

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Untuk membantu pembuatan Proyek Akhir yang membahas tentang Setting Relay Differensial Pada Generator Transformator 13,8/150 kV pada unit 2 PLTP Star Energy Wayang Windu. dibutuhkan adanya beberapa referensi yang dapat menjadi acuan penulis dalam melakukan penelitian.

(Fachrul Muhammad Ramdhani, 2013) dalam makalahnya yang berjudul studi penyetelan relai differensial pada transformator tenaga 13,8/150 kV di PT Indonesian Power UBP Kamojang Unit PLTP Darajat. Membahas mengenai pyetelan relai diferensial terhadap spesifikasi tranformator yang digunakan pada PLTP PT Indonesian Power UBP Kamojang.

(Junior Indra Wahana, 2014) dalam makalahnya yang berjudul *setting relay differensial* pada gardu induk kaliwungu guna menghindari kegagalan proteksi. Membahas tantang perbandingan perhitungan penyetelan dengan hasil pengujian differensial serta simulai pengujian pada software.

2.2 LANDASAN TEORI

2.2.1 Transformator

Transformator, atau kerap disebut dengan 'trafo', merupakan suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandengan magnet yang berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Trafo digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan trafo dalam sistem tenaga memungkinkan pemilihan tegangan yang sesuai secara ekonomis dan teknis untuk kebutuhan beban atau permintaan konsumen, misalnya

kebutuhan akan tegangan tinggi dalam proses transmisi daya listrik jarak jauh.

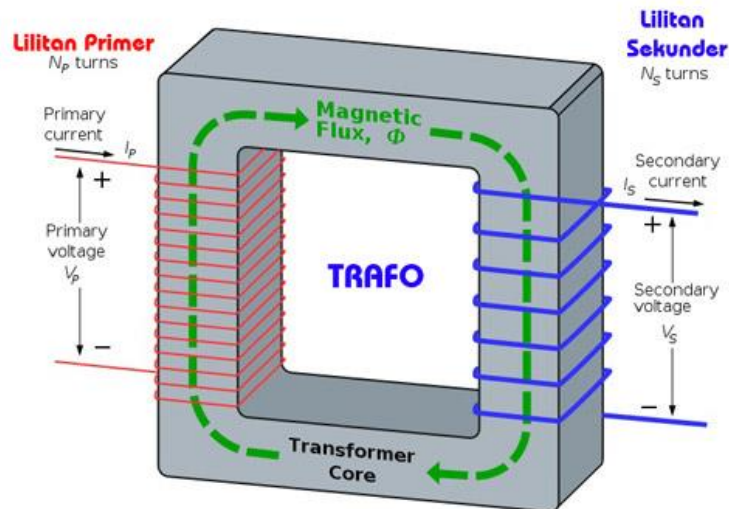


Gambar 2.1 Transformator Tenaga

1. Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja transformator berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik dan Hukum Faraday, dimana sebuah trafo akan bekerja jika terdapat perubahan fluks magnetik. Maka dari itu trafo hanya bekerja pada arus bolak-balik (AC) dan tidak bekerja pada arus searah (DC). Arus bolak-balik yang mengalir pada kumparan primer menimbulkan arus yang berubah-ubah pula sehingga fluks magnetik akan mengalir melalui inti besi dan melewati kumparan sekunder.

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



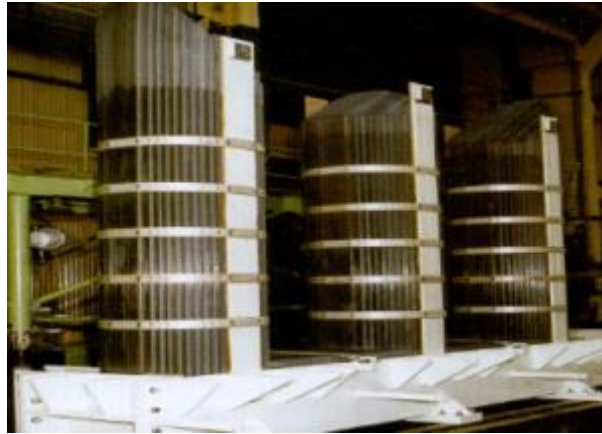
Gambar 2.2 Fluks pada transformator

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

2.2.2 Bagian Utama Transformer

1. *Electromagnetic Circuit* (Inti Besi)

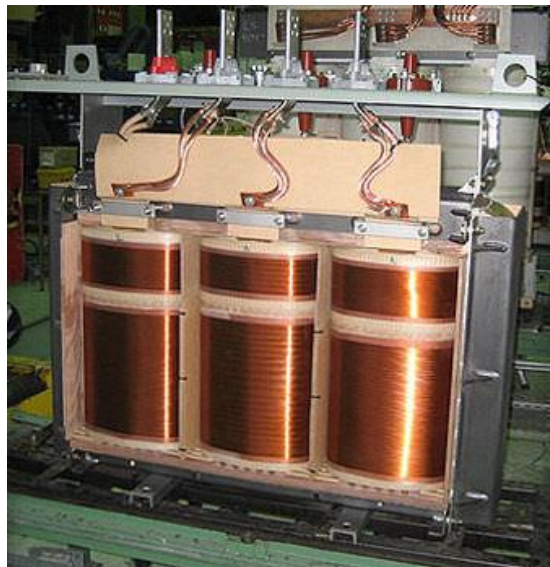
Inti besi digunakan sebagai media mengalirnya flux yang timbul akibat induksi arus bolak balik pada kumparan yang mengelilingi inti besi sehingga dapat menginduksi kembali ke kumparan yang lain. Dibentuk dari lempengan – lempengan besi tipis berisolasi dengan maksud untuk mengurangi eddy current yang merupakan arus sirkulasi pada inti besi hasil induksi medan magnet, dimana arus tersebut akan mengakibatkan rugi - rugi (losses).



Gambar 2.3 Inti besi tafo tenaga

2. *Current carying circuit (Winding)*

Kumparan transformator terdiri dari lilitan kawat berisolasi dan membentuk kumparan. Kawat yang dipakai adalah kawat tembaga berisolasi yang berbentuk bulat atau plat. dimana saat arus bolak balik mengalir pada belitan tembaga tersebut, inti besi akan terinduksi dan menimbulkan flux magnetik.



Gambar 2.4 Belitan tranformator

Kumparan-kumparan transformator di beri isolasi baik terhadap kumparan lain maupun inti besinya. Bahan isolasi berbentuk padat seperti kertas prespan, pertinak, dan lainnya.

3. *Bushing*

Bushing merupakan sarana penghubung antara belitan dengan jaringan luar. Bushing terdiri dari sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator. Isolator tersebut berfungsi sebagai penyekat antara konduktor bushing dengan body main tank transformator.



Gambar 2.5 *Bushing* Tranformator

Secara garis besar bushing dapat dibagi menjadi empat bagian utama yaitu isolasi, konduktor, klem koneksi, dan asesoris. Isolasi pada bushing terdiri dari dua jenis yaitu oil impregnated paper dan resin impregnated paper. Pada tipe oil impregnated paper isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan minyak isolasi sedangkan pada tipe resin impregnated paper isolasi yang digunakan adalah kertas isolasi dan resin.

4. *Pendingin (Radiator)*

Suhu pada trafo yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh gan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu . Suhu operasi yang

tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi kertas pada trafo. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan.



Gambar 2.6 Radiator Transformator

Minyak isolasi trafo selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip – sirip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan.

4. *Oil presevation & expansion* (Konservator)

Saat terjadi kenaikan suhu operasi pada trafo, minyak isolasi akan memuai sehingga volumenya bertambah. Sebaliknya saat terjadi penurunan suhu operasi, maka minyak akan menyusut dan volume minyak akan turun. Konservator digunakan untuk menampung minyak pada saat trafo mengalami kenaikan suhu.

Seiring dengan naik turunnya volume minyak di konservator akibat pemuaian dan penyusutan minyak, volume udara di dalam konservator pun akan bertambah dan berkurang. Penambahan atau pembuangan udara di dalam konservator akan berhubungan dengan

udara luar. Agar minyak isolasi trafo tidak terkontaminasi oleh kelembaban dan oksigen dari luar (untuk tipe konservator tanpa rubber bag), maka udara yang akan masuk kedalam konservator akan difilter melalui silicagel sehingga kandungan uap air dapat diminimalkan.



Gambar 2.7 Gambar *Konservator*

5. *Dielectric* (Minyak isolasi transformator & Isolasi Kertas)

Minyak isolasi pada transformator berfungsi sebagai media isolasi, pendingin dan pelindung belitan dari oksidasi. Minyak isolasi trafo merupakan minyak mineral yang secara umum terbagi menjadi tiga jenis, yaitu parafinik, naphthanik dan aromatik. Antara ketiga jenis minyak dasar tersebut tidak boleh dilakukan pencampuran karena memiliki sifat fisik maupun kimia yang berbeda.

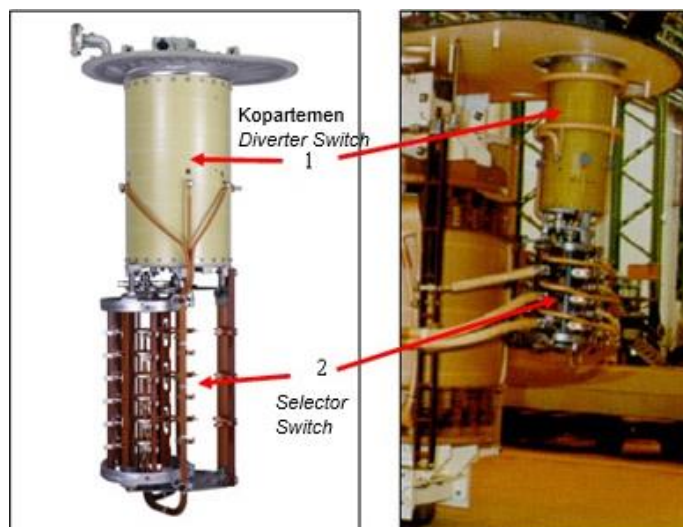
Didalam standar IEC 60422 telah dicantumkan parameter-parameter minyak isolasi dengan batasan-batasan minimum untuk minyak isolasi yang baru dimasukkan kedalam peralatan sebelum energize.



Gambar 2.8 Minyak Isolasi Transformator

6. Tap Changer

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



Gambar 2.9 Tap Changer Transformator

Ada dua cara kerja tap chager :

- a. Mengubah tap dalam keadaan trafo tanpa beban. *Tap changer* yang hanya bisa beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan tidak berbeban disebut “*Off Load Tap Changer*” dan hanya dapat dioperasikan manual.
- b. Mengubah *tap* trafo dalam keadaan berbeban. *Tap Changer* yang dapat beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan berbeban, disebut “ *On Load Tap Changer*” (OLTC) dan dapat dioperasikan secara manual atau otomatis.

2.2.3 Dasar Proteksi

Proteksi tenaga listrik merupakan sistem pengamanan yang dilakukan terhadap peralatan-peralatan listrik, yang terpasang pada sistem tenaga listrik tersebut. Misalnya generator, transformator, jaringan transmisi / distribusi dan lain-lain terhadap kondisi operasi abnormal dari sistem itu sendiri.

Salah satu sumber masalah yang menentukan kelangsungan pelayanan adalah hubung-singkat, yang terjadi tiba-tiba dan kadang-kadang mengubah sistem operasinya secara dahsyat Meskipun hubung singkat sebenarnya peristiwa yang agak jarang terjadi, tetapi adalah penting sekali secepat mungkin mengambil langkah-langkah untuk menghilangkan/memisahkan bagian yang mengalami gangguan itu dari sistem. Dalam sistem-sistem tenaga yang modern, proses meniadakan hubung singkat ini dilaksanakan secara otomatis, yaitu tanpa campur tangan manusia. Peralatan yang melakukan tugas ini secara bersama dikenal sebagai sistem perlindungan atau sistem pengamanan, jadi dapat dikatakan secara umum sistem perlindungan terdiri dari *rele pengaman* dan peralatan *pemutus rangkaian* atau lebih dikenal sebagai Pemutus Tenaga (PMT).

Rele pengaman dan sistem perelean mendeteksi keadaan tidak-normal, seperti gangguan pada sirkit listrik dan mengoperasikan secara otomatis peralatan pemutus rangkaian guna memisahkan peralatan yang terganggu dari sistem secepat mungkin. Memisahkan bagian yang terganggu secepat mungkin diperlukan agar tidak merusak peralatan (akibat arus gangguan yang besar) dan mencegah efek dari gangguan tersebut menjalar ke sistem. Fungsi proteksi adalah memisahkan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainya dapat terus beroperasi dengan cara sebagai berikut :

1. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankannya (*fault detection*).
2. Melepaskan bagian sistem yang terganggu (*fault cleaning*).
3. Memberitahu operator adanya gangguan dan lainnya (*announciation*).

2.2.4 Persyaratan Penting Pengamanan

Menurut (Hasan Basri, 2002) Sifat-sifat tertentu suatu rele merupakan ukuran yang penting dari kualitas perilaku. Seperti yang telah dijelaskan sebelum ini, menunjukkan bahwa untuk menjalankan fungsinya dengan baik sebuah rele harus bekerja dengan cepat dan dapat diandalkan, yaitu dapat benar-benar diharapkan bekerjanya dan selektif. Oleh sebab itu, setiap sistem perlindungan yang bertugas memisahkan bagian yang terganggu, disyaratkan dapat memenuhi empat persyaratan pokok antara lain; (1) dapat diandalkan; (2) selektif; (3) cepat operasinya; dan (4) diskriminasi. Tanpa dapat diandalkan dan selektif maka perlindungan tersebut tidak ada gunanya.

1. Dapat Diandalkan Atau Keandalan

Keandalan adalah istilah kuantitatif. Kebanyakan dinyatakan sebagai kemungkinan terjadinya kegagalan, merupakan ukuran tingkat sistem perlindungan tersebut terhadap fungsi-fungsinya, yaitu dapat dipercaya bekerja atau unjuk-kerjanya sesuai dengan apa yang

diinginkan dan dijamin aman yaitu terhindar dari operasi yang tidak diperlukan.

2. Selektif

Kualitas sistem perlindungan ditentukan oleh dapat tidaknya ia membedakan antara dua kondisi, yaitu kondisi dimana diinginkan harus beroperasi, dan pada kondisi lainnya harus tidak ber-operasi. Dengan kata lain, selektifitas suatu sistem perlindungan ialah mampu mengenal adanya gangguan dan mentrip seminimum mungkin jumlah PMT dalam rangka meniadakan gangguan. Sifat selektif suatu rele berarti bahwa bagian yang dipisahkan dari sistem setelah timbulnya gangguan harus sekecil mungkin.

3. Cepat Beroperasinya

Rele pengaman perlu segera beraksi, ini dikaremkakan hal-hal berikut:

- a. Waktu kritis clearing tidak dilampaui.
- b. Peralatan-peralatan listrik dapat rusak bila arus yang cukup besar mengalir dalam waktu yang cukup lama.
- c. Gangguan yang menetap akan menghasilkan tegangan yang rendah dan menyebabkan motor-motor di pabrik berputar pelan dan berbeban lebih.

Kecepatan beroperasi secara langsung memberi efek terhadap stabilitas secara umum dari sistem tenaganya. Waktu yang singkat dari gangguan tersebut diikuti dengan mentransfer lebih banyak beban antara beberapa titik tertentu pada sistem tenaga tanpa kehilangan sinkronisasi.

4. Diskriminasi

Perlindungan harus cukup sensitif kerjanya dapat diandalkan dalam daerah pengamannya, pada kondisi gangguan minimum disamping itu stabil pada beban maksimum atau dalam kondisi gangguan . Rele harus dapat membedakan antara gangguan dan beban lebih. Rele tidak bekerja pada waktu terjadi arus-luapan (inrush current) yaitu pada trafo dihubungkan ke-jala, yang besarnya 5 sampai 7 kali dan arus beban

penuhnya. Diskriminasi antara arus gangguan dan arus lebih dapat dilakukan dengan menggunakan karakteristik dari rele yang bersangkutan atau dapat juga dicapai dengan menghubungkan peralatan bantu, seperti rele tegangan minimum. Perlu dicatat bahwa kata diskriminasi kadang-kadang termasuk digunakan untuk selektifitas.

2.2.5 Jenis Gangguan Pada Transformator

Gangguan pada sistem jaringan tenaga listrik baik pada transmisi atau distribusi adalah suatu keadaan dimana terjadi suatu keadaan yang menyebabkan kestabilan penyaluran tenaga listrik terganggu dan usia peralatan tenaga listrik juga mengalami penurunan. Secara umum ada 2 jenis gangguan pada transformator, yaitu :

1. Gangguan yang berasal dari sistem.
Sedangkan penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem adalah:
 - a. Tegangan dan arus yang melebihi tegangan pada kondisi normal atau abnormal
 - b. Pemasangan peralatan pada jaringan tenaga listrik yang kurang baik akibat faktor kelalaian manusia.
 - c. Gangguan akibat usia peralatan yang mengakibatkan adanya karat atau penurunan standar pabrikan.
 - d. Gangguan akibat adanya beban lebih yang tidak sanggup ditampung oleh suatu peralatan. Kerusakan material yang kemungkinan diakibatkan dari kerusakan pabrik seperti isolator pecah atau retak, kawat putus, atau kabel cacat isolasinya.
2. Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem dapat disebabkan antara lain :
 - a. Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan yang tidak hati-hati seperti pemasangan yang kurang kencang atau pemasangan yang tidak sesuai standar, gangguan ini disebabkan oleh faktor manusia atau *human error*.

- b. Gangguan akibat pengaruh dari cuaca dan lingkungan seperti hujan, angin, petir serta hewan dan tumbuhan. Pada gangguan yang terjadi karena petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembusnya isolasi peralatan (*breakdown*).
- 3. Gangguan sendiri dapat dilihat dari lama dari waktu gangguan, jika dilihat dari waktunya maka dapat dibagi menjadi :
 - a. Gangguan yang bersifat temporer atau sementara, yang memiliki waktu gangguan singkat dan dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sesaat bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendiri ataupun karena bekerjanya alat pengaman maka gangguan tersebut dapat berubah menjadi gangguan permanen. Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus karena terbukanya circuit breaker oleh rele pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut dapat dioperasikan kembali.
 - b. Gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskan jaringan dari gangguan diperlukan tindakan perbaikan atau menghilangkan penyebab gangguan tersebut. Pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru bisa dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti dengan peralatan yang kondisinya normal.

Pada saat terjadi gangguan arus yang mengalir sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan, dimana arus gangguan tersebut mempunyai nilai yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diijinkan untuk melewati peralatan tersebut, sehingga terjadi kenaikan temperatur yang pada dasarnya ditimbulkan oleh arus yang besar serta

dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan karena setelah efek thermal biasanya akan rating terjadi efek mekanik yang mengakibatkan salah satu peralatan mengalami retak, putus atau bahkan pecah.

4. Ada beberapa penyebab munculnya gangguan tersebut penyebab munculnya gangguan tersebut adalah sebagai berikut :

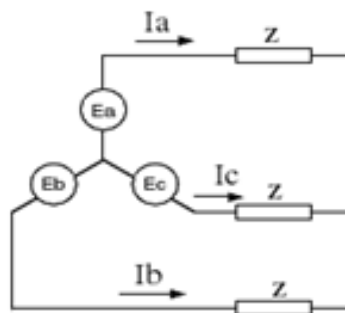
a. Gangguan akibat beban lebih atau *overload*

Gangguan ini terjadi ketika suatu peralatan dibebani dengan kapasitas melebihi kapasitas maksimal yang diijinkan oleh pabrikan. Gangguan jenis ini apabila tidak cepat dihilangkan atau ditangani tentunya akan merusak peralatan yang dibebani lebih tersebut.

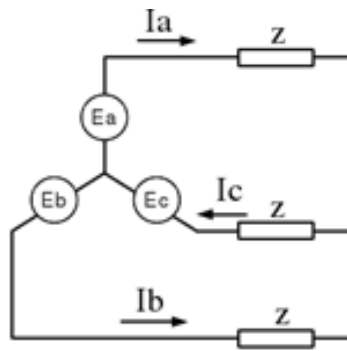
b. Gangguan hubung singkat

Gangguan hubung singkat ini dapat terjadi antara fasa dengan fasa atau fasa dengan tanah.

1) Gangguan antar fasa

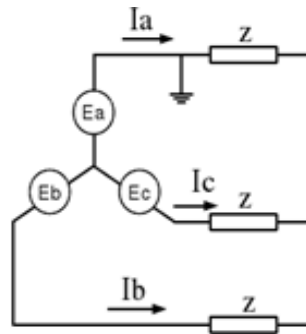


Gambar 2.10 Gangguan hubung singkat 3 fasa



Gambar 2.11 Gangguan hubung singkat 2 fasa

2) Gangguan phasa ke tanah



Gambar 2.12 Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

Gangguan hubung singkat ini dapat dibedakan menjadi gangguan hubung singkat simetri dan asimetri. Gangguan simetri merupakan gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan untuk gangguan hubung singkat asimetri terjadi selain yang diakibatkan oleh hubung singkat 3 fasa. Gangguan hubung singkat ini dapat mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan dapat pula mengakibatkan kenaikan tegangan pada fasa yang lain.

Adapun akibat-akibat yang ditimbulkan akibat adanya gangguan hubung singkat antara lain :

- 1) Rusaknya peralatan listrik yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan arus-arus yang besar, arus tak seimbang maupun tegangan-tegangan rendah.
- 2) Berkurangnya stabilitas daya system tersebut.
- 3) Terhentinya kontinuitas pelayanan listrik kepada konsumen apabila gangguan hubung singkat tersebut sampai mengakibatkan bekerjanya CB yang biasa disebut dengan pemadaman listrik.

c. Gangguan tegangan lebih

Gangguan tegangan lebih ini diakibatkan oleh alam maupun sistem. Gangguan ini diakibatkan oleh :

- 1) Gangguan petir
- 2) Gangguan surja hubung peralatan

2.2.6 Proteksi Transformer

Transformer tenaga dapat dikatakan sebagai jantung dari operasi penyaluran tenaga listrik. Transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal (kalau bisa terus menerus tanpa berhenti). Mengingat kebutuhan operasi seperti itu merupakan aset yang sangat mahal, maka diperlukan suatu sistem proteksi yang andal serta sistem proteksi yang andal serta sistem pemeliharaan yang tepat.

Pada sistem kerjanya, transformator tenaga sering mendapatkan berbagai macam gangguan. Sehingga diperlukan tindakan untuk mengurangi atau mengurangi atau menghindari kerusakan-kerusakan yang dapat terjadi pada transformator tersebut. Alat-alat yang dapat melindungi transformator tersebut sering juga disebut dengan relai pengaman atau relai proteksi.

Sifat alat yaitu sebagai pendeteksi apabila terdapat keadaan atau kondisi tidak normal dalam sistem tenaga listrik dengan cara mengukur

suatu besaran listrik, lalu memberikan perintah kepada *tripping coil*, pemutus maupun alarm untuk memberi tanggapan atau respon terhadap besaran yang dideteksi. Selain itu relai proteksi hanya melokalisir bagian-bagian yang terganggu saja.

2.2.7 Macam Proteksi Transformer

Untuk mengatasi berbagai macam gangguan pada transformator dibutuhkan alat-alat proteksi yang dapat mengamankan transformator dari kerusakan, diantaranya :

1. Relai Bucholz

Relai bucholz adalah relai yang berfungsi untuk mendeteksi gangguan di dalam transformator yang menimbulkan gas

2. Relai Suhu

Relai suhu berfungsi untuk mencegah/mengamankan transformator dari kerusakan isolasi kumparan, akibat adanya panas lebih yang disebabkan beban lebih. Besaran yang diukur di dalam relai ini adalah kenaikan temperatur.

3. Relai Tekanan Lebih

Relai ini berfungsi hampir sama seperti relai *bucholz*, yakni pengamanan terhadap di dalam transformator. Bedanya relai ini hanya bekerja oleh kenaikan tekanan gas yang tiba-tiba dan langsung menjatuhkan PMT.

4. Relai Arus Lebih

Relai arus lebih dengan kode peralatan 50T ini digunakan untuk digunakan untuk mengamankan terhadap gangguan yang terjadi di transformator atau pembebanan yang berlebih pada transformator. Relai ini bekerja bila terdapat arus yang melebihi dari batas keamanan transformator.

5. Relai Differensial

Relai Differensial berfungsi mengamankan transformator dari gangguan di dalam transformator antara lain, hubung singkat antara kumparan dengan kumparan atau kumparan dengan tangki.

6. Relai Hubung Tanah Terbatas

Relai hubung tanah terbatas atau *Restricted Earth Fault* (REF) berfungsi untuk mengamankan transformator bila ada gangguan satu fasa ke tanah di dekat titik netral transformator yang baik tidak dirasakan oleh relai differensial.

7. Relai Thermis

Untuk mengamankan transformator terhadap suhu yang berlebih dipakai relai termis yang menggunakan sirkuit simulasi untuk mendeteksi suhu lilitan transformator yang pada tahap pertama menyembunyikan alarm dan pada tahap kedua menjatuhkan breaker transformator. Selisih suhu antara kedua tahap ini sebaiknya 5°C sehingga operator dapat mengambil tindakan langkah persiapan seperlunya. Relai ini dipasang pada transformator berkapasitas diatas 10MVA.

8. Relai Jansen

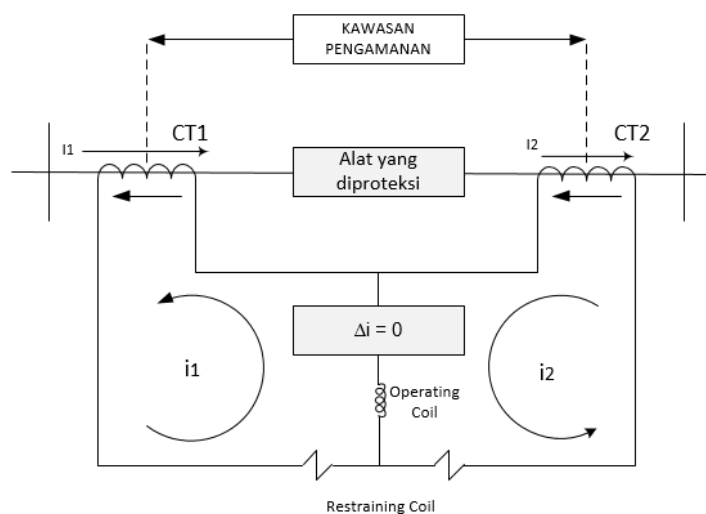
Relai jansen berfungsi untuk mengamankan transformator di dalam *tap changer* yang menimbulkan gas dan dipasang pada pipa menuju konservator.

2.2.8 Proteksi Relai Differensial pada Transformator

Relai differensial adalah suatu relai pengaman utama sistem tenaga listrik yang bekerja seketika tanpa koordinasi relai disekitarnya, sehingga waktu kerja dapat dibuat secepat mungkin. Daerah pengamannya dibatasi oleh pasangan trafo arus dimana relai differensial dipasang, sehingga relai differensial tidak dapat dijadikan pengaman cadangan untuk daerah berikutnya. proteksi relay differensial bekerja dengan prinsip keseimbangan arus. Penggunaan relai differensial sebagai relai pengaman, antara lain digunakan pada generator, transformator daya dan busbar.

1. Prinsip Kerja Relay Differensial

Prinsip kerja relay proteksi differensial membandingkan dua arus yang masuk ke relai, apabila pada sisi primer trafo arus (CT_1) dialiri arus I_1 , maka pada sisi primer trafo arus (CT_2) akan mengalir arus I_2 sisi skunder kedua trafo arus (CT_1 dan CT_2), akan mengalir arus i_1 dan i_2 yang besarnya tergantung dari rasio yang terpasang, jika besarnya $i_1 = i_2$ maka relai tidak akan bekerja karena tidak ada selisih arus ($\Delta i = 0$), tetapi jika besarnya arus $i_1 \neq i_2$ maka relai akan bekerja, karean adanya selisih arus ($\Delta i \neq 0$). Selisih arus disebut arus differensial arus inilah yang menjadi dasar bekerjanya relai differensial. Dalam keadaan normal/tidak terjadi gangguan, arus yang mengalir ke relai pengaman, arus hanya bersikulasi dalam sirkit skunder kedua trafo arus (CT). Untuk darah pengaman dari relai differensial dibatasi antara dua buat CT (lihat gambar 2.10).



Gambar 2.13 Proteksi Relai Differensial

Agar relai differensial dalam kondisi normal (tidak terjadi gangguan) relai tidak bekerja, maka persyaratannya adalah sebagai berikut:

- a. Arus yang masuk ke relai differensial besarnya sama ($i_1 = i_2$)

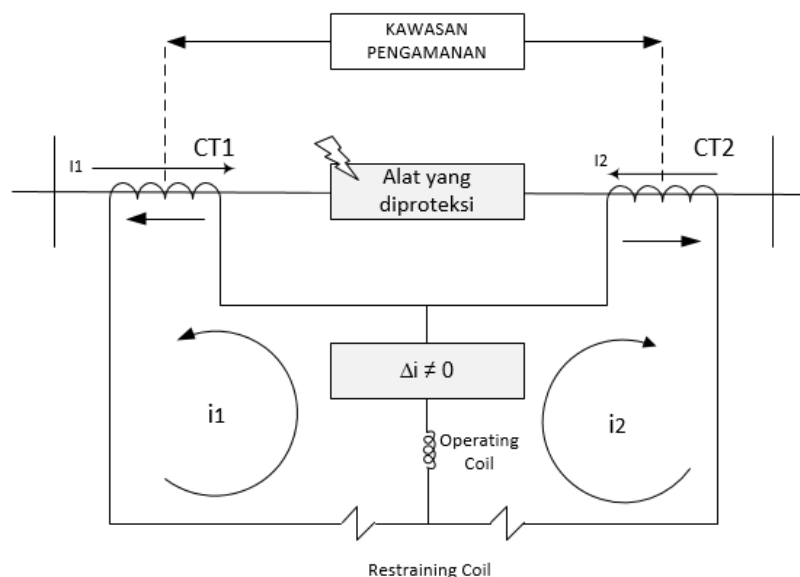
- b. Polaritas arus yang masuk ke relai differensial berlawanan yaitu (i_1 dan i_2) berbeda sudut 180° .

2. Kerja Proteksi Relai Differensial Jika Terjadi Gangguan

Sistem kerja relai differensial dapat dibagi pada dua daerah sistem kerja yaitu jika gangguan terjadi di dalam daerah pengamanannya dan diluar daerah pengamanannya.

a. Jika Terjadi Gangguan di Dalam Daerah Pengamanannya

Jika relai differensial dipasang sebagai proteksi suatu peralatan dan terjadi gangguan di daerah pengamanannya maka relai differensial harus bekerja, seperti terlihat pada gambar 2.11 pada saat CT_1 mengalir arus I_1 maka pada CT_2 tidak ada arus yang mengalir ($I_2 = 0$) yang mengakibatkan $i_1 \neq i_2$ ($\Delta i \neq 0$) sehingga relai differensial bekerja.

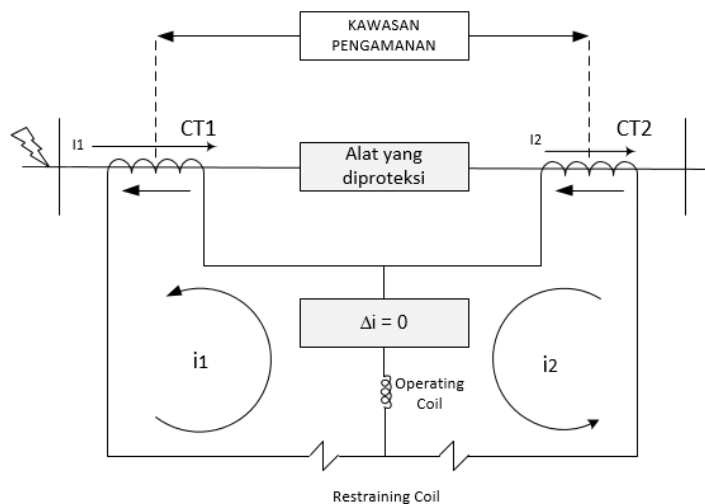


Gambar 2.14 Gangguan di Dalam Daerah Pengamanan

b. Jika Terjadi Gangguan di Luar Daerah Pengamanan

Apabila terjadi gangguan diluar daerah pengamanannya maka relai differensial tidak bekerja lihat gambar 2.12. Pada saat sisi primer kedua CT dialiri arus I_1 dan I_2 , dengan adanya rasio CT_1 dan CT_2

yang sedemikian, maka besar arus yang mengalir pada sekunder CT₁ dan CT₂ yang menuju relai besarnya sama ($i_1 = i_2$) atau dengan kata lain tidak ada selisih arus yang mengalir pada relai sehingga relai tidak bekerja karena sirkulasi arus gangguan diluar daerah pengamanan kerja relai differensial tidak mempengaruhi arus yang mengalir pada kedua CT yang terpasang pada peralatan yang diproteksi, karena apabila pada arus primer CT₁ dan CT₂ mengalir arus gangguan dengan adanya perbandingan rasio trafo arus pada sisi sekunder juga akan mengalir arus gangguan yang besarnya $i_1 = i_2$ sehingga relai differensial tidak bekerja karena tidak ada perbandingan arus ($\Delta i = 0$).

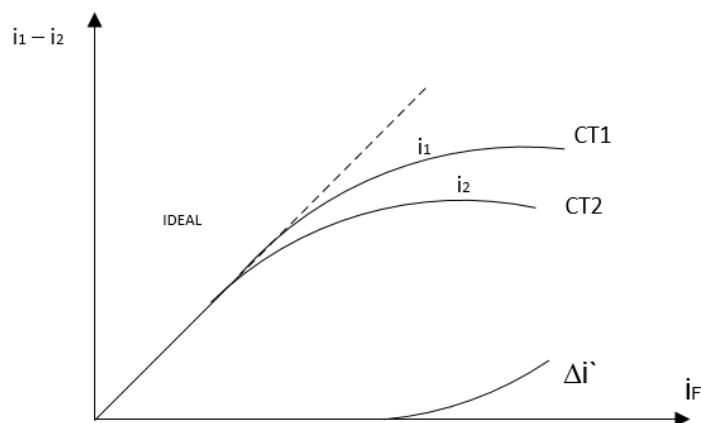


Gambar 2.15 Gangguan di Luar daerah pengamanan

2.2.9 Karakteristik Relai Differensial

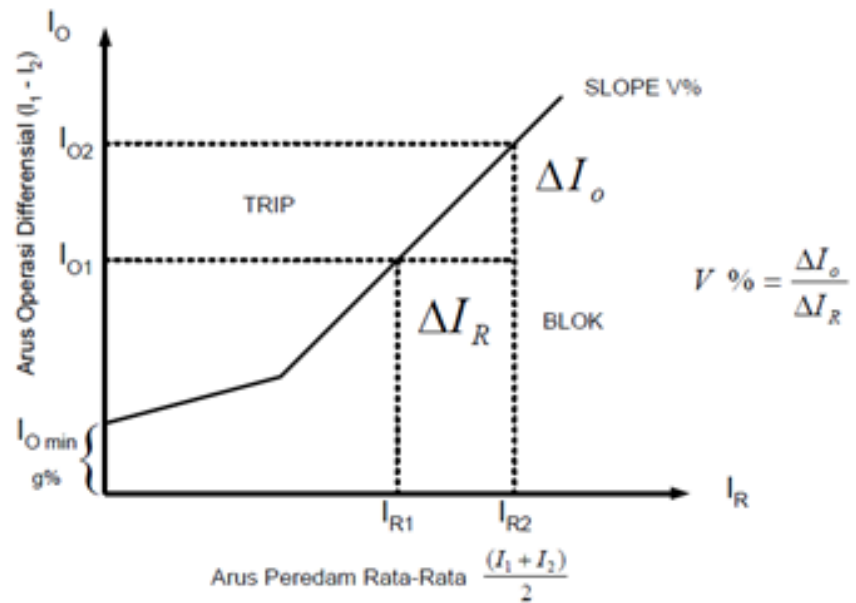
Karakteristik relai differensial dibuat sejalan dengan *unbalance current*, untuk menghindari kesalahan kerja titik pada saat kondisi normal (tidak terjadi gangguan) di dalam daerah pengamanan, ada kemungkinan muncul arus tidak seimbang ($\Delta i''$) sehingga relai pengaman salah kerja. Penyebab timbulnya arus tidak seimbang ($\Delta i''$) dapat disebabkan oleh :

1. CT rasio *mismatch*, adanya pergeseran fasa akibat belitan transformator tenaga terhubung (Y - Δ). Perubahan tap tegangan (perubahan posisi *tap changer*) pada transformator tenaga oleh *on load tap changer (OLTC)* juga menyebabkan CT rasio *mismatch*.
2. *Inrush Current* ketika sebuah transformator di beri tegangan (energized) pada kondisi tanpa beban (no-load), arus dengan jumlah yang sangat besar yang nilainya bisa mencapai 3 - 6 kali dari rating arus transformator akan mengalir ketika sebuah transformator tersebut di on kan, sehingga dapat mengaktifkan (trigger) Proteksi untuk meng-off-kan (trip) tranformator.
3. Karakteristik kejenuhan dari CT1 dan CT2, terutama pada arus hubung singkat yang besar yang menyebabkan arus sekunder tidak lagi linear terhadap arus primer karena kejenuhan CT.



Gambar 2.16 Karakteristik Trafo Arus

Dengan melihat adanya perbedaan arus ($\Delta i'$) diantara kedua CT yang terpasang, dibuatlah relai differensial jenis presentase (bias) yang mempunyai karakteristik (slope) seperti gambar 2.14 di bawah ini.



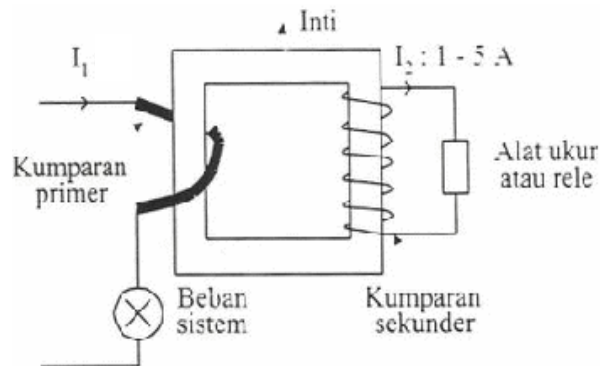
Gambar 2.17 Karakteristik relai differensial

Gambar 2.14 merupakan gambar dari karakteristik relay differential. Pada gambar tersebut terdapat dua slope, yaitu slope 1 dan slope 2. Slope tersebut didapatkan dengan cara nilai arus differential dibagi dengan arus penahan. Slope 1 menentukan besar arus differential dan arus penahan atau restrain pada saat relay dalam kondisi normal dan melihat seberapa peka relay pada saat terjadi gangguan di daerah pengaman relay dengan arus yang kecil. Sedangkan slope 2 digunakan agar relay tidak bekerja oleh gangguan eksternal atau gangguan diluar daerah pengaman relay yang menimbulkan arus gangguan yang besar sehingga salah satu CT mengalami saturasi.

2.2.10 Transformator Arus

Pada gambar 2.15 dijelaskan tentang rangkaian dari trafo arus yang pada dasarnya prinsip kerja dari trafo arus sendiri itu sama dengan trafo tenaga. Jika ada arus I_1 mengalir pada kumparan primer maka akan

timbul gaya gerak magnet $N_1 I_1$ yang mengakibatkan terbentuknya fluks pada inti besi.



Gambar 2.18 rangkaian trafo arus

Fluks tersebut menginduksi kumparan sekunder sehingga timbul gaya gerak listrik pada kumparan sekunder. Pada saat kumparan sekunder dalam kondisi tertutup maka akan mengalir arus I_2 . Arus ini menimbulkan gaya gerak magnet $N_2 I_2$ pada kumparan sekunder. Apabila trafo arus tersebut ideal atau tidak memiliki rugi-rugi maka akan didapat rumus :

$$I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2 \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

N_1 = jumlah lilitan primer

N_2 = jumlah lilitan sekunder

I_1 = arus pada lilitan primer

I_2 = arus pada lilitan sekunder

Arus yang mengalir ke kumparan sekunder yang telah turun nilainya dari sisi primer, kemudian pada sisi sekunder dirangkai secara paralel dengan kumparan sehingga keluar tegangan pada alat ukur. Untuk alat ukur sendiri adalah voltmeter karena pada rangkaian paralel adalah tegangan. Tegangan keluaran sendiri diubah dengan perhitungan satuan ampere oleh karena itu voltmeter dapat difungsikan sebagai amperemeter.

Untuk pemasangan alat-alat ukur dan alat-alat proteksi pada instalasi tegangan tinggi, menengah dan rendah diperlukan trafo arus sebagai pembanding arus yang akan masuk ke dalam alat proteksi. Adapun fungsi dari transformator arus adalah :

1. Mentransformasikan arus dari arus yang besar ke arus yang kecil untuk pengukuran dan proteksi.
2. Sebagai isolasi sirkit sekunder dari sisi primernya.
3. Memungkinkan penggunaan standar arus pengenal untuk alat sisi sekundernya.

Trafo arus sebagai proteksi memiliki spesifikasi khusus pada bagian penampang inti. Penampang inti trafo arus proteksi lebih besar dibandingkan dengan trafo arus untuk pengukuran. Ada beberapa ciri-ciri trafo arus sebagai proteksi, ciri-ciri tersebut adalah :

1. Kelas ketelitian relatif rendah.
2. Kejenuhan tinggi atau tidak cepat jenuh.
3. Proteksi atau pengamanan menggunakan arus sekunder

Tabel 2.1 letelitian trafo arus untuk proteksi

Kelas Ketelitian	Pada Arus Pengenal		Kesalan komposit pada batas ketelitian arus primer pengenal
	Kesalahan rasio	Kesalahan rasio	
5P	1%	60 Menit	5%
10P	3%	-	10%

Trafo arus dalam sistem tenaga listrik digunakan untuk keperluan pengukurann dan proteksi. Perbedaan mendasar pada kedua pemakaian diatas adalah kurva kejenuhannya.

Untuk pengukuran, memiliki kejenuhan sampai dengan 120% arus rating, hal ini untuk mengamankan meter pada saat gangguan.

Untuk Proteksi, memiliki kejenuhan cukup tinggi sampai beberapa kali arus rating.

Transformator arus untuk pengaman mempunyai kejenuhan inti lebih tinggi lagi. Sehingga walaupun ada arus besar mengalir melalui kumparannya, inti transformator belum jenuh. Hal ini dimaksudkan agar dapat memberikan sunyap arus sekunder ke relai sesuai dengan besaran arus yang melaluinya, sehingga relai dapat menentukan kecepatan kerjanya.

2.2.11 Wirinig Relai

Bila kumpuran trafo tenaga mempunyai hubungan delta maka hubungan rangkaian sekunder CT nya adalah Y. Begitu juga sebaiknya , bila hubungna trafo tenaga hubungna Y maka pada rangkaian sekunder CT nya dihungkan delta. Pemilihan hubungan rangkaian CT ini karena bilangan lonnceng trafo tenaga antara belitan primer dari sekunder. Unutuk mengembaikan bilangan lonceng ini dimana vektor arus antara CT primer dan sekunder harus 180° , maka vektor grup CT dihubungkan seperti penjelasan diatas.

Tabel 2.2 Hubungan CT pada trafo tenaga

Hubungan Trafo Tenaga	Hubungan CT
Y	Δ
Δ	Y