primer yang melewati Rele

I_N = arus nominal transformator

KCT = Ratio CT

4. Arus penyetelan Rele Diferensial

Untuk menentukan arus setting rele diferensial dapat menggunakan persamaan berikut :

$$I_s = \text{Slope \%} \times I_r \dots\dots\dots (2.10)^7$$

Dimana :

I_s = Arus setting dasar

Slope % = untuk tipe MBCH (10% - 50%)

I_r = Arus yang mengalir pada kumparan penahan rele diferensial

2.13 Rele Diferensial Tipe MBCH12

Penyetelan arus pada rele diferensial MBCH12 dilakukan dengan cara menekan menggeser *switch* pada *front* panel rele diferensial, penyetelan arus pada rele dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\Sigma = \frac{I_s}{I_n} \dots\dots\dots (2.11)^{12}$$

¹¹ Ir. Wahyudi Sarimun, Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik, Hal 173

¹² Name Plate Differential Relay type MBCH12

Dimana

I_s = Arus setting rele diferensial

I_n = Arus nominal rele diferensial

Pada rele diferensial MBCH12, nilai penyetelan arus adalah 0,1 sampai 0,5 ($\Sigma = 0,1 \sim 0,5$), sehingga batas arus penyetelan rele adalah 0,5 A sampai 2,5 A ($I_s = 0,5 \text{ A} \sim 2,5 \text{ A}$). Dibawah ini merupakan gambar rele diferensial tipe MBCH12 yang terpasang di Gardu Induk Simpang Tiga.



Gambar 2.12 Rele Diferensial Tipe MBCH12

Keterangan

Nomor 1 = merupakan switch untuk melakukan penyetelan arus rele

Nomor 2 = Lampu indikator trip

Nomor 3 = Tombol *reset* yang berguna untuk mereset rele