

BAB II

LANADASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Desy Amalia Dani melakukan penelitian mengenai analisa sistem proteksi trafo daya 150 KV pada gardu GIS Tanah Tinggi. Sistem proteksi adalah koordinasi antara saklar pemutus tenaga (PMT) dan peralatan proteksi (*relay*) dalam mengamati dan melindungi trafo daya di GIS. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa apabila rele tidak bekerja secara normal untuk mengamankan trafo daya maka PMT akan mengamankan trafo daya secara otomatis dari gangguan dengan membuka hubung pada rel/bus.

Yusnan Badruzzaman dan Farikha Himawati (2014) melakukan penelitian mengenai Keandalan Rele Differential sebagai Pengaman Utama Transformator terhadap Gangguan Arus Hubung Singkat di GIS Randugarut. Gangguan internal pada transformator dapat menyebabkan kerusakan parah pada transformator seperti yang terjadi pada GIS Randugarut. Kerusakan pada transformator tersebut disebabkan adanya gangguan eksternal dengan arus besar yang menyebabkan kerusakan internal transformator sehingga keseluruhan sistem proteksi transformator bekerja termasuk *differential relay*. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa *differential relay* bekerja sesuai dengan settingnya yaitu sebesar 0,3 Ampere dan setting waktu instant. Keandalan *differential relay* sebagai pengaman utama transformator dapat ditambah dengan mengaktifkan setting high set sebesar 8 kali I dif yang mengerjakan rele pada arus gangguan yang besar.

Tofan Aryanto (2013) melakukan penelitian mengenai frekuensi gangguan terhadap kinerja sistem proteksi pada gardu induk 150 KV Jepara. Hasil observasi tentang gangguan yang terjadi diklasifikasikan menjadi 3 jenis gangguan yaitu gangguan teknis (kerusakan pada alat), gangguan nonteknis (sambaran petir, angin, tertimpa pohon, dan lain- lain), dan gangguan yang tidak diketahui penyebabnya. Dari penelitian ini

disimpulkan bahwa Sistem proteksi pada area trafo tenaga 1 dan 2 dari tahun 2007 sampai 2012 memiliki keandalan dengan predikat cukup baik dalam mengatasi kuantitas gangguan.

Iwan wirabakti (2017) melakukan penelitian mengenai Analisis Perbandingan Kuantitas Gangguan Dan Kinerja Sistem Proteksi Trafo Tenaga Gis Dan Gi Konvensional. observasi tentang gangguan yang terjadi diklasifikasikan menjadi 3 jenis gangguan yaitu gangguan teknis (kerusakan pada alat), gangguan nonteknis (sambaran petir, angin, tertimpa pohon, dan lain- lain), dan gangguan yang tidak diketahui penyebabnya. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa Sistem proteksi pada GI Gejayan memiliki persentase keberhasilan mengamankan gangguan sebesar 100% dan GI Bantul sebesar 90%.

2.2 Gardu Induk

2.2.1 Pengertian Gardu Induk

Marco Gunawan (2013: 1) Gardu induk adalah bagian dari suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi atau distribusi, perlengkapan hubung bagi, trafo, peralatan pengaman, peralatan kontrol, dan merupakan komponen utama dalam suatu proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit kepada konsumen (beban). Fungsi utama dari gardu induk adalah sebagai pentransformasi tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi yang lainnya atau ke tegangan menengah dan sebagai pengukuran, pengawasan operasi serta pengaturan pengaman dari sistem tenaga listrik. Gardu induk merupakan bagian vital sistem tenaga listrik, selain membangkitkan Gardu induk harus mampu menyalurkan tenaga listrik dengan handal dan aman.

2.2.2 Klasifikasi Gardu Induk

Dalam buku yang diterbitkan oleh Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia (2013) gardu induk dibedakan berdasarkan:

1. Besaran Tegangan

- a. Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 275KV, 500KV
- b. Gardu induk Tegangan Tinggi (GI) 150KV dan 70KV

2. Tempat dan Kegunaan

Berdasarkan tempat, kegunaan dan tegangannya maka gardu listrik dapat dibagi menjadi:

a. Gardu Induk Transmisi

Gardu induk transmisi adalah gardu listrik yang mendapatkan daya dari satuan transmisi atau sub-transmisi suatu sistem tenaga listrik untuk kemudian menyalurkannya ke daerah beban (industri, kota dan sebagainya) melalui saluran distribusi primer.



Gambar 2.1 Gardu Induk Transmisi

(Sumber Kemendikbud 2013: 5)

b. Gardu Induk Distribusi

Gardu induk distribusi merupakan gardu induk yang memperoleh transfer daya dari saluran distribusi primer kemudian akan meneruskan tenaga listrik ke pengguna tegangan rendah



Gambar 2.2 Gardu Induk Transmisi
(Sumber Kemendikbud 2013: 5)

3. Penempatan dan Peralatannya.

Pembagian gardu listrik berdasarkan lokasinya dapat dibagi menjadi :

a. Gardu Induk Pemasang Dalam

Gardu Induk pasanag dalam adalah gardu induk yang semua komponen berada dalam ruangan tertutup.

b. Gardu Induk Pemasangan Luar

Gardu Induk pasanag luar merupakan garud induk yang semuakomponen dan peralatannya berada di ruangan terbuka.

c. Gardu Induk Setengah Pasangan Luar

Gardu Induk yang sebagian dari peralatan tegangan tingginya terpasang di dalam gedung dan yang lainnya dipasang diluar dengan mempertimbangkan situasi dan kondisi lingkungan.

d. Gardu Induk Pasangan Bawah Tanah

Gardu Induk yang hampir semua peralatannya terpasang dalam bangunan bawah tanah. Hanya alat pendinginan biasanya berada diatas tanah, dan peralatan- peralatan yang tidak memungkinkan untuk ditempatkan di bangunan bawah tanah.

4. Isolasi yang Digunakan

Berdasarkan isolasi yang digunakan gardu induk dapat di kelompokkan menjadi :

a. Gardu Induk yang Menggunakan Isolasi Udara (*konvensional*)

GIU adalah gardu induk yang peralatan instalasinya berisolasi udara bebas, karena sebagian besar peralatannya terpasang diluar gedung (*switch yard*) dan sebagian kecil di dalam gedung, sehingga memerlukan area tanah yang relative luas



Gambar 2.3 Gardu Induk konvensional

(Sumber Kemendikbud 2013: 6)

b. Gardu Induk yang Menggunakan Isolasi Gas SF 6 :

GIIS adalah suatu gardu induk yang semua peralatan switchgearnya berisolasi gas SF-6 , karena sebagian besar peralatannya terpasang di dalam gedung dan dikemas dalam tabung.

Gardu induk yang menggunakan gas SF 6 sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan dengan bagian lain yang bertegangan, ataupun antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan..

Gardu induk ini disebut Gas Insulated Switchgear (GIS), yang memerlukan tempat yang sempit (Kemendikbud, 2013: 7).



Gambar 2.4 Gas Insulated Substation (GIS)

(Sumber Kemendikbud 2013: 7)

2.2.3 Komponen Utama Gardu induk

Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia (2013) Secara umum gardu induk dilengkapi komponen utama sebagai fasilitas yang Diperlukan sesuai dengan tujuannya serta mempunyai fasilitas untuk operasi dan pemeliharaan, komponen tersebut antara lain :

1) *Lighting arrester*

Lighting arrester berfungsi untuk memproteksi perakatan listrik dari gangguan alam seperti gangguan yang bersumber dari petir dan tenaga surya.

2) **Pemisah (PMS).**

a. Pemisah tanah

Pemisah tanah memiliki kegunaan utama untuk meproteksi gangguan yang berakibat kerusakan sesudah proses SUTT. Hal ini bertujuan untuk memberikan *sefty* untuk pekerja.

b. Pemisah peralatan.

Pemisaha peralatan merupakan jenis pemisah yang diaplikasikan tanpa memiliki beban. Pemisah jenis ini memiliki kegunaan utama untuk memberikan sket pada alat atau komponen yang memiliki tegangan.

3) Pemutus tenaga (PMT).

PMT memiliki fungsi sebagai pemutus hubungan tenaga listrik apabila terjadi gangguan ataupun dalam posisi berbeban dan proses ini harus bisa di laksanakan dengan cepat dan tepat.

Pemutus tenaga listrik (PMT) apabila terjadi gangguan akan menghasikan arus listrik yang relatif sangat besar , pada saat PMT bekerja sangat berat saat kondisi peratalatan PMT menurun dikarenakan kurangnya pemeliharaan sehingga PMT bekerja tidak sesuai lagi dengan kemampuan dengan daya yang akan di putusnya , maka pada PMT tersebut dapat rusak (meledak).

4) Trafo tegangan

Terafo teganga memiliki fungsi untuk menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah , trafo ini bisanya di peruntukkan bagi alat-alat ukur dan sebagai alat pengaman (proteksi)

5) Trafo arus

Trafo arus memiliki fungsi sama seperti trefo pada umumnya namun pada trafo arus ini ia menurunkan arus yang besar pas tegangan tinggi menjadi arus yang lebih kecil pada tegangan yang lebih rendah biasanya di pergunaan untuk keperluan alat-alat ukur (pengukuran) dan pada alat pengaman .

6) Rail (busbar)

Rail (busbar) merupakan titik pertemuan dari trafo seperti trafo tenaga, SUTT dan peralatan listrik yang lain untuk menerima serta menyalurkannya . Bahan dari busbas ini umumnya trbuat dari bahan seperti tembaga , ACSR .

7) Trafo tenaga

Berfungsi menyalurkan tenaga/daya dari tegangan yang lebih tinggi menuju tegangan yang lebih rendah atau bisa dari tegangan yang rendah ke tegangan yang lebih (mentransformasikan tegangan)



Gambar 2.7 Trafo Tenaga

Sumber Kemendikbud 2013: 5)

8) Panel kontrol

Dalam gardu induk terdapat beberapa jenis panel kontrol yang terdiri dari panel kontrol utama, relay, pemakaian sendiri.

a) Panel kontrol utama

Panel kontrol utama terdiri dari beberapa panel antara lain ialah panel operasi dan panel instrumen. Dalam panel instrumen itu sendiri terdapat alat-alat ukur dan indikator saat terjadi gangguan. Dari ini alat tersebut dapat dilakukan pengawasan saat sedang beroperasi. Pada bagian panel yang beroperasi terdapat saklar operasi

dari pemutus tenaga, serta lampu indikator, posisi, sakelar dan lampu indikator dapat diatur tata letaknya sesuai dengan rangkaian yang sesungguhnya sehingga bisa memudahkan untuk melihat keadaannya



Gambar 2.6 Panel Kontrol Utama.

(Sumber Kemendikbud 2013: 14)

b) Panel relay

pada Panel relay terpasang relay pengaman untuk SUTT, relay pengaman ini untuk trafo dan sebagainya. Bekerjanya relay dapat diketahui dari penunjukan pada relay itu sendiri dan pada indikator gangguan panel kontrol utama. Pada Gardu Induk ada yang memanfaatkan sisi depan panel untuk dipakai sebagai panel utama dengan instrumen dan sakelar, kemudian pada sisi belakangnya dipakai sebagai panel relay, dan ada pula pada Gardu Induk jika rangkaiannya sudah rumit, maka panel relay tersebut di pasang di dalam panel itu sendiri.



Gambar 2.7 Panel Relei

(Sumber Kemendikbud 2013: 19)

9) Batere.

Batere merupakan salah satu sumber tenaga yang selalu memiliki kekuatan yang stabil. Oleh karena itu, batere digunakan sebagai sumber tenaga untuk melakukan kontrol dan sekaligus sebagai pelindung karena memiliki fungsi vital untuk menggerakkan berbagai peralatan. Batere memiliki dua jenis, yakni (1) batere timah hitam, dan (2) batere alkali.

10) Sistem pembumian titik netral.

Sistem ini berfungsi untuk menyalurkan arus gangguan ke bumi. Arus ini merupakan jenis arus yang memiliki besaran ukur untuk alat pelindung. Sistem ini dapat melalui kumparan yang disebut sebagai kumparan petersen

11) Kapasitor

Kapasitor merupakan salah satu komponen yang memiliki berbagai kegunaan, diantaranya untuk meningkatkan faktor kerja dan

jaringan tenaga.

12) Reaktor

Alat ini berguna untuk meminimalkan arus hubung singkat yang terjadi dalam sistem jaringan tenaga listrik.

2.3 Sistem Proteksi

2.3.1 Pengertian Sistem Proteksi

Direktorat Jenderal Pendidikan Dasar Dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional (2003: 7) mendefinisikan Sistem Proteksi seperti yang terdapat dalam kutipan berikut ini.

Sistem proteksi tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dilakukan kepada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada suatu sistem tenaga misanya generator, transformator jaringan dan lain-lain, terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri. Kondisi abnormal itu dapat berupa antara lain : hubung singkat, tegangan lebih, beban lebih, frekuensi sistem rendah, asinkron dan lain- lain.

Sistem pengamanan tenaga listrik merupakan sistem pengamanan 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).

Sistem proteksi terhadap tenaga listrik ialah 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 (Kemendikbud 2013;8).

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa system proteksi tenaga listrik adalah sistem pengaman pada peralatan peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti generator, busbar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya terhadap kondisi abnormal operasi sistem tenaga listrik tersebut.

2.3.2 Fungsi Sistem Proteksi

Muhammad Taqiyudin (2006: 2) menyatakan ada beberapa fungsi dari sistem proteksi antara lain:

- a. untuk menghindari atau mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat adanya gangguan (kondisi abnormal). Semakin cepat reaksi perangkat proteksi yang digunakan, maka akan semakin sedikitlah pengaruh gangguan terhadap kemungkinan kerusakan alat.
- b. untuk mempercepat melokalisasi luas/zone daerah yang terganggu, sehingga daerah yang terganggu menjadi sekecil mungkin.
- c. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen, dan juga mutu listriknya baik.
- d. Untuk mengamankan manusia (terutama) terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh listrik.

Agar sistem proteksi dapat dikatakan baik dan benar (dapat bereaksi dengan cepat, tepat dan murah), maka perlu diadakan pemilihan dengan seksama dan dengan memperhatikan faktor- faktor sebagai berikut :

1. macam saluran yang diamankan.
2. pentingnya saluran yang dilindungi.
3. kemungkinan banyaknya terjadi gangguan.
4. tekno-ekonomis sistem yang digunakan.

2.3.3 Persyaratan Sistem Proteksi

Hutauruk, (1991) menjelaskan bahwa sistem proteksi bertujuan untuk menerlakan gangguan. Cara kerja system proteksi adalah dengan jalan mengisolir komponen atau bagian tempat terjadinya gangguan. Dengan demikian system proteksi harus memiliki hal-hal berikut ini.

1) Kepekaan (*sensitifitas*)

Syarat ini terkait dengan tingkat sensitifitas yang dimiliki oleh sistem proteksi. Sensitifitas atau kepekaan dalam sistem proteksi ditentukan oleh *values* minimal yang terdapat dalam penggerak saat sistem proteksi mulai bekerja.

2) *Speeds*

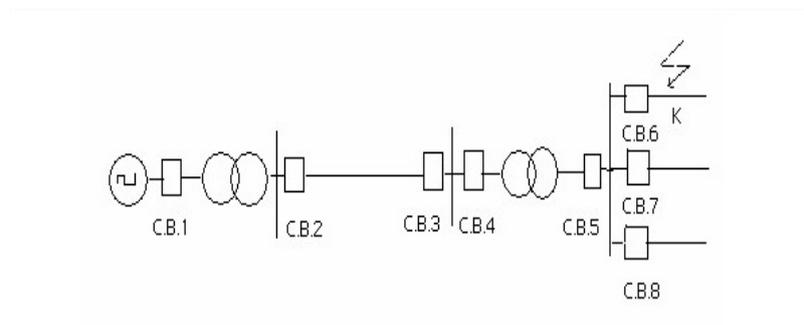
Tingkat kecepatan merupakan salah satu syarat vital yang harus dimiliki oleh sistem proteksi karena syarat ini memiliki multifungsi diantaranya, untuk menjaga kualitas pelayanan, keamanan, dan keseimbangan saat mesin bekerja.

Sistem proteksi harus memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan sehingga meningkatkan mutu pelayanan, keamanan manusia, peralatan dan stabilitas operasi. Mengingat dalam suatu sistem tenaga mempunyai batas-batas stabilitas serta kadang- kadang gangguan sistem bersifat hanya sementara, maka rele yang semestinya bereaksi dengan cepat kerjanya perlu diperlambat (*time delay*), seperti yang ditunjukkan persamaan :

3) Selektifitas dan diskriminatif

Sistem proteksi memiliki kemampuan untuk mengelompokkan atau mengidentifikasi sediniu mungkin kemungkinan terjadinya gangguan. Dalam hal ini sistem roteksi memiliki fungsi utama untuk menjadai media atau alat

yang memisahkan bagian-nagian yang terganggu dengan alat-alat yang tidak terganggu (normal).



Gambar 2.8 Contoh Gangguan.

(Sumber Muhmmad Taqiyyudin 2006:6)

Gambar di atas menerangkan titik yang terkena gangguan tidak bisa berfungsi secara optimal dan hanya titik yang normal yang bisa beroperasi. Misalnya. Dalam gambar di atas gangguan terjadi pada titik K, maka titik K menjadi bagian yang tidak bekerja.

4) Keandalan (*reliability*)

Suatu sistem proteksi dapat dikatakan andal jika selalu berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Sistem proteksi disebut tidak andal bila gagal bekerja pada saat dibutuhkan dan bekerja pada saat proteksi itu tidak seharusnya bekerja. Keandalan rele dikatakan cukup baik bila mempunyai harga 90-99 %. Keandalan dapat di bagi 2 macam, yaitu :

- a. *Dependability* : relay harus dapat diandalkan setiap saat.
- b. *Security* : tidak boleh salah kerja / tidak boleh bekerja yang bukan seharusnya bekerja.

Misal, dalam satu tahun terjadi gangguan sebanyak 25 kali dan rele dapat bekerja dengan sempurna sebanyak 23 kali, maka :

$$\text{Keandalan rele } \frac{23}{25} \times 100\% = 92\%$$

5) Ekonomis.

Nilai ekonomis menjadi sesuatu yang tidak boleh dikesampingkan dalam membuat *planning* sistem proteksi yang baik. Akan tetapi, nilai ekonomis ini juga harus disesuaikan dengan tingkat keandalan yang sudah ditetapkan.

2.4 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

2.4.1 Pengertian Gangguan dan kalrifikasi

Ardian Mardensyah (2008 : 3) gangguan adalah suatu ketidaknormalan (*interferes*) dalam sistem tenaga listrik yang mengakibatkan mengalirnya arus yang tidak seimbang dalam sistem tiga fasa. Gangguan dapat juga didefinisikan sebagai semua kecacatan yang mengganggu aliran normal arus ke beban. Tujuan dilakukan analisa gangguan adalah :

1. Penyelidikan terhadap unjuk kerja rele proteksi
2. Untuk mengetahui kapasitas rating maksimum dari pemutus tenaga
3. Untuk mengetahui distribusi arus gangguan dan tingkat teganga sistem pada saat terjadinya gangguan.

Berikut ini adalah klasifikasi gangguan :

a. Berdasarkan kesimetrisannya :

1. Gangguan Asimetris, merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang, gangguan ini terdiri dari :
 - a. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah
 - b. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa
 - c. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

2. Gangguan Simetris, merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terdiri dari :

- a. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa
- b. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah

b. Berdasarkan lama terjadi gangguannya

1. Gangguan Transient (*temporer*), merupakan gangguan yang hilang dengan sendirinya apabila pemutus tenaga terbuka dari saluran transmisi untuk waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali.
2. Gangguan Permanen, merupakan gangguan yang tidak hilang atau tetap ada apabila pemutus tenaga terbuka pada saluran transmisi untuk waktu yang singkat dan setelah itu dihubungkan kembali.

Selain klasifikasi gangguan yang telah disebutkan di atas, terbukanya pemutus tenaga tidak selalu disebabkan terjadinya gangguan pada sistem itu sendiri tetapi dapat juga disebabkan adanya kerusakan pada rele, kabel kontrol atau adanya pengaruh dari luar seperti induksi atau interferensi. Gangguan seperti ini disebut juga gangguan non-sistem.

2.4.2 Faktor – Faktor Penyebab Gangguan

Ardial Mardesnsyah (2008: 10) berpendapat bahwa Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang banya melibatkan komponen dan sangat kompleks. Oleh karena itu, terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, antara lain yaitu :

- a. Faktor manusia.

Faktor manusia menyangkut kesalahan atau kelalaian dalam Memberikan perlakuan pada sistem. Misalnya saja salah dalam melakukan penyambungan rangkaian, keliru dalam melakukan mengkalibrasi suatu piranti pengaman, dan sebagainya.

b. Faktor *internal*.

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

c. Faktor *external*.

Faktor *external* ini meliputi gangguan-gangguan yang berasal dari luar atau lingkungan di sekitar sistem. Misalnya keadaan cuaca, gempa bumi, banjir bandang, serta sambaran petir. Di samping itu ada kemungkinan gangguan yang disebabkan oleh binatang, misalnya gigitan tikus, burung, kelelawar, ular, dan sebagainya.

2.4.3 Jenis Gangguan

Jika dilihat dari sifat dan penyebab terjadinya gangguan, jenis gangguan dapat dikelompokkan sebagai berikut :

a. Tegangan Lebih (*Over Voltage*);

Tegangan lebih (*Over Voltage*) merupakan suatu gangguan akibat tegangan berlebih pada sistem tenaga listrik lebih besar dari seharusnya. Gangguan tegangan lebih sering terjadi karena kondisi external dan internal pada sistem berikut ini :

1. Kondisi *internal*.

Hal ini terjadi karena isolasi akibat adanya perubahan yang mendadak dari kondisi rangkaian atau karena resonansi. Misalnya operasi hubung pada saluran tanpa beban, perubahan beban yang secara tiba-tiba, operasi pelepas pemutus tenaga yang mendadak akibat hubungan singkat pada jaringan, kegagalan isolasi, dan lain sebagainya.

2. Kondisi *external*.

Kondisi *external* utamanya terjadi akibat adanya sambaran petir. Petir terjadi oleh terkumpulnya muatan listrik, yang

mengakibatkan bertemunya muatan positif dan muatan negatif. Pertemuan ini mengakibatkan terjadinya beda tegangan antara awan bermuatan positif dengan muatan negatif, atau awan bermuatan positif atau negatif dengan tanah. Bila beda tegangan ini cukup tinggi maka akan terjadi loncatan muatan listrik dari awan ke awan atau dari awan ke tanah.

b. Hubung Singkat.

Hubung singkat ialah terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tanpa melalui media (*resistor*/ beban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang abnormal (sangat besar). Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sangat sering terjadi pada sistem tenaga listrik, terutama pada saluran udara 3 fasa. Meskipun semua komponen peralatan listrik selalu diisolasi dengan isolasi. Tapi karena usia pakai, tekanan mekanis, keausan, dan beberapa penyebab yang lainnya mengakibatkan isolasi pada peralatan bisa mengalami penurunan fungsi atau bisa saja hilang, hal inilah yang mudah menimbulkan terjadinya hubung singkat.

Gangguan hubung singkat yang terjadi pada isolasi biasanya menimbulkan busur api sehingga akan mengakibatkan kerusakan yang bersifat tetap dan gangguan ini biasa disebut dengan gangguan *permanent* (tetap). Pada saluran tegangan menengah atau tinggi pada isolasi sering terjadi busur api dan setelah gangguan tersebut tidak terjadi kerusakan maka gangguan tersebut disebut sebagai gangguan sementara (*temporer*). Hubung singkat sangat berbahaya karena bisa menimbulkan arus yang sangat besar sehingga membahayakan peralatan. Oleh karena itu untuk menghindari kerusakan peralatan dari gangguan arus hubung singkat maka hubungan kelistrikan yang berpotensi terganggu perlu diamankan dengan menggunakan peralatan pemutus tenaga atau yang lebih sering dikenal dengan *circuit breaker* (CB).

Gangguan hubung singkat biasanya sering terjadi pada sistem tenaga listrik 3 fase diantaranya sebagai berikut :

1. Dari Satu fasa dengan tanah.
2. Fasa dengan fasa.
3. Dua fasa dengan tanah..
4. Fasa dengan fasa dan pada waktu bersamaan dari fasa ke-3 dengan tanah.
5. Tiga fasa dengan tanah.
6. Hubung singkat 3 fasa.

Dari ke 6 jenis gangguan di atas Empat yang pertama ganggaun akan membuat arus gangguan yang tidak simetris (*unsymmetrical short-circuit*). Sedangkan gangguan yang ke-2 terakhir akan mengakibatkan gangguan hubung singkat yang simetris dengan kata lain (*symtrical short-circuit*). Perhitungan gangguan arus hubung singkat penting dilakukan mengingat hal ini untuk mengetahui seberapa besar kemampuan pemutus tenaga serta digunakan untuk mengkoordinasi pemasangan rele proteksi .

c. *Over Load* (Beban lebih)

Gangguan beban lebih ialah gangguan yang di sebabkan akibat pemakaian energi listrik yang berlebihan yang melampaui jumlah energi yang di hasilkan pada pembangkit. Gangguan bebban lebih ini biasanya terjadi pada generator pembangkit dan trafo daya. Biasanya beban lebih memiliki ciri terjadinya arus berlebih yang pada komponen, arus yang berlebih dapat menimbulkan pemanasan yang berlebih juga yang mengakibatkan kerusakan pada komponen isolasi. Pada penyaluran energi litrik menggunakan trafo distribusi sekunder penyaluran listrik pada konsumen akan di putus aliran aliran melalui rele beban lebih jika pemakaian listrik konsumen melampaui dari kapasitas trafo tersebut

d. *Reserve Power* (Daya balik)

Reserve power atau lebih dikenal dengan daya balik merupakan jenis gangguan dimana generator akan berubah menjadi motor (beban) dalam sistem pembangkit. Gangguan daya balik ini terjadi dalam sistem tenaga listrik yang terintegrasi (*interconnected system*). Hal ini akan mengakibatkan sebagian dari generator menjadi motor dan sebagian berbeban lebih. Cara untuk mengatasi gangguan ini adalah dengan melepas generator yang mengalami gangguan atau melepas daerah yang terjadi hubung singkat secepat mungkin. Untuk mengamankan gangguan di tersebut biasanya pada penyerentakan generator telah dilengkapi dengan rele daya balik (*reserve power relay*).

2.5 Teknik Deskripsi Persentase

Teknik deskriptif persentase adalah suatu teknik yang digunakan untuk memberi deskripsi atau pembahasan hasil penelitian yang masih bersifat data kuantitatif sehingga diperoleh gambaran kualitatif dari hasil penelitian. Rumus yang digunakan dalam teknik deskripsi persentase ini adalah sebagai berikut :

- a. Deskripsi persentase gangguan pada sistem proteksi trafo tenaga di gardu induk : (Suharsimi Arikanto, 2006)

$$DPG = n/N \times 100\% \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

DPG = Deskripsi persentase gangguan (%)

n = Fekkuensi gangguan (kali)

N = Jumlah gangguan (kali)

- b. Deskripsi persentase kenadalan/keberhasilan sistem proteksi trafo tenaga dalam menangani gangguan di gardu induk : (Suharsimi Arikanto, 2006)

$$DPK = n/N \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

DPK = Deskripsi persentase keandalan rele (%)

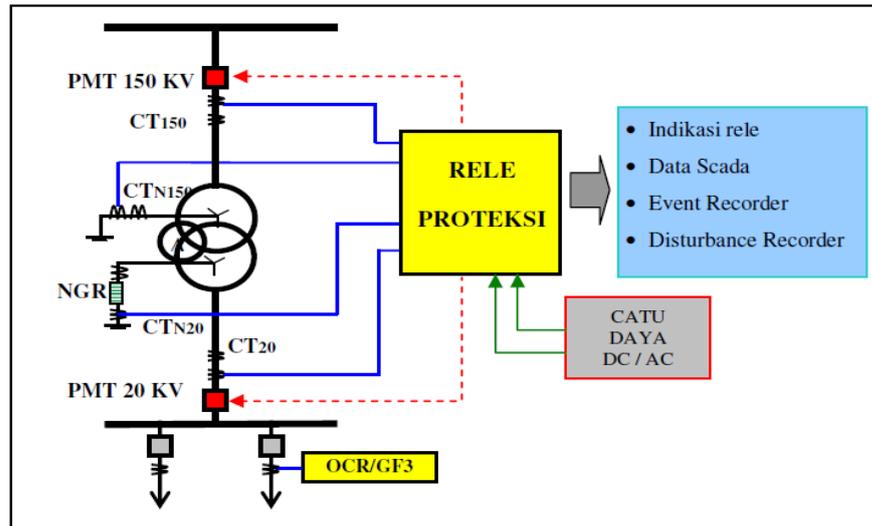
n = Kinerja rele (kali)

N = Jumlah gangguan rele (kali)

Keandalan rele dikatakan cukup baik bila mempunyai hari dari 90 % sampai dengan 99 %.

2.6 Proteksi Trafo Tenaga Pada Gardu Induk

Dalam sistem tenaga listrikan di kenal istilah sistem proteksi dimana sistem ini merupakan hal yang sangat penting di dalam suatu sistem instansi listrik itu sendiri. Sistem ini merupakan pelindung peralatan utama saat terjadi gangguan hubung singkat, dimana sistem ini harus mampu memisahkan daerah yang sedang mengalami gangguan dengan daerah yang tidak mengalami terjadi gangguan, sistem ini diharapkan mampu mengamankan sehingga gangguan tidak menyebar luas dan kerusakan dapat di minimalisir. Biasanya peralatan pengaman pada trafo tenaga terdid dari berapa komponen antra lain ialah rele proteksi, trafo arus (CT), trafo tegangan (PT/ CVT), PMT, catu daya AC/ DC yang digabung dalam suatu rangkaian, yang mengakibat kan satu sama lain saling berkaitan .



Gambar 2.9.Peralatan Sistem Proteksi Trafo Tenaga 150/20 KV.

1. Gangguan Pada Trafo Tenaga:

gangguan pada trafo tenaga dapat di kelompokkan menjadi beberapa jenis gangguan antara lain :

a. Gangguan *Internal*.

Gangguan *internal* ialah gangguan yang terjadi di dalam daerah proteksi trafo daik itu di dalam trafo maupun di luar trafo atau sebatas lokasi CT

Gangguan *internal* ini memiliki penyebab di antaranya ialah :

- a. Kebocoran minyak.
- b. Gangguan pada *tap changer*.
- c. Ketidaktahanan terhadap arus gangguan.
- d. Gangguan pada *bushing*.
- e. Gangguan pada sistem pendingin.

f) Kegagalan isolasi

2) Gangguan internal dapat dibagi menjadi 2 kelompok, yaitu:

a) *Incipient fault*.

Gangguan terbentuk lambat, dan akan berkembang menjadi gangguan yang besar jika tidak terdeteksi dan tidak diatasi. Yang termasuk kedalam gangguan *incipient fault*, yaitu :

1) *Overheating*.

Adapun penyebab terjadinya gangguan *Overheating* adalah sebagai berikut :

(a) Ketidak sempurnaan sambungan

(b) Kebocoran minyak;

(c) Tersumbatnya aliran sistem pendingin

(d) Kegagalan kipas atau pompa sistem pendingin.

2) *Overfluxing*.

Overfluxing biasanya terjadi saat mengalami gangguan *overvoltage* maupun *undervoltage*, sehingga gangguan ini dapat mengakibatkan pertambahan rugi-rugi besi yang mengakibatkan pemanasan, dimana pemanasan bisa mengakibatkan kerusakan isolasi lempengan .

3) *Over pressure*.

Gangguan *Over pressure* biasanya di sebabkan oleh banyak faktor di antaranya adalah :

(a) Pelepasan gas akibat *over heating*.

(b) Hubung singkat belitan-belitan sefasa.

(c) Pelepasan gas akibat proses kimia.

b) *Active fault*.

Gangguan *active fault* merupakan gangguan yang di akibatkan kegagalan isolasi atau kegagalan komponen lain untuk bekerja yang terjadi begitu cepat dan akan menimbulkan kerusakan yang sangat parah. Gangguan *active fault* biasanya di akibatkan oleh hubung singkat, *core fault*, *tank faults*, *Bushing flashovers*.

b. Gangguan *External*.

Gangguan *External* merupakan gangguan yang terjadi diluar area proteksi trafo itu sendiri . Secara umum gangguan *external* ini biasanya terjadi di jaringan yang akan dirasakan dan berdampak terhadap ketahanan tersier trafo. Biasanya gangguan external ini biasanya berupa :

- 1) Pembebanan lebih
- 2) *Over voltage* yang di akibatkan surja .
- 3) *Over* atau *under frequency* (UF) yang terjadi karena gangguan dari sistem.
- 4) *External system short circuit* (SC).
- 5) Hubung singkat yang terjadi pada jaringan sekunder maupun jaringan tersier yang mengakibatkan berkurangnya umur operasi trafo (SCF).

2. Fungsi Proteksi Trafo Tenaga Terhadap Gangguan

Proteksi terhadap gangguan trafo tenaga memiliki fungsi untuk memperoleh efektifitas dan efisien dalam pemiihan sistem pengaman trafo tenaga, oleh karena itu setiap komponen proteksi yang akan di gunakan harus terlebih dahulu disesuaikan dengan kebutuhan dan peramalan gangguan yang akan terjadi yang sekiranya membahayakan dari ketahanan trafo tersebut. Jenis rele proteksi yang dibutuhkan seperti tabel berikut ini .

Tabel 2. 1. Kebutuhan Rele Proteksi Terhadap Berbagai jenis Gangguan.

No	Jenis gangguan	Proteksi		Akibat
		Utama	Back up	
1	Hubungan singkat di trafo daerah pengaman trafo	- Differensial - REF - Bucholz - Tek. lebih	- OCR - GFR	-kerusakan pada isolasi atau inti -tanggki mengembang
2	2 Hubung singkat diluar daerah pengaman trafo	-OCR -GFR -SBEF	-OCR -GFR	-kerusakan [ada isolasi , dan NGR
3	3 Beban lebih	- Rele suhu -	-OCR	-kerusakan isolasi
4	Gangguan sistem pendingin	-Rele suhu	-	-Kerusakan isolasi
5	Gangguan pada OLTC	-Tek. Lebih -janaen	-	-kerusakan OLTC
6	Tegangan lebih	-OVR -LA	-	-Kerusakan isolasi

3. Pola Proteksi Trafo Tenaga yang Berlandaskan pada SPLN 52-1

Kebutuhan komponen pengaman trafo yang disesuaikan berdasarkan kapasitas trafo sesuai dengan SPLN dapat di lihat pada tabel berikut ni :

Tabel 2.2. jenis Sistem Proteksi Sesuai SPLN 52-1.

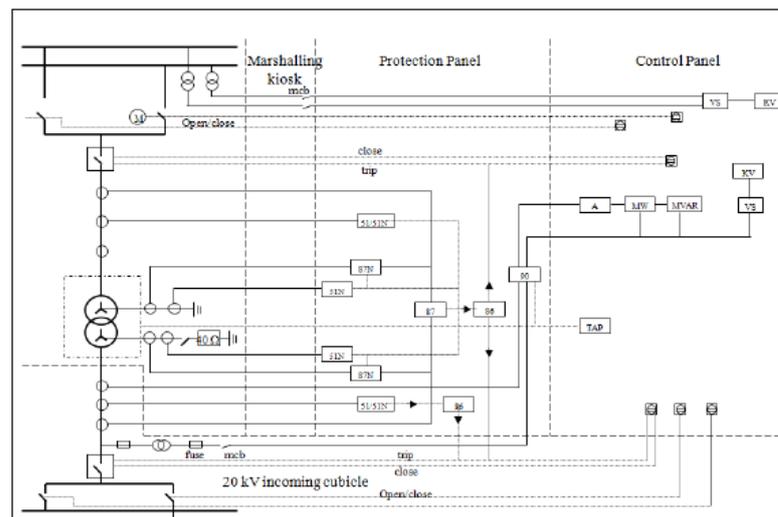
No	Jenis proteksi	Kapasitas (MVA)		
		≤ 10	$10 < \leq 30$	≥ 30
1	Rele suhu	+	+	+
2	Rele bulcholz	+	+	+
3	Rele jansen	+	+	+
4	Rele tekanan rendah	+	+	+
5	Rele difrensial	-	-	+
6	Rele tangki tanah	-	+	-
7	Rele hubung tanah terbatas (REF)	-	-	+
8	Rele beban lebih (OLR)	-	+	+
9	Rele arus lebih (OCR)	+	+	+
10	Rele hubung tanah(GFR)	+	+	+
11	Pelebur (fuse)	+	-	-

4. Proteksi Utama pada Trafo Tenaga

sistem proteksi utama ialah suatu pengaman yang prioritisasikan bekerja untuk mengamankan saat terjadi gangguan atau dalam kondisi kurang normal pada trafo tenaga, pengaman utama dimaksudkan sebagai yang memperkarsainya saat terjadi gangguan pada kawasan yang akan di lindungi. Adapun ciri-ciri pengaman utama sebagai berikut .

a. ciri-ciri proteksi utama

- 1) Waktu kerjanya sangat cepat .
- 2) Tidak bisa dikoordinasikan dengan rele proteksi lainnya.
- 3) Tidak bergantung pada proteksi lainnya.
- 4) Daerah pengamanannya dibatasi oleh pasangan trafo arus, dimana rele differensial dipasang.

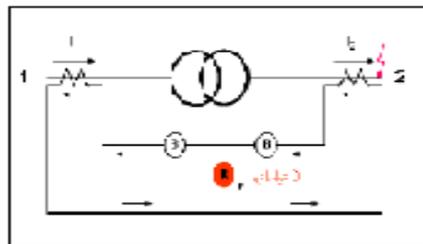


Gambar 2.10 *Wiring* Sistem Proteksi Trafo Tenaga 150/ 20 KV.

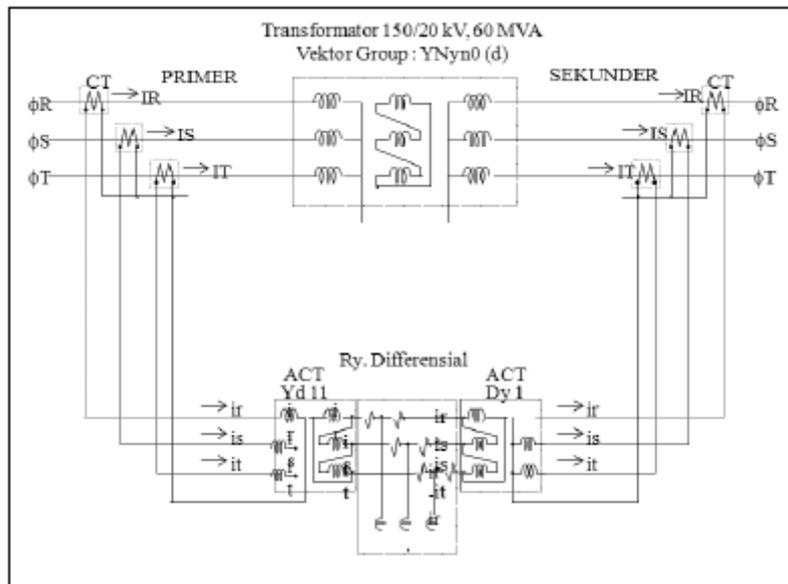
b. Rele Proteksi Utama Trafo Tenaga.

1) *Differential relay (87T).*

Rele differensial arus berdasarkan Hukum Kirchoff, dimana jumlah arus yang masuk pada suatu titik, sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut. Rele differensial arus membandingkan antara besaran arus yang melalui daerah pengamanan.



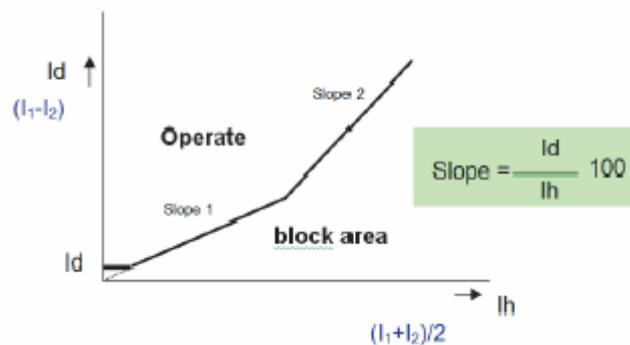
Gambar 2.11 perinsip kerja Rele Difrensial



Gambar 2.12 *Wiring* Rele difrensial Vektor Group Trafo Tenaga.

Fungsi rele *difrensial vektor group* trafo tenaga dari gangguan hubung singkat yang terjadi di dalam kumparan yang satu dengan kumparan lain atau antara kumparan dengan tangki. Rele ini harus mampu bekerja saat terjadi gangguan pada daerah yang di amankan serta tidak boleh bekerja saat keadaan normal dengan kata lain saat gangguan terjadi di luar daerah yang diamankan .

Rele ini merupakan jenis pengamanan yang memiliki selektifitas yang mutlak dari karakteristik sebuah rele diffrensial.



Gambar 2.13 Karakteristik Kerja Rele Differensial.

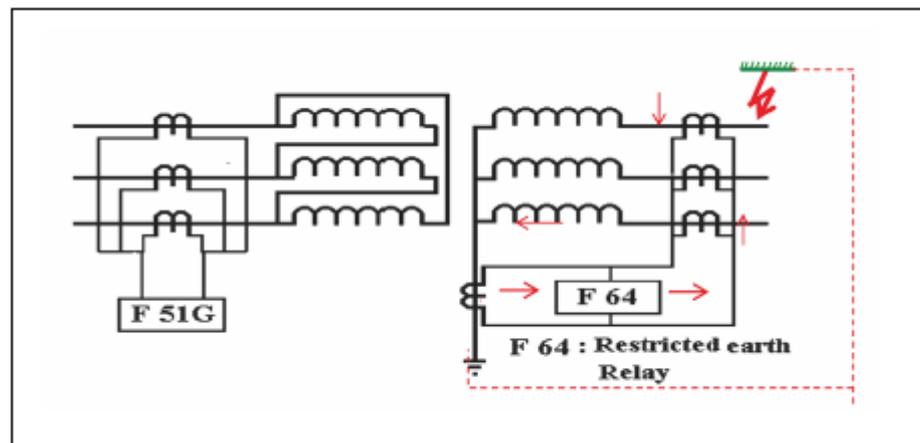
2) *Restricted Earth Fault* (REF).

Rele *Restricted Earth Fault* (REF) memiliki perinsip kerja yang sama dengan rele differensial, yaitu dengan cara membandingkan besarnya arus pada sisi sekunder kedua trafo arus yang digunakan, akan tetapi batasan daerah kerjanya di batasi hanya antara CT fasa dengan CT titik netralnya. *Restricted Earth Fault* (REF) ditujukan untuk memproteksi gangguan satu -fasa ketanah.

Pada saat tidak terjadi gangguan atau dalam keadaan normal atau gangguan di luar daerah pengaman, maka ke dua arus sekunder tersebut di atas besarnya sama, sehingga tidak ada arus yang mengalir pada rele, akibatnya rele tidak bekerja.

Pada saat terjadi gangguan di daerah pengamanannya, maka besaran arus pada sekunder trafo tidak sama oleh karena itu, akan ada arus yang mengalir pada rele, sehingga mengakibatkan rele bekerja.

Fungsi dari *Restricted Earth Fault* (REF) ialah untuk mengamankan trafo apa bila terjadi gangguan satu satu fasa ke tanah yang lokasinya berada di dekat titik netral trafo yang tidak dideteksi rele differensial.



Gambar 2.14 Rangkaian Arus Rele REF Saat Terjadi Gangguan *External*.

5. Proteksi Cadangan Trafo Tenaga.

Proteksi cadangan adalah suatu sistem proteksi (pengaman) yang dirancang untuk bekerja saat terjadi gangguan pada sistem tetapi tidak dapat diamankan oleh proteksi utama, karena kerusakan atau ketidak mampuan proteksi utama untuk mengamankan peralatan yang terganggu

Proteksi cadangan ini dipasang untuk bekerja sebagai pengganti apabila proteksi utama pada waktu proteksi utama gagal atau tidak dapat bekerja sebagaimana diharapkan .

a. Ciri-ciri proteksi cadangan :

- 1) Waktu kerjanya lebih lama dari proteksi utama atau waktu tunda (time delay), untuk memberi kesempatan kepada pengaman utama bekerja lebih dahulu.
- 2) Secara sistem, proteksi (pengaman) cadangan terpisah dari pengaman utama.
- 3) Rele proteksi (pengaman) cadangan harus dikoordinasikan dengan rele proteksi cadangan lainnya di sisi lain.

Pola Proteksi cadangan pada trafo tenaga umumnya terdiri dari OCR untuk gangguan fasa-fasa atau 3 fasa dan GFR untuk gangguan 1 fasa ketanah seperti yang terlihat di tabel 2.1.

b. Rele Proteksi Cadangan Trafo Tenaga.

1) Rele Arus Lebih

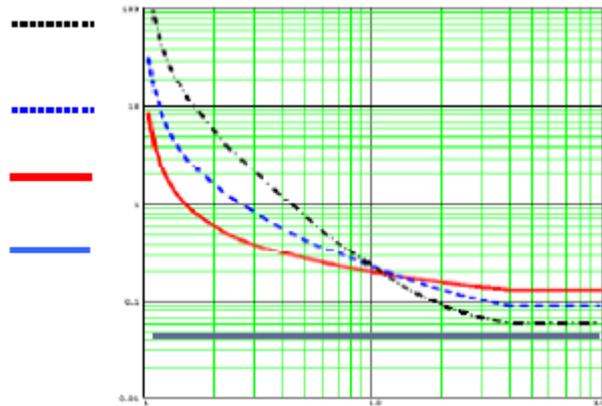
perinsip kerja dari rele ini ialah berdasar pada pengukuran nilai arus, dimana rele akan bekerja saat rele mendeteksi arus yang memiliki nilai di atas dari nilai setingnya, OCR di ciptakan sebagai proteksi cadangan trafo apabila terjadi hubung singkat yang berada di dalam trafo ataupun gangguan yang di luar trafo. Oleh sebab itu nilai seting arus pada OCR harus melebihi pada kemampuan saat di lalui arus normal (110%-120%) dari keadaan normal, sehingga OCR tidak bekerja saat trafo bekerja pada keadaan normal, tapi seting OCR di pastikan seting arus rele masih bekerja pada saat terjadi gangguan hubung singkat fase fase minimum. Adapun karakteristik dari waktu kerja sebuah rele sebagai berikut .

a) *Long time inverse*

b) *Very inverse*

c) *Normal/Standar inverse*

d) *Definite*



Gambar 2.15 Kurva/ Karakteristik Rele OCR.

Rele ini dipergunakan sebagai pendeteksi adanya gangguan fase-fase, memiliki karakteristik inverse (waktu kinerja rele akan cepat dan semakin cepat jika gangguan yang di deteksi semakin besar) tak cuma itu saja pada rele arus lebih memiliki fungsi *highset* yang akan bekerja seketika (*moment/ instantaneous*).

Untuk karakteristik dari *inverse* ini mengacu pada standar pada IEC dan ANSI/ IEEE. Rele ini diperuntukkan sebagai engaman cadangan karena rele ini tidak dapat menentukan titik yang tepat saat terjadi gangguan, dan diperuntukkan sebagai pengaman peralatan jika proteksi utama tidak dapat bekerja .

Agar didapatkan kordinasi yang baik terhadap rele arus lebih di sisi lain (buka pada saat rele arus lebih yang terpasang di penghantar) maka karakteristik yang di pilih untuk proteksi penghantar adalah kurva yang sama yaitu *standard inverse* (IEC) / *normal inverse* (ANSI/IEEE).

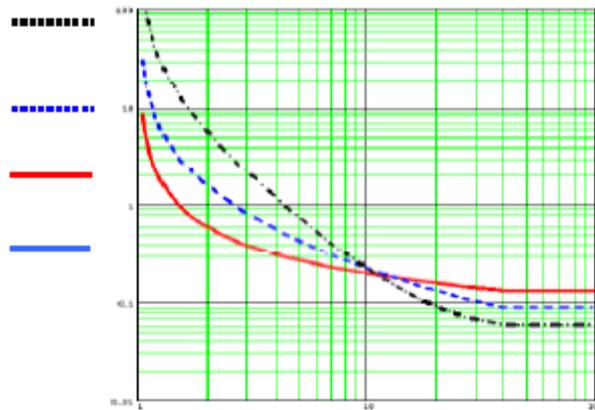
2) *Ground Fault Rele* (50N/51N).

Prinsip kerja dari GFR dan OCR sama yaitu akan bekerja berdasarkan pada pengukuran arus, rele ini akan bekerja apabila mendeteksi arus yang melewatinya melebihi nilai arus yang di setingnya, GRF merupakan pengam

cadangan trafo yang di rancang saat terjadi gangguan hubung antara fase terhadap tanah, baik yang berada di dalam trafo atau maupun gangguan yang terjadi di luar trafo, setingan arus pada GFR harus lebih kecil nilainya dari setingan OCR, hal ini dikarenakan nilai arus hubung singkatnya lebih kecil dari nilai arus hubung singkat antara fasa-fasa.

Karakteristik waktu kerja terdiri dari:

- a) *Long time inverse*
- b) *Very inverse*
- c) *Normal/ Standar inverse*
- d) *Definite*



Gambar 2.16 Kurva/ Karakteristik Rele GFR.

Rele ini digunakan sebagai pendeteksi adanya gangguan fase ke tanah, sehingga pemilihan karakteristik waktu yang lebih lambat dari pada waktu yang di pilih untuk OCR. Pada GFR *setting highset* diblok, kecuali tahanan untuk 500 pada sisi sekunder trafo.

3) *Stand By Earth Fault* (SBEF);

Di Indonesia sendiri terdapat 3 jenis pembumian netral yaitu dengan tahanan rendah (12, 40), pertanahan langsung (*solid*) dan pentanahan dengan tahanan tinggi (500). *Stand By Earth Fault* adalah standar rele pengamanan untuk sistem pentanahan dengan *Neutral Grounding Resistance* (NGR) pada trafo.

a) Penyetelan rele SBEF mempertimbangkan faktor– faktor berikut :

- (1) Pola pentanahan netral trafo;
- (2) Ketahanan termis tahanan netral trafo (NGR);
- (3) Sensitifitas rele terhadap gangguan tanah;
- (4) Pengaruh konfigurasi belitan traso (dilengkap dengan belitan delta atau tidak).
- (5) Ketahanan shielding kabel disisi dipasang NGR (khususnya pada sistem dengan netral yang ditanahkan langsung atau dengan NGR tahanan rendah);

b) Pemilihan waktu dan karakteristik dari SBEF

Ddengan memperhatikan ketahanan termis Dari NGR, dikarenakan karena arus yang mengalir ke dalam NGR yang sudah dibatasi oleh resistansi yang terpasang pada NGR itu sendiri. Karena jumlah nilai arus yang *flat*, maka pemilihan karakteristik waktu disarankan memakai *definite* atau *long time inverse*.

(1) Tahanan Rendah, NGR 12 Ohm, 1000 A, 10 detik;

Jenis rele : rele gangguan tanah tak berarah (SBEF, 51NS)

Karakteristik : *long time inverse*

Setelan arus : $(0.1 - 0.2) \times I_n \text{ NGR}$

Setelan waktu : $\leq 50\% \times \text{ketahanan termis NGR, pada } I_f=1000 \text{ A}$

Setelan highset : tidak diaktifkan

(2) Tahanan Rendah, NGR 40 Ohm, 300 A, 10 detik;

Jenis rele : rele gangguan tanah (SBEF, simbol 51NS)

Karakteristik : long time inverse

Setelan arus : $(0.3 - 0.4) \times I_n$ NGR

Setelan waktu : $\leq 50 \% \times$ ketahanan termis NGR, pada $I_f=300$ A

Setelan highset : tidak diaktifkan

(3) Tahanan Tinggi, NGR 500 Ohm, 30 detik.

Jenis rele : rele gangguan tanah tak berarah

Karakteristik : long time inverse (LTI)/ definite

Setelan arus : $(0.2 - 0.3) \times I_n$ NGR

Setelan waktu : $\leq 50 \% \times$ ketahanan termis NGR, pada $I_f=300$ A

Setelan highset : <8 detik (LTI) pada sisi trif incoming dan 10 detik pada sisi 150 KV jika nilai $I_f= 25$ A untuk NGR yang memiliki nilai $t = 30$ detik, dan apabila belum tersedia rele dengan karakteristik LTI maka menggunakan definite, $t_1=10$ detik (trip sisi 20 KV) dan $t_2 = 13$ detik trip (150 KV)

4) *Over / Under Voltage Relay (59/27)*.

OVR dan UVR merupakan jenis rele yang memiliki fungsi sebagai pengaman peralatan instalasi dari pengaruh perubahan tegangan yang lebih lebih atau kurang, peralatan instalasi memiliki batas maksimum dan batas minimum dalam pengoperasiannya. Jika nilai melebihi batas maksimum dan minimum dari batas kerja operasinya maka peralatan tsb akan mengalami kerusakan, sehingga

untuk menghindari kerusakan pada peralatan yang diakibatkan oleh perubahan nilai tegangan yang signifikan diperlukan OVR dan UVR .

Cara kerja dari OVR dan UVR adalah dia akan bekerja apabila nilai setingnya mencapai titik setingannya. Dimana OVR akan bekerja apabila nilai tegangan naik melebihi nilai batas setingnya dan UVR akan bekerja jika tegangan turun kurang nilai batas bahwahnya.

a) OVR di pergunakan untuk :

(1) Digunakan sebagai pengaman saat terjadi gangguan fasa ke tanah (pergeseran titik netral) pada jaringan yang disuplai dari trafo tenaga yang dimana titik netralnya bumikan melalui tahanan tinggi atau mengambang.

(2) Digunakan Sebagai pengaman saat terjadi gangguan fasa ke tanah stator generator dimana pada titik netral generator bumikan melalui trafo distribusi.

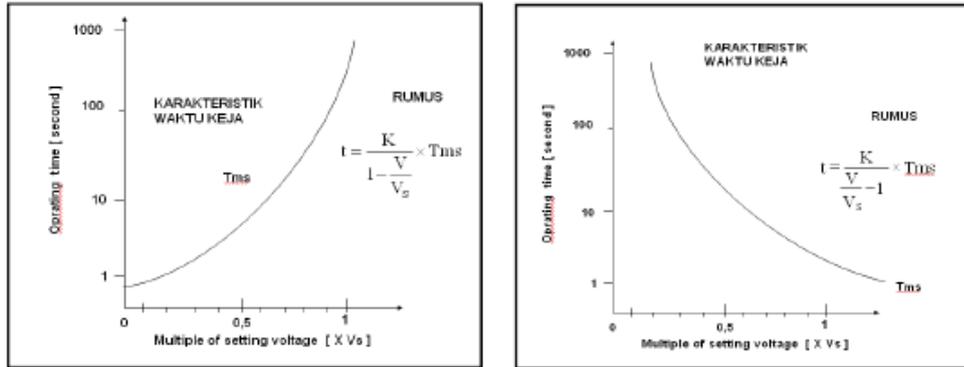
(3) digunakan sebagai pengaman saat terjadi gangguan overspeed pada generator.

b) UVR diaplikasikan pada :

(1) Berfungsi untuk mencegah terjadinya strating motor apabila suplai tegangan mengalami penurunan .

(2) UVR dapat diaplikasikan sebagai Pengamanan sistem yang dapat dikombinasikan dengan rele yang memiliki frekuensi kurang.

c) Karakteristik waktu dari OVR/UVR adalah inverse :



Gambar 2.17 Karakteristik Waktu UVR dan OVR Adalah *Inverse*.

Dimana

V : nilai merupakan tegangan input,

t : merupakan waktu,

K : merupakan Kosntanta/ ketetapan (5 atau 40),

Vs : tegangan seting,

Tms : *Time Multiple Setting*

