

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gardu Induk

Dalam penjelasan terkait gardu induk terbagi dari beberapa bagian antara lain:

2.1.1 Pengertian gardu induk

Gardu induk adalah sebuah sub sistem dari sistem saluran transmisi atau distribusi yang berisi tentang komponen pembagi energi listrik, trafo, peralatan keamanan, serta peralatan kontrol yang merupakan komponen utama pada sistem transmisi dari pembangkit hingga sampai beban (konsumen).¹³

2.1.2 Klasifikasi gardu induk

Adapun klasifikasi gardu induk berdasarkan tempat pemasangannya yaitu :

- a. Gardu Induk Transmisi



Gambar 2.1 Gardu Induk Transmisi

Gardu induk ini berfungsi untuk menyalurkan energi listrik tegangan tinggi ke beban seperti halnya menyalurkan energi listrik untuk industri dan sebagainya. Pada GI ini mendapatkan daya listrik

¹³Yusmartato, Luthfi Parinduri dan Sudaryanto, "Pembangunan Gardu Induk 150 KV di Desa Parbaba Dolok Kecamatan Pangururan Kabupaten Samosir", Journal of Electrical Technology, Vol. 2, No. 3, Oktober 2017.

dari sistem transmisi secara langsung yang kemudian di salurkan kepada konsumen (industri, dan lain-lain).

b. Gardu Induk Distribusi



Gambar 2.2 Gardu Induk Distribusi

Gardu induk ini berfungsi untuk menyalurkan energi listrik tegangan rendah seperti halnya menyalurkan energi listrik dari jaringan distribusi untuk konsumen. Pada GI ini mendapatkan daya listrik dari sistem transmisi yang kemudian diturunkan dengan menggunakan transformator (*stepdown*) yang kemudian disalurkan melalui jaringan distribusi untuk konsumen.

2.2 Transformator

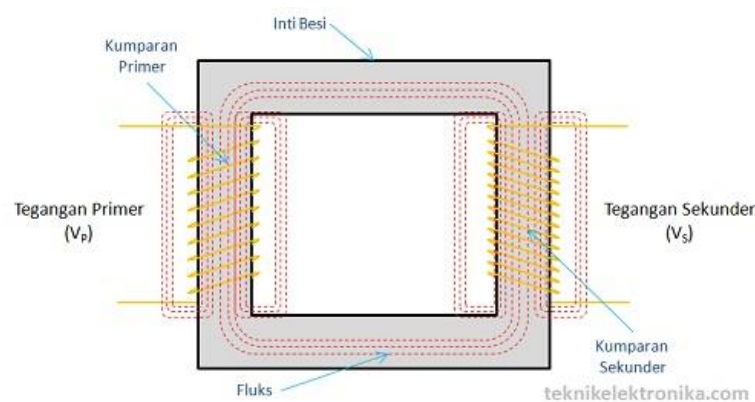
Transformator merupakan suatu perangkat listrik yang berfungsi untuk mentransfer atau mengubah nilai tegangan/ arus. Transformator memiliki beberapa prinsip dan klasifikasi dalam antara lain:

2.2.1 Prinsip kerja transformator ¹⁴

Sebuah Transformator yang sederhana pada dasarnya terdiri dari 2 lilitan atau kumparan kawat yang terisolasi yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Pada kebanyakan Transformator, kumparan kawat terisolasi ini dililitkan pada sebuah besi yang dinamakan dengan Inti Besi

¹⁴ Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*, (Penerbit ITB Bandung, 1991), hlm 15

(Core). Ketika kumparan primer dialiri arus AC (bolak-balik) maka akan menimbulkan medan magnet atau fluks magnetik disekitarnya. Kekuatan Medan magnet (densitas Fluks Magnet) tersebut dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang dialirinya. Semakin besar arus listriknya semakin besar pula medan magnetnya. Fluktuasi medan magnet yang terjadi di sekitar kumparan pertama (primer) akan menginduksi GGL (Gaya Gerak Listrik) dalam kumparan kedua (sekunder) dan akan terjadi pelimpahan daya dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Dengan demikian, terjadilah pengubahan taraf tegangan listrik baik dari tegangan rendah menjadi tegangan yang lebih tinggi maupun dari tegangan tinggi menjadi tegangan yang rendah.



Gambar 2.3 Prinsip kerja Transformator

Rasio lilitan pada kumparan sekunder terhadap kumparan primer menentukan rasio tegangan pada kedua kumparan tersebut. Sebagai contoh, 1 lilitan pada kumparan primer dan 10 lilitan pada kumparan sekunder akan menghasilkan tegangan 10 kali lipat dari tegangan input pada kumparan primer. Jenis Transformator ini biasanya disebut dengan Transformator Step Up. Sebaliknya, jika terdapat 10 lilitan pada kumparan primer dan 1 lilitan pada kumparan sekunder, maka tegangan yang dihasilkan oleh Kumparan Sekunder adalah 1/10 dari tegangan input pada Kumparan Primer. Transformator jenis ini disebut dengan Transformator Step Down

2.2.2 Klasifikasi transformator

Adapun klasifikasi Transformator berdasarkan karakteristiknya antara lain: ⁴

a. Trafo Daya / Transformator Tenaga (*Power Transformer*)

Trafo Daya adalah suatu peralatan yang dalam klasifikasinya mesin listrik statis yang digunakan untuk mentransformasikan tegangan listrik dan harga daya pada harga arus akan tetapi frekuensinya tidak berubah (sama).



Gambar 2.4 Trafo Daya

b. Trafo Ukur (*Transformator Instrument*)

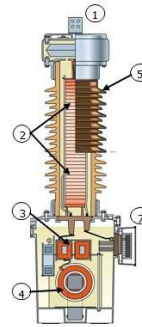
Trafo ini memiliki beberapa kelebihan sesuai keunggulan desainnya, antara lain, tahan terhadap berbagai tingkatan beban, keandalan alat sangat baik dan secara fisik bentuk transformator ini lebih klasik dan secara ekonomi lebih murah. Trafo pengukuran meliputi :

- Transformator Tegangan (*Potensial Trafo atau Voltage Trafo*)

Trafo tegangan adalah trafo yang digunakan untuk menaikkan

⁴Dickson Kho, "Pengertian Transformator (Trafo) dan Prinsip Kerjanya", diakses dari <https://teknikelektronika.com/pengertian-transformator-prinsip-kerja-trafo/>, pada tanggal 20 Maret pukul 10.39.

dan menurunkan tegangan sebagai sumber alat proteksi dan alat pengukuran. Sedangkan fungsi dari trafo ini memberikan isolasi pada rangkaian primer dan sekunder, memberikan standarisasi rating pada sisi sekunder dan memperkecil besaran tegangan sehingga besaran tegangan digunakan sebagai alat proteksi. Peralatan proteksi yang mendukung adalah relay/rele jarak, relay/rele sinkron, relay/rele berarah, relay/rele frekuensi.



Gambar 2.5 Trafo Tegangan

- Transformator Arus (*Current Trafo*)

Trafo ini biasanya digunakan untuk menurunkan tegangan tinggi ke arus rendah kemudian tegangan yang sudah rendah digunakan sebagai pengaman pada trafo ini. Menurut konstruksinya ada beberapa macam tipe trafo ini yaitu : tipe cincin, tipe trafo tangki minyak, dan lain-lain.



Gambar 2.6 Trafo Arus

Pada gambar 2.7 di atas dapat dilihat bahwa daerah proteksi pada sistem tenaga listrik dibuat bertingkat dimulai dari pembangkitan, gardu induk, saluran distribusi primer sampai ke beban. Garis putus-putus menunjukkan pembagian sistem tenaga listrik ke dalam beberapa daerah proteksi. sistem daya disamping dua buah pemutus rangkaian. Setiap pemutus dimasukkan ke dalam dua daerah proteksi berdekatan.

2.4 Rele Proteksi

Dalam penjelasan terkait rele proteksi yang berada pada sistem gardu induk terbagi dari beberapa bagian antara lain:

2.4.1 Pengertian rele proteksi

Relai proteksi adalah sebuah peralatan listrik yang dirancang untuk mendeteksi bila terjadi gangguan atau sistem tenaga listrik tidak normal. Relai pengaman merupakan kunci kelangsungan kerja dari suatu sistem tenaga listrik, dimana gangguan segera dapat dilokalisasi dan dihilangkan sebelum menimbulkan akibat yang lebih luas. Berikut menggambarkan diagram blok urutan kerja relai pengaman.⁷



Gambar 2.8 Diagram Blok Urutan Kerja Rele Pengaman

Relai pengaman mempunyai tiga elemen dasar yang bekerja saling terkait untuk memutuskan arus gangguan. Ketiga elemen dasar tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

- a. Elemen perasa (*sensing element*) Berfungsi untuk merasakan atau mengukur besaran arus, tegangan, frekuensi atau besaran lainnya yang akan diproteksi.

⁷I Gusti Putu Arka, dan Nyoman Mudian, "Analisis Pengaruh Pemasangan Sistem Proteksi Rele terhadap Profil Tegangan dan Keandalan Jaringan", Jurnal Logic. VOL. 15. NO. 3. Nov 2015.

- b. Elemen pembanding (*comparison element*) Berfungsi untuk membandingkan arus yang masuk ke relai pada saat ada gangguan dengan arus *setting* tersebut
- c. Elemen kontrol (*control element*) Berfungsi mengadakan perubahan dengan tiba-tiba pada besaran kontrol dengan menutup arus operatif.

2.4.2 Persyaratan rele proteksi

Dalam menjalankan suatu sistem relai maka kita harus memperhatikan faktor-faktor yang dibutuhkan agar suatu sistem relai dapat bekerja dengan baik. Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam suatu sistem relai adalah :

a. Keandalan (*Reliability*)

Pada sistem ini akan dikatakan andal ketika berfungsi ketika terjadi gangguan. Keandalan rele akan dikatakan baik memiliki tingkatan nilai yang seharusnya, ada 2 keandalan rele/relay antara lain:¹

- 1) Dependability : berarti rele/relay akan bekerja dengan normal
- 2) Security : memiliki pemetaan yaitu tidak boleh bekerja ketika seharusnya rele/relay tidak bekerja. Contohnya : Ketika pada sistem proteksi mengalami gangguan selama 25 kali dan apabila relay akan bekerja mengamankan 23 kali, maka :

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

b. Selektivitas (*Selectivity*) dan Diskriminatif

Pada persyaratan ini diharapkan dari sistem proteksi mampu beroperasi selektif memilih bagian yang harus diisolir apabila rele/relay mendeteksi gangguan yang terjadi. Pada bagian ini bagian yang tidak terkena gangguan dipisahkan dari peralatan yang terkena gangguan. Dalam sistem ini juga harus diskriminatif yaitu pada sistem proteksi harus mampu membedakan kondisi sistem dalam keadaan

¹Ardianto, Firdaus, dan Noveri L. M., "Analisis Kinerja Sistem Proteksi Berdasarkan Frekuensi Gangguan Di Gardu Induk 150 KV Garuda Sakti", Jom FTEKNIK Volume 4 No.1 Februari 2017

normal maupun dalam keadaan abnormal yang terjadi pada rangkaian luar sistem proteksi maupun rangkaian dalam proteksinya. Maka dari itu gangguan yang terjadi sekecil apapun akan dapat diatasinya.

c. Kecepatan Operasi (*Speed of Operation*)

Pada sistem proteksi harus memiliki kecepatan mendeteksi gangguan pada saat sistem tenaga listrik bekerja. Dalam hal ini merupakan persyaratan yang sangat vital pada sistem proteksi karna berfungsi untuk meningkatkan mutu pelayanan, pengaman untuk manusia, peralatan dan untuk stabilitas operasi.

rele/relay yang sebenarnya beroperasi dengan cepat akan diperlambat (*time delay*). Maka akan menggunakan persamaan seperti ini :

$$t_0 = t_p + t_{cb}$$

keterangan :

- t_0 = total waktu yang digunakan untuk memutuskan hubungan.
- t_p = waktu bereaksinya unit relay.
- t_{cb} = waktu yang digunakan untuk pelepasan CB

d. Kepekaan (*Sensitifitas*)

Kepekaan merupakan suatu tindakan kepekaan rele/relay pada saat terjadi gangguan ketika peralatan-peralatan sedang beroperasi. Pada kondisi ini sensitifitas dalam sistem proteksi ditentukan dengan oleh values atau nilai minimal yang sudah ditetapkan pada sistem proteksi pada saat sistem proteksi sudah beroperasi.

e. Ekonomis (*Economic*)

Pada perencanaan sistem proteksi tidak lepas dari faktor ekonomis. Relay yang digunakan harus ekonomis akan tetapi tidak mengesampingkan empat hal yang sangat vital seperti diatas tersebut. Pada sistem proteksi mempunyai dua hal yang perlu diperhatikan yaitu proteksi utama dan proteksi bantu. Pada proteksi utama berfungsi untuk membebaskan sistem pada gangguan yang perlu diproteksi secepat mungkin. Proteksi pembantu dipasang pada bagian trafo arus,

trafo tegangan dan pemutus tenaga untuk keandalan yang mutlak 100%.

2.5 Gangguan pada Transformator

Pada peralatan transformator, sering terjadi suatu masalah/gangguan yang dapat mengancam keandalan transformator tersebut. Dalam setiap terjadinya gangguan transformator, terdapat contoh gangguan dan cara perhitungan untuk mengetahui nilai gangguan tersebut beserta proteksinya antara lain:

2.5.1 Gangguan pada trafo daya

Pada jenis gangguan yang terjadi trafo tenaga biasanya dapat di kategorikan menjadi beberapa macam gangguan, diantaranya sebagai berikut :⁸

1. Gangguan Internal

Pada Gangguan Internal ini merupakan gangguan yang terjadi didalam daerah proteksi trafo. Pada gangguan ini hanya sebatas gangguan yang terjadi didalam maupun diluar proteksi tenaga atau hanya sebatas CT. Namun ada beberapa macam tipe jenis gangguan yang mengakibatkan nya, antara lain :

- Kebocoran pada minyak.
- Gangguan yang terjadi pada tap changer.
- Ketidaktahanan terhadap arus gangguan.
- Gangguan yang terjadi pada bushing.
- Gangguan yang terjadi pada sistem pendingin.
- Kegagalan isolasi.

Pada gangguan yang terjadi pada gangguan internal dapat

⁸Muhammad Arif, dan Firdaus, "Studi dan Evaluasi Setting Relai Arus Lebih pada Transformator Daya di Gardu Induk Garuda Sakti Pekanbaru", Jom FTEKNIK Volume 4 No. 1 Februari 2017.

dikelompokkan sebagai berikut :

a. Incipient fault

Pada gangguan ini merupakan gangguan yang berawal dari gangguan kecil, akan tetapi bisa berkembang menjadi gangguan besar yang berakibat fatal pada peralatan. Gangguan jenis ini tidak dapat terdeteksi trafo karena besaran dan keseimbangan tegangannya sama seperti dalam keadaan normal. Gangguannya meliputi sebagai berikut :

1) *Overheating*

- Kebocoran minyak.
- Gangguan pada sistem pendingin meliputi pompa sirkulasi minyak, kipas pendingin dan lain-lain.
- Ketidaktepatan sambungan pada komponen listrik.

Pada gangguan yang terjadi diatas dikelompokkan sebagai gangguan overheating.

2) *Overfluxing*

Pada gangguan jenis ini biasanya terjadi pada saat overvoltage dan under frekuensi yang mengakibatkan bertambahnya rugi-rugi besi yang mengakibatkan kerusakan pada isolasi pada inti besi maupun pada lilitan besi.

3) *Over Pressure*

Pada gangguan jenis ini disebabkan karena berbagai faktor gangguan, diantaranya sebagai berikut :

- Pelepasan gas yang diakibatkan *overheating*.
- Hubung singkat yang terjadi pada belitan-belitan fasa.

b. Active Fault

Pada gangguan jenis ini biasanya disebabkan kegagalan isolasi ataupun komponen yang lainnya. Pada gangguan jenis ini biasanya dipengaruhi banyak faktor, diantaranya:

- Hubungan singkat antara fasa dengan fasa maupun fasa dengan ground.

- Hubungan yang terjadi pada belitan antar fasa (intern turn).
- *Core fault*

2. Gangguan Eksternal

Pada gangguan jenis ini bisa dikategorikan sebagai gangguan yang terjadi diluar proteksi trafo. Pada gangguan ini juga memiliki berbagai faktor penyebabnya diantaranya sebagai berikut :

- Pembebanan lebih (*Overload*).
- *Overvoltage* yang diakibatkan sambaran petir.
- *Over Frequency* yang diakibatkan oleh gangguan pada sistem.
- *External fault system circuit (SC)*

2.5.2 Prinsip dasar perhitungan gangguan arus hubung singkat menggunakan aplikasi MathCAD¹¹

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi pada jaringan sistem tenaga listrik ada 3 :

Dari semua gangguan hubung singkat di atas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

1. Gangguan hubung singkat 3 fasa

$$I_{3f20} = \frac{E}{Z_{s1+j.Xtp1+j.Xts1+ZL1}} \times ib20 \quad (2.1)$$

2. Gangguan hubung singkat antara fasa atau 2 fasa

$$I_{2f20} = 0,867 \times I_{3f20} \quad (2.2)$$

3. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

$$I_{1f20} = \quad (2.3)$$

$$\frac{3.E}{\left(\frac{(Z_{s0}+RNGRP+Xtp0.j).Xtto.j}{(Z_{s0}+RNGRP+Xtp0.j)+Xtto.j} \right) + Xts0.j + RNGRS + Zs2 + Xtp2.j + Xts.j + Zs1 + Xtp1.j + Xts1.j + 2.ZL1 + ZL0} \times ib20$$

¹¹PT.PLN(PERSERO)UIP3B SUMATERA.2019.*Perhitungan Aplikasi MathCad Pemeliharaan*

4. Arus dasar

$$ib20 = \frac{MV_{Abase}}{20 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1000 \quad (2.4)$$

5. Impedansi dasar

$$zb20 = \frac{20^2}{MV_{Abase}} \quad (2.5)$$

Keterangan:

I3f 20 : Arus gangguan hubung singkat 3 fasa

I2f20 : Arus gangguan hubung singkat 2 fasa

I1f20 : Arus gangguan hubung singkat 1 fasa tanah

Ib20 : Arus dasar sekunder (Ampere)

Zb20 : Impedansi dasar sekunder (Ohm)

Zs1 : Impedansi sumber urutan positif

Xtp1 : Impedansi trafo primer positif

Xts1 : Impedansi trafo sekunder positif

ZL1 : Impedansi jaringan positif

E : Tegangan

Zso : Impedansi urutan nol

RNGRP : Tahanan NGR primer

RNGRS : Tahanan NGR sekunder

Xtp0 : Impedansi trafo primer nol

Xtt0 : Impedansi trafo tersier nol

Xts0 : Impedansi trafo sekunder nol

Zs2 : Impedansi sumber urutan negatif

Xtp2 : Impedansi trafo primer negatif

Xts2 : Impedansi trafo sekunder negative

ZL2 : Impedansi jaringan negative

ZL0 : Impedansi jaringan nol

MVA_{base} : Kapasitas daya dasar (MVA)

2.5.3 Prinsip dasar perhitungan penyetelan waktu pada rele

Penyetelan arus pada rele arus lebih umumnya didasarkan pada penyetelan batas minimumnya, dengan demikian adanya gangguan hubung singkat dibebepara seksi berikutnya, rele arusnya akan bekerja. Untuk mendapatkan pengamanan yang selektif, maka penyetelan waktunya dibuat secara bertingkat. Syarat untuk men setting waktu (Td/Time dial atau TMS/Time multiple setting) rele arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik, harus diketahui terlebih data Besarnya arus hubung singkat ,data setting arusnya (Iset),dan data Kurva karakteristik rele yang dipakai.

Untuk persamaan yang dapat di gunakan untuk menghitung Td (time dial) atau TMS (Time multiple setting) adalah :⁹

$$T_{ms} = \frac{\left(\frac{I_{f20}}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1}{0,14} \quad (2.6)$$

Keterangan:

Td : Time delay

Iset : Arus hubung singkat

0,02 : Standard kemanan karakteristik invers

0,14 : Standard kemanan peralatan rele

2.6 Sistem Proteksi Pada Trafo Daya

Pada sistem proteksi utama merupakan sebuah sistem yang diprioritaskan untuk meminimalisir gangguan yang terjadi pada trafo pada saat kondisi trafo kurang tidak normal. Pada sistem ini diharapkan untuk memprakarsainnya ketika terjadi gangguan pada daerah trafo yang dilindunginya. Pada sistem proteksi ini juga memiliki ciri-ciri pengamanya sebagai berikut:

⁹PT.PLN(PERSERO)P3B SUMATERA.2007.*Buku Pedoman Operasi dan Pemeliharaan (O&M)Rele Proteksi*. Padang:PT.PLN(PERSERO)

Ciri-Ciri Pengaman Utama

- Waktu kerja pada sistem sangat cepat.
- Tidak dikoordinasikan dengan rele yang berada pada komponen.
- Tidak bergantung pada proteksi lainnya.
- Daerah pengamannya dipasang rele/*relay differensial* yang dibatasi oleh trafo arus.

2.6.1 Fungsi proteksi pada trafo daya

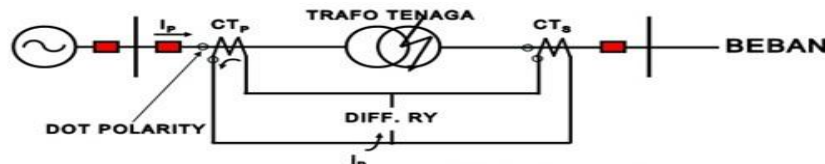
Pada fungsi proteksi tersebut berfungsi sebagai perencanaan sistem proteksi pada peralatan listrik sesuai dengan kebutuhan pada bagian-bagian komponen yang ketika terjadi gangguan bisa mengakibatkan kerusakan pada tahanan trafo. Pada fungsi proteksi ini juga agar tercapai selektifitas dan efektifitas dari kinerja peralatan komponen proteksi seperti yang di harapkan. Pada fungsi proteksi memiliki beberapa jenis rele, adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Jenis Gangguan dan Rele Proteksi

No	Jenis gangguan	Proteksi		Akibat
		Utama	Back up	
1.	Hubung singkat pada trafo daerah pengaman trafo	- Differensial - REF - Bucholz - Tek. lebih	- OCR - GFR	- Kerusakan pada isolasi dan inti - Mengakibatkan tangki melembung.
2.	2 hubung singkat pada luar daerah pengaman trafo	- OCR - GFR - SBEF	- OCR - GFR	- Kerusakan pada isolasi NGR
3.	3 beban lebih	Rele suhu	- OCR	Kerusakan isolasi
4.	Gangguan pada sistem pendingin	Rele suhu	-	Kerusakan isolasi
5.	Gangguan OLTC	- Tek. lebih - Janaen	-	Kerusakan OLTC

6.	Tegangan lebih	- OVR - LA	-	Kerusakan isolasi
----	----------------	---------------	---	-------------------

2.6.2 Proteksi utama trafo daya

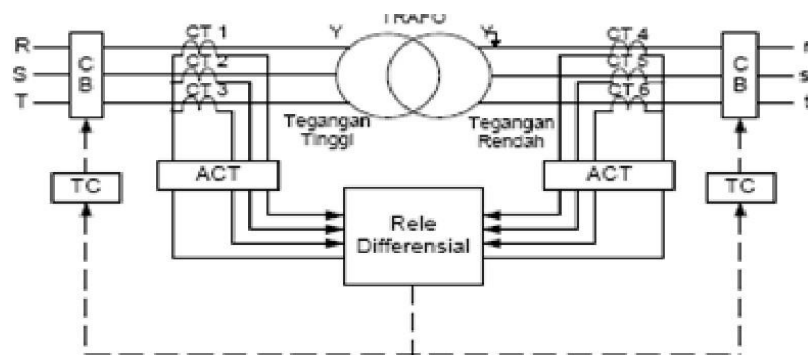


Gambar 2.9 Proteksi pada Trafo Daya

1. Relay Differensial (87/7)

Rele/Relay arus yang bekerja sesuai hukum kirchoff, dengan menentukan jumlah arus yang mengalir. Jumlah arus yang masuk

harus sama dengan jumlah arus yang keluar. Jadi rele/relay ini bekerja menentukan jumlah besaran arus yang mengalir pada daerah pengamannya. Fungsi rele/relay differensial pada trafo tenaga adalah mengamankan trafo dari gangguan hubung singkat yang terjadi didalam trafo tenaga. Biasanya hubung singkat yang dialami antara lain hubung singkat antar kumparan, hubung singkat antara kumparan dengan tangki. Jenis rele/relay ini bekerja selama ada gangguan internal dan rele/relay ini tidak dapat bekerja ketika gangguan berada di luar daerah pengamannya.

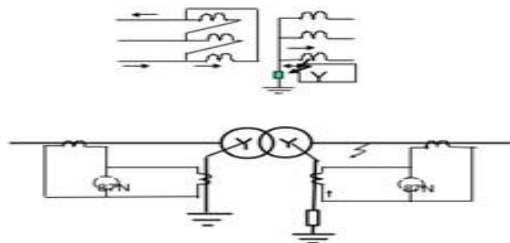


Gambar 2.10 Relay Differensial

2. Restricted Earth Fault (REF)

Restricted Earth Fault (REF) merupakan rele/relay yang bekerjanya

dengan cara membandingkan besaran arus pada kedua sisi sekunder trafo yang beroperasi, akan tetapi untuk bekerjanya akan dibatasi pada daerah CT fasa dan CT titik netral. Rele/Relay ini berfungsi untuk mengamankan trafo terhadap tanah dalam daerah pengaman trafo khususnya untuk gangguan di dekat titik netral yang tidak dapat dirasakan oleh *Relé/Relay Differensial*.



Gambar 2.11 *Restricted Earth Fault (REF)*

2.6.3 Proteksi cadangan trafo daya ¹⁰

Pada proteksi cadangan trafo ini merupakan sebuah sistem yang dirancang sedemikian rupa untuk bekerja pada saat terjadi gangguan pada sistem akan tetapi tidak dapat dideteksi dalam jangka waktu tertentu oleh peralatan (pengaman utama) akibat kerusakan atau ketidakmampuan sebagai pemutus tenaga.

Pada peralatan proteksi cadangan ini dipasang untuk mencegah gangguan yang terjadi pada sistem ketika proteksi utama tidak bisa bekerja sebagaimana mestinya.

Ciri-ciri proteksi cadangan

- Waktu kerjanya lebih lama daripada proteksi utama atau waktu tunda (*delay time*) untuk memberi kesempatan pada proteksi untuk bekerja terlebih dahulu.
- Pemasangan proteksi cadangan terpisah dari proteksi utama.
- Pada proteksi cadangan harus dikoordinasikan pada proteksi cadangan

¹⁰PT.PLN(PERSERO).2013.*Buku Pedoman dan Petunjuk Sistem Proteksi Transmisi dan Gardu Induk Jawa Bali*. Jakarta:PT.PLN(PERSERO)

Pada proteksi trafo tenaga pada umumnya akan dipasang beberapa rele/relay yang terdiri dari OCR yang berfungsi sebagai pengaman fasa gangguan 3 fasa dan akan dipasang GFR yang berfungsi sebagai pengaman gangguan 1 fasa ketanah.

a. Rele/Relay proteksi cadangan trafo tenaga

1) Rele/Relay Arus lebih (*Over Current Relay*)

Pada rele/relay arus lebih ini prinsip kerjanya dengan melakukan pengukuran arus, yaitu ketika arus melebihi batas nilai settingannya maka rele/relay arus lebih akan bekerja. Pada rele/relay OCR dirancang sebagai pengaman cadangan trafo pada saat trafo mengalami gangguan hubung singkat baik di dalam trafo maupun diluar trafo. Maka dari itu settingan pada nilai OCR harus lebih besar daripada arus nominal trafo yang diamankan (110% - 120% dari nominal) sehingga rele/relay OCR tidak bekerja ketika trafo di beri beban nominal, akan tetapi perlu diperhatikan nilai setting rele/relay masih akan bekerja ketika terjadi gangguan pada saat terjadi hubung singkat antara fasa-fasa minimum.

Karakteristik waktu kerja rele/relay OCR sebagai berikut :

- *Long time inverse*
- *Very inverse*
- *Normal/standar inverse*
- *Definite*

Pada peralatan rele/relay OCR ini dipergunakan untuk mendeteksi gangguan antara fasa-fasa dan memiliki karakteristik inverse (ketika gangguan yang dirasakan semakin besar maka waktu kerja rele/relay semakin cepat) atau definite time (waktu kerja tetap sama untuk setiap besaran gangguan). Pada rele/relay arus lebih juga akan ada istilah dengan fungsi *highset* yang bekerja setika (moment/instantaneous). Pada karakteristik inverse mengacu pada standar IEC atau ANSI/IEEE. Pada rele/relay ini akan dipergunakan

sebagai proteksi cadangan karena pada rele/relay ini tidak dapat menentukan titik gangguan secara tepat, dan ditunjuk sebagai pengaman cadangan ketika proteksi utama gagal mendeteksi ketika terjadi gangguan.

Untuk mengkoordinasikan kepada rele/relay arus lebih disisi lain maka karakteristik yang akan digunakan sebagai proteksi penghantar yaitu dengan kurva yang sama dengan menggunakan *standar inverse* (IEC) / *Normal inverse* (ANSI/IEEE).

Prinsip dasar perhitungan setting arus lebih (OCR)

Rele arus lebih yang di kenal dengan OCR (*Over Current Relay*) bekerja untuk mendeteksi adanya hubung singkat antar fasa. Untuk *setting arus OCR* pada sisi primer dan sekunder trafo tenaga terlebih dahulu harus di hitung arus nominal transformator tenaga. Arus *setting* untuk rele OCR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga :

$$I_{set}(\text{prim}) = 1,2 \times I_{nom} \quad (2.7)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai *setting* pada sekunder yang dapat di *setting* pada rele OCR, maka harus di hitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi sekunder di transformator tenaga. Berikut persamaan dari *setting* arus pada rele OCR :

$$I_{set}(\text{sekunder}) = I_{set}(\text{primer}) \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \quad (2.8)$$

Keterangan :

$I_{set}(\text{primer})$: Arus *setting* primer

$I_{set}(\text{sekunder})$: Arus nominal pada transformator

Rasio CT : Rasio pada rele OCR

Setting waktu pada rele OCR

Relay Characteristic	Equation (IEC 60255)
Standard Inverse (SI)	$t = TMS \times \frac{0.14}{I_r^{0.02} - 1}$
Very Inverse (VI)	$t = TMS \times \frac{13.5}{I_r - 1}$
Extremely Inverse (EI)	$t = TMS \times \frac{80}{I_r^2 - 1}$
Long time standby earth fault	$t = TMS \times \frac{120}{I_r - 1}$

Gambar 2.12 Konstanta Standard Equation (IEC 60255)

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

Pada rele/relay *ground fault relay* prinsip kerjanya sama dengan OCR dengan melakukan pengukuran arus. Rele/Relay ini akan bekerja ketika nilai arus melebihi besaran nilai settingannya. Pada rele/relay ini dirancang sebagai relay cadangan yang akan bekerja ketika pengaman utama tidak bisa mendeteksi gangguan kemudian relay ini akan bekerja sebagaimana mestinya. Jika terjadi hubung singkat antara fasa dengan tanah relay ini akan bekerja baik gangguan yang terjadi didalam maupun diluar. Nilai setting pada GFR akan lebih kecil daripada nilai setting OCR karena gangguan yang akan di alami lebih kecil daripada gangguan yang terjadi pada fasa dengan fasa.

Karakteristik waktu kerja relay GFR sebagai berikut :

- *Long time inverse*
- *Very inverse*
- *Normal/standar inverse*
- *Definite*

Pada rele/relay ini dipergunakan sebagai proteksi ketika terjadi gangguan pada sistem yang terjadi pada fasa dengan tanah,

sehingga karakteristik yang akan digunakan juga lebih rendah daripada rele/relay OCR. Pada settingan GFR *highset* diblok, kecuali tanahan 500 ohm pada sisi sekundernya.

Prinsip dasar perhitungan setting hubung tanah (GFR)

Rele hubung tanah yang di kenal dengan GFR (*Ground Fault Relay*) bekerja untuk mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah. Untuk *setting arus GFR* pada sisi primer dan sekunder trafo tenaga terlebih dahulu harus di hitung arus nominal transformator tenaga. Arus *setting* untuk rele GFR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga :

$$I_{set}(\text{prim}) = 0,2 \times I_{nom} \quad (2.9)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai *setting* pada sekunder yang dapat di *setting* pada rele GFR, maka harus di hitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi sekunder di transformator tenaga. Berikut persamaan dari *setting* arus pada rele GFR :

$$I_{set}(\text{sekunder}) = I_{set}(\text{primer}) \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \quad (2.10)$$

Keterangan :

$I_{set}(\text{primer})$: Arus *setting* primer

$I_{set}(\text{sekunder})$: Arus nominal pada transformator

CT : Rasio pada rele GFR

3) *Stand By Earth Faulth* (SBEF)

Pada rele/relay *stand by earth faulth* (SBEF) ini berfungsi untuk mengamankan gangguan pada sistem pertanahan dengan *netral ground fault* (NGR) pada trafo. Di Indonesia sendiri terdapat beberapa jenis pengaman sistem pertanahan, antara lain pertanahan rendah (12, 40 ohm), untuk pertanahan langsung (*solid*), dan pertanahan tinggi (500 ohm).

a) Settingan rele/relay SBEF dengan mempertimbangkan faktor-faktor diantaranya :

- Pola pertanahan netral trafo.

- Ketahanan termis tanah netral trafo (NGR).
- Sensitifitas rele/relay pada gangguan tanah.
- Pengaruh terhadap konfigurasi belitan (dipasang belitan delta atau tidak).

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

Pada rele/relay *over voltage relay* dan *under voltage relay* ini berfungsi untuk mengamankan peralatan terhadap gangguan yang terjadi karena pengaruh perubahan tegangan lebih maupun tegangan kurang. Pada rele/relay ini mempunyai karakteristik atau batasan maksimum dan minimum dalam mengamankan peralatan sesuai dengan nilai settingnya. Jika tegangan operasi tegangan melebihi batas maksimum, maka peralatan tersebut bisa mengalami kerusakan.

a) Karakteristik Kerja OVR

- Dipergunakan sebagai pengaman pada saat terjadi gangguan fasa ke tanah (pergeseran titik netral) untuk jaringan yang akan disuplai oleh trafo tenaga dan dimana titik netralnya akan ditanahkan melalui tahanan tinggi atau mengambang.
- Akan digunakan pada pengaman gangguan fasa ke tanah pada stator generator dan dimana pada titik netralnya akan ditanahkan menggunakan trafo distribusi.
- Akan digunakan pada gangguan *overspeed* pada generator.

b) Karakteristik Kerja UVR

- Akan digunakan untuk mencegah ketika starting pada motor ketika terjadi penurunan tegangan.
- Akan digunakan atau diaplikasikan dengan pengaman sistem sehingga dapat dikombinasikan dengan rele/relay yang memiliki frekuensi kurang

2.7 Aplikasi MathCAD

Dalam penjelasan terkait aplikasi MathCAD terbagi dari beberapa bagian antara lain:

2.7.1 Pengertian aplikasi MathCAD

MathCAD adalah perangkat lunak (software) perhitungan rekayasa yang mendorong inovasi dan menawarkan keuntungan yang signifikan atas produktivitas pribadi dan proses untuk pengembangan produk yang berkaitan dengan proyek-proyek rekayasa desain. MathCAD ditujukan untuk verifikasi, validasi, dokumentasi, dan menggunakan perhitungan rekayasa. Diperkenalkan pertama kali tahun 1986, MathCAD digunakan pada sistem operasi MS-DOS. Versi pertamanya secara otomatis menghitung dan memeriksa konsistensi dari unit teknik seperti sistem Satuan Internasional (SI). Kini, Mathcad telah meliputi beberapa kemampuan dari suatu sistem aljabar komputer, tetapi tetap berorientasi pada kemudahan penggunaan dan aplikasi rekayasa numerik.⁵

2.7.2 Fungsi aplikasi MathCAD

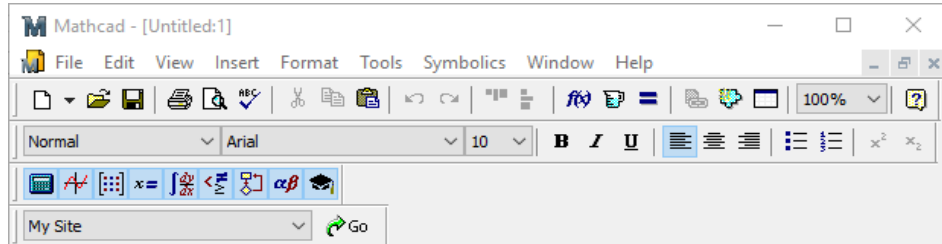
MathCAD memberikan semua kemampuan pemecahan, fungsionalitas, dan ketahanan yang diperlukan untuk perhitungan, manipulasi data, dan pengerjaan desain teknik. Interfacenya membuat fitur yang umum digunakan dapat diakses dan alami. Dengan mengizinkan teks, rumus matematika, dan grafik untuk digabungkan dalam satu lingkungan lembar kerja, solusi mudah divisualisasikan, digambarkan, diverifikasi, dan dijelaskan.

2.7.3 Ruang *Interface* pada aplikasi MathCAD

Berikut merupakan ruang *interface* yang terdapat dalam MathCAD. Diantaranya adalah *calculator toolbar*, *graph toolbar*, *vector* dan *matrix*

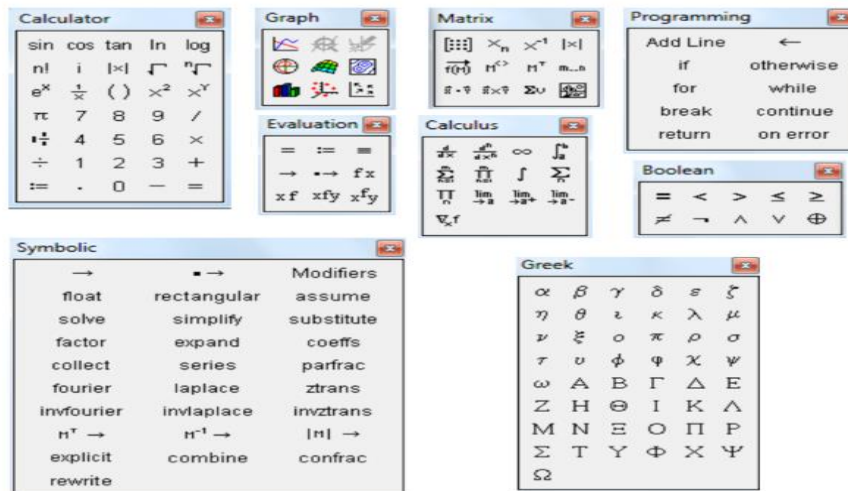
⁵Dyestisari, Gracia, "Analisis Scanning dan Setting Distance Relay SUTT 150 kV Mranggen-Purwodadi 1-2 dengan Aplikasi MathCAD", (Semarang, Universitas Islam Sultan Agung, 2018).

toolbar, evaluation toolbar, calculus toolbar, Boolean toolbar, programming toolbar, greek symbol toolbar dan symbolic keyword toolbar.



Gambar 2.13 *Toolbar* pada MathCAD

Bagian-bagian dari *Toolbar Math* antara lain :



Gambar 2.14 *Toolbar Math*