

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gardu Induk

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). fungsi dari Gardu Induk untuk mentransformasikan dari tegangan ekstra tinggi sampai tegangan rendah dengan menggunakan peralatan utama gardu induk yaitu Transformator, dan penghantar (kabel), selain itu Gardu Induk dituntut untuk mengamankan jaringan penghantarnya yang kemudian gardu induk dilengkapi dengan sistem proteksi, serta panel kontrol untuk mengawasi dan mengamankan jika terjadi gangguan pada jaringan.¹

2.1.2 Klasifikasi gardu induk

Klasifikasi gardu induk berdasarkan tempat pemasangannya dapat dibedakan menjadi 2 yaitu :

a. Gardu Induk Transmisi



Gambar 2.1 Gardu Induk Transmisi

¹ Yusmartato, 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.



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 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 (rumah, kantor, masjid, dan lain-lain). Pada GI ini mendapatkan daya listrik dari sistem transmisi yang kemudian diturunkan dengan menggunakan transformator (*stepdown*) yang kemudian disalurkan melalui jaringan distribusi untuk konsumen (rumah, kantor, masjid, dan lain sebagainya).

2.1.3 Komponen utama pada gardu induk

Gardu induk memiliki komponen-komponen dalam menjalankan sistem operasi, kontrol, dan pemeliharaannya sesuai fasilitas dan kegunaanya. Adapun macam-macam komponen yang dimaksud adalah sebagai berikut :²

² Samuel Marco Gunawan dan Julius Santosa, “Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan”, JURNAL DIMENSI TEKNIK ELEKTRO Vol. 1, No. 1, (2013) 37-42.



1. *Transformator*

Transformator adalah sebuah peralatan yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan listrik yang kemudian mentransformasikan ke beban melalui jaringan distribusi. Selain itu, transformator daya juga berfungsi untuk pengaturan tegangan.

Transformator daya dilengkapi dengan trafo pentanahan yang berfungsi untuk mendapatkan titik netral dari trafo daya. Peralatan ini disebut *Neutral Current Transformer (NCT)*. Perlengkapan lainnya adalah pentanahan trafo, yang disebut *Neutral Grounding Resistance (NGR)*.



Gambar 2.3 Transformator

2. *Neutral Grounding Relay (NGR)*

Komponen jenis ini biasanya digunakan sebagai pengaman ketika terjadi gangguan dengan cara memperkecil arus gangguan yang terjadi. Pada peralatan ini biasa dipasang antara titik netral trafo dengan pertanahan.

Gambar 2.4 *Neutral Grounding Relay (NGR)*

3. *Circuit Breaker (CB) / Pemutus Tenaga (PMT)*

Peralatan ini biasanya berfungsi sebagai saklar atau pemutus rangkaian listrik dalam keadaan berbeban ketika terjadi gangguan. Alat ini juga digunakan meskipun jaringan dengan keadaan normal maupun dengan keadaan sedang terjadi gangguan. Namun dalam operasinya peralatan ini dibantu dengan menggunakan beberapa peralatan bantu, karena ketika CB beroperasi CB akan mengeluarkan busur api, dengan demikian CB dilengkapi macam-macam peralatan pemadam api sebagai berikut pemutusny :

- a. Minyak
- b. Udara
- c. Gas

Gambar 2.5 *Circuit Breaker*



4. *Disconetting Swicth (DS) / Saklar Pemisah*

Peralatan pemisah atau DS ini biasanya digunakan sebagai pemisah rangkaian listrik ketika tidak dalam keadaan berbeban. Peralatan jenis ini berkeja ketika CB sudah bekerja memutuskan rangkaian berbeban kemudian DS ini baru bekerja sesuai fungsinya. Pemasangan pada peralatan ini dibagi menjadi beberapa bagaian antara lain :

- a. Pemisah peralatan
- b. Peralatan Pertanahan



Gambar 2.6 Saklar Pemisah

5. *Lightning Arrester (LA)*

Peralatan ini biasanya berfungsi sebagai pengaman ketika terjadi sambaran petir pada rangkaian listrik atau kawat penghantar. Prinsip kerja pada peralatan ini adalah ketika rangkaian dalam keadaan normal maka alat ini sebagai isolatif namun ketika rangkaian dalam keadaan gangguan maka alat ini akan menjadi induktif atau mengalirkan arus listrik ke tanah.



Gambar 2.7 Ligthning Arrester



6. Rel Busbar

Peralatan ini berfungsi sebagai titik pertemuan atau penghubung antar komponen pada gardu induk. Misalnya transformator daya, SUTT, serta komponen listrik penghubung lainnya. Pada peralatan ini biasanya dibuat dari bahan tembaga.



Gambar 2.8 Rel Busbar

7. Panel Kontrol

Peralatan ini dibagi menjadi beberapa bagian sesuai fungsi panel kontrol yang digunakan untuk mengontrol operasi gardu induk itu sendiri, antara lain :

a. Panel Kontrol Utama

Peralatan ini berfungsi untuk pengontrol pengoperasian utama komponen-komponen yang ada pada gardu induk. Dalam pengontrolan nya pada peralatan ini memiliki dua panel yaitu panel operasi dan panel instrument.



Gambar 2.9 Panel Kontrol Utama



b. Panel Proteksi

Peralatan ini berfungsi sebagai pengaman ketika terjadi gangguan pada rangkaian listrik pada gardu induk maupun kesalahan operasi peralatan.



Gambar 2.10 Panel Proteksi

8. Baterai

Baterai berfungsi untuk menggerakkan peralatan kontrol proteksi saat terjadi gangguan. Baterai menjadi sumber tenaga dalam fungsi kerjanya sebagai sumber tenaga proteksi pada gardu induk, maka baterai mempunyai keandalan dan peranan sangat tinggi.



Gambar 2.11 Baterai

9. Cubicle

Peralatan ini berfungsi untuk mendistribusikan daya yang dihubungkan dengan penyulang. Cubicle adalah sebuah sistem gardu induk untuk tegangan 20 KV yang berawal dari output daya yang dihubungkan pada penyulang untuk kemudian di distribusikan kepada konsumen. Pada peralatan cubicle ini juga dibantu pengoperasiannya



oleh beberapa komponen yaitu :

- a. Panel penghubung
- b. Incoming cubicle 20 KV
- c. Current Breaker (CB) dan Circuit Breaker (CB)
- d. Komponen Proteksi dan Pengukuran
- e. Bus sections
- f. Penyulang



Gambar 2.12 Cubicle

10. Kapasitor

Peralatan ini berfungsi untuk memperbaiki tegangan sesuai yang diinginkan. Biasanya kapasitor ini dipasang pada GI yang jauh dari pembangkit ketika beban yang besar akan turun maka kapasitor ini akan menstabilkan tegangan tersebut.

11. Reaktor

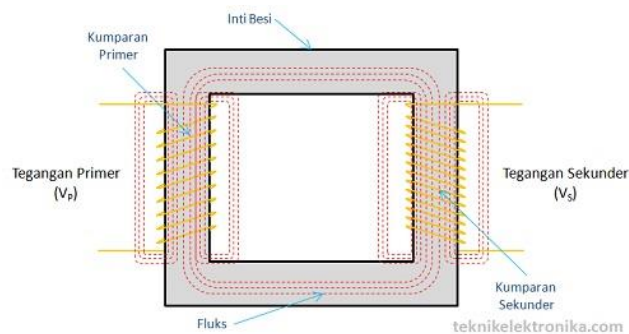
Peralatan ini biasanya pada jaringan ekstra tinggi atau tinggi yang digunakan untuk pengatur tegangan dan meminimalisir arus hubung singkat yang terjadi pada jaringan. Pada jaringan tegangan ekstra tinggi atau tinggi akan mengalami kenaikan kapasitansi yang disebabkan panjangnya jaringan pengantarnya dan tegangan yang naik melebihi batasannya akan sangat berbahaya maka dari reaktor dipasang di ujung penghantar jaringan agar tegangan tetap stabil.



2.2 Transformator

2.2.1 Prinsip kerja transformator

Transformator 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 (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.³ 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 2.13 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

³ Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik*, (Penerbit ITB Bandung, 1991), hlm 15.



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

Klasifikasi Transformator berdasarkan karakteristiknya dibedakan menjadi 3 jenis yaitu :

a. Trafo Daya / Transformator Tenaga (*Powet 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 2.14 Trafo Daya

b. Trafo Ukur (*Transfromator Instrument*)

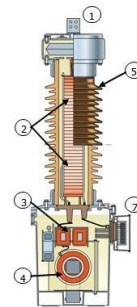
Trafo ini memiliki beberapa kelebihan sesuai keunggulan desainnya, antara lain, tahan terhadap berbagai tingkatan beban, keandalan alat sangat baik dan secara fisik bentuk transformator ini lebih klasik dan secara ekonomi lebih murah. Trafo pengukuran meliputi :

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

Trafo tegangan adalah trafo yang digunakan untuk menaikkan 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 2.15 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 2.16 Trafo Arus

c. Transformator Bantu

Transformator jenis ini biasanya digunakan untuk membantu operasinya keseluruhan dari sistem gardu induk tersebut. Jadi



peralatan ini berguna untuk mensuplai alat-alat bantu seperti motor 3 fasa yang digunakan untuk mensirkulasi minyak pada trafo serta membantu dalam pendingin dengan motor-motor kipas pendingin. Akan tetapi kegunaan yang terpenting pada peralatan ini digunakan untuk pasokan cadangan sumber arus DC yang berfungsi ketika terjadi gangguan pada proteksi ketika tidak ada pasokan dari arus AC. Transformator ini sering disebut juga trafo pemakaian sendiri karena memiliki karakteristik yang berfungsi sebagai penyimpan arus DC (baterai) serta peralatan bantu lainnya seperti penerangan, sumber sirkulasi pada ruang baterai, penggerak mesin pendingin (*Air Conditioner*) karena banyak menggunakan sistem proteksi elektronika yang memerlukan temperature yang diperulakan oleh ruangan diantara 20° sampai 28°.

2.3 Sistem Proteksi

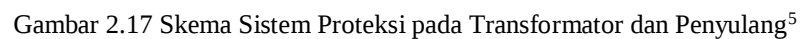
2.3.1 Pengertian sistem proteksi

Sistem proteksi sistem tenaga listrik adalah sebuah sistem yang berfungsi sebagai pengaman ketika terjadi keadaan abnormal pada suatu rangkaian listrik. Sistem proteksi ini biasanya dipasang pada peralatan-peralatan sistem tenaga listrik antara lain generator, saluran transmisi, busbar, transformator, saluran distribusi, dan lain-lain. Dalam kondisi abnormal dapat dikategorikan sebagai berikut hubung singkat, arus lebih, tegangan lebih, frekuensi terganggu dan lain sebagainya.⁴

2.3.2 Pembagian daerah proteksi

Sistem tenaga listrik dibagi ke dalam suatu seksi-seksi yang dibatasi oleh PMT. Tiap seksi memiliki rele pengaman dan memiliki daerah pengamanan (*Zone of Protection*). Bila terjadi gangguan, maka rele akan bekerja mendeteksi gangguan dan PMT akan trip. Gambar

⁴ Ardino Sitinjak, *Proteksi Sistem Tenaga Listrik*, (Medan, Fakultas Teknik Elektro Universitas Negeri Medan, 2012), hlm 3.



Batas setiap daerah menunjukkan bagian sistem yang bertanggung jawab untuk memisahkan gangguan yang terjadi di daerah tersebut dengan sistem lainnya. Aspek penting lain yang harus diperhatikan dalam pembagian daerah proteksi adalah bahwa daerah yang saling berdekatan harus saling tumpang tindih (*overlap*), hal ini dimaksudkan agar tidak ada sistem yang dibiarkan tanpa perlindungan. Pembagian daerah proteksi ini bertujuan agar daerah yang tidak mengalami

⁵ KEPDIR No 0520-3, *Buku Pedoman Pemeliharaan Sekunder GI*, (Jakarta, Perusahaan Umum Listrik Negara, 2014)



gangguan tetap dapat beroperasi dengan baik sehingga dapat mengurangi daerah terjadinya pemadaman.⁶

2.3.3 Pembagian tugas dalam sistem proteksi

Sistem proteksi memiliki pembagian tugas dapat diuraikan menjadi :

- a. Proteksi utama, berfungsi untuk mempertinggi keandalan, kecepatan kerja, dan fleksibilitas sistem proteksi dalam melakukan proteksi terhadap sistem tenaga.
- b. Proteksi pengganti, berfungsi jika proteksi utama menghadapi kerusakan untuk mengatasi gangguan yang terjadi.
- c. Proteksi tambahan, berfungsi untuk pemakaian pada waktu tertentu sebagai pembantu proteksi utama pada daerah tertentu yang dibutuhkan.

2.4 Rele Proteksi

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.

2.4.2 Fungsi rele proteksi

Fungsi relai proteksi pada suatu sistem tenaga listrik antara lain :

- a. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankannya.
- b. Melepaskan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya dapat terus beroperasi.
- c. Memberitahu operator tentang adanya gangguan dan lokasinya.

⁶ I 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.



2.4.3 Persyaratan rele proteksi

Rele proteksi dalam menjalankan suatu sistem memiliki faktor-faktor yang harus dipenuhi agar suatu sistem rele dapat bekerja dengan baik. Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam suatu sistem rele adalah :⁷

a. Keandalan (*Reliability*)

Sistem ini akan dikatakan andal ketika berfungsi ketika terjadi gangguan. Akan tetapi pada sistem ini akan dikatakan tingkat keandalannya rendah ketika sistem ini tidak bekerja sebagaimana mestinya dan bekerja ketika tidak dibutuhkan. Keandalan rele/relay akan dikatakan baik memiliki tingkatan nilai yang seharusnya, ada 2 keandalan rele/relay antara lain :

- 1) Dependability : berarti rele/relay akan bekerja dengan normal
- 2) Security : memiliki pemetaan yaitu tidak boleh bekerja ketika seharusnya rele/relay tidak bekerja.

b. Selektivitas (*Selectivity*) dan Diskriminatif

Persyaratan ini diharapkan 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 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.

⁷ Ardianto, 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.



c. Kecepatan Operasi (*Speed of Operation*)

Sistem proteksi harus memiliki kecepatan mendeteksi gangguan pada saat sistem tenaga listrik bekerja. Dalam hal ini merupakan persyaratan yang sangat vital pada sistem proteksi karena berfungsi untuk meningkatkan mutu pelayanan, pengaman untuk manusia, peralatan dan untuk stabilitas operasi. Pada sistem tenaga juga memiliki karakteristik gangguan serta memiliki batas-batas stabilitas dan terkadang sifat gangguan yang sementara, maka dari itu rele/relay yang sebenarnya beroperasi dengan cepat akan diperlambat (*time delay*).

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*)

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. Pada proteksi pembantu bekerja ketika proteksi utama tidak mampu bekerja melindungi daerah selanjutnya dengan melambatnya waktu yang lebih lama pada rele/relay utama. Biasanya proteksi pembantu dipasang pada bagian trafo arus, trafo tegangan dan pemutus tenaga untuk keandalan yang mutlak 100%.



2.5 Gangguan pada Transformator

2.5.1 Jenis - jenis gangguan

Jenis gangguan ini jika ditinjau dari sifat dan penyebab terjadi gangguannya akan dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis gangguan antara lain :⁸

a. Tegangan lebih (*Over Voltage*)

Gangguan ini biasanya disebabkan karena tegangan yang mengalir pada komponen melebihi pada batasan nilai *setting*. Pada jenis ini bisa disebabkan karena faktor internal dan faktor eksternal pada sistem. Misalnya :

- Faktor internal

Gangguan ini biasanya terjadi pada isolasi yang disebabkan perubahan mendadak pada kondisi rangkaian atau karena resonansi. Misalnya, perubahan beban terjadi secara tiba-tiba, operasi hubung yang terjadi pada saluran tanpa beban, pelepasan PMT yang mendadak karena hubung singkat, kegagalan isolasi dan lain sebagainya.

- Faktor eksternal

Gangguan ini biasanya terjadi disebabkan karena sambaran petir. Hal ini terjadi karena adanya loncatan energi listrik pada awan yang bermuatan positif dan negatif dari awan ke awan atau dari awan ke tanah. Karena kumpulan awan yang bermuatan listrik mengakibatkan bertemunya muatan positif dan muatan negatif yang berbeda tegangan tersebut.

b. Hubung singkat

Hubung singkat ialah sebuah gangguan yang terjadi karena adanya hubungan penghantar bertegangan maupun penghantar tidak bertegangan secara langsung tanpa melalui perantara (resistor atau beban) yang semestinya yang mengakibatkan aliran tegangan listrik

⁸ Muhammad 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.



yang sangat besar (abnormal). Maka dari itu hubung singkat tidak bisa dihindarkan dari sistem tenaga listrik terutama pada jaringan 3 fasa. Meskipun pada peralatan sudah dipasang pengaman atau isolasi semacam apapun, karena penggunaan yang terus menerus mengakibatkan penurunan fungsi pada isolasi yang melindungi sistem. Misalnya karena faktor umur isolasi, keasusan pada isolasi, dan lain sebagainya yang menyebabkan penurunan fungsi pada isolasi tersebut. Hal ini yang menyebabkan terjadinya hubung singkat.

Bentuk pada beban isolasi padat maupun cair ketika terjadi gangguan akan menimbulkan busur api, sehingga akan mengakibatkan kerusakan yang tetap, maka gangguan jenis ini adalah gangguan permanen. Pada gangguan yang terjadi pada saluran udara yang terjadi gangguan yang menimbulkan busur api akan tetapi setelah itu bisa padam, maka gangguan itu termasuk jenis gangguan yang temporer atau sementara. Maka dari itu dengan adanya arus gangguan yang sangat besar dan itu akan sangat membahayakan peralatan untuk mengamankan daerah peralatan yang terganggu agar tidak terjadi kerusakan yang sangat vital maka dilengkapi dengan pemutus tenaga atau sering disebut *circuit breaker* (CB).

Gangguan hubung singkat yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik 3 fasa antara lain:

- Satu fasa dengan tanah
- Fasa dengan fasa
- Fasa dengan fasa dan pada waktu bersamaan dari fasa ke 3 dengan tanah
- Tiga fasa dengan tanah.
- Hubung singkat 3 fasa.

Gangguan empat jenis yang pertama tidak akan menimbulkan gangguan yang tidak simetris akan tetapi untuk dua gangguan selanjutnya akan menimbulkan gangguan simetris. Pada hal ini



perhitungan sangat dibutuhkan untuk mengetahui kemampuan pemutus tenaga yang digunakan dan sebagai koordinasi pada rele yang akan digunakan pada sistem.

c. Beban lebih (*Over load*)

Gangguan ini biasanya terjadi akibat pemakaian daya listrik yang melewati batasannya atau jumlah daya listrik yang dihasilkan oleh pembangkit. Pada gangguan ini biasanya terjadi pada generator dan trafo daya. Akan tetapi biasanya gangguan beban lebih ini memiliki ciri yang berakibat pada pemanasan yang berlebih pada peralatan isolasi yang mengakibatkan penurunan fungsi atau bahkan kerusakan pada peralatan isolasi itu sendiri. Pada penyaluran energi listrik pada konsumen yang menggunakan trafo sekunder akan dipasang rele beban lebih yang berfungsi sebagai pengaman ketika terjadi beban yang digunakan oleh konsumen melebihi pasokan listrik atau melebihi kapasitas trafo.

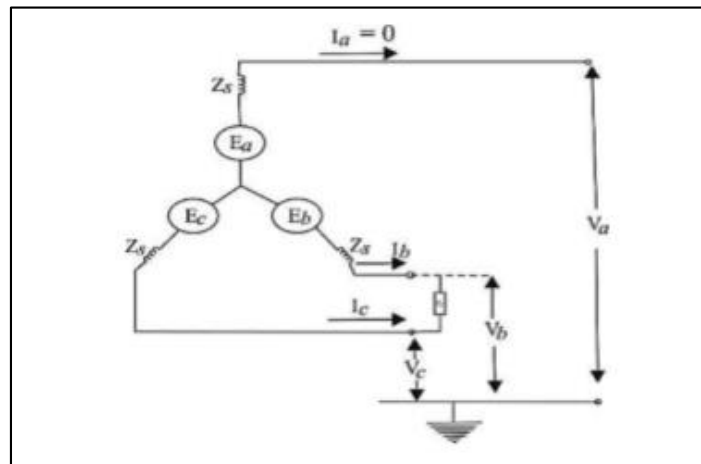
2.5.2 Prinsip dasar perhitungan gangguan arus hubung singkat

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi pada jaringan sistem tenaga listrik ada 3 jenis, antara lain :

1. Gangguan hubung singkat 3 fasa
2. Gangguan hubung singkat antar fasa atau 2 fasa
3. Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah



Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah



Gambar 2.18 Gangguan hubung singkat fasa tanah

Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi (*basic insulation strength*) antara kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan atau biasa juga disebut gangguan arus lebih.

Rumus dasar yang digunakan untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat, yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots \dots \dots (2.1)$$

a. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Berdasarkan persamaan 2.1, maka besar arus gangguan hubung singkat fasa tanah yaitu :

$$I = \frac{V}{Z}$$

$$I_{1\text{fasatanah}} = 3 \times I_0$$

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{E_{\text{fasa}}}{Z_{1\text{eq}}} = 3 \times I_0$$

$$\begin{aligned} I_{1\text{fasatanah}} &= \frac{3 \times V_{\text{ph}}}{Z_{1\text{eq}} + Z_{2\text{eq}} + Z_{0\text{eq}}} \\ &= \frac{3 \times \frac{20000}{\sqrt{3}}}{(2 \times Z_{1\text{eq}}) + Z_{0\text{eq}}} \end{aligned}$$



$$= \frac{34641,016}{(2 \times Z_{1eq}) + Z_{0eq}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan :

- $I_{1fasatanah}$: Arus hubung singkat fasa tanah sisi 20kV (A)
- I : Arus gangguan urutan nol = I_0
- V : Tegangan fasa-netral 20 kV = $\frac{20000}{\sqrt{3}} = V_{ph}$
- Z : Impedansi urutan positif (Z_{1eq}) dan impedansi urutan negatif (Z_{2eq}) dan impedansi urutan nol (Z_{0eq})
- V_{ph} : Tegangan Fasa-Netral (V)
- Z_{1eq} : Impedansi ekuivalen urutan positif (Ohm)
- Z_{2eq} : Impedansi ekuivalen urutan negatif (Ohm)
- Z_{0eq} : Impedansi ekuivalen urutan nol (Ohm)

b. Perhitungan Impedansi

1. Impedansi Sumber

Adapun rumus dasar perhitungan impedansi sumber, data yang diperlukan adalah data hubung singkat pada bus primer trafo yaitu :

$$Z_{(sisi\ 150\ kV)} = \frac{KV^2_{(sisi\ 150\ kV)}}{MVA_{hs}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

- $Z_{(sisi\ 150\ kV)}$: Impedansi sumber 150 kV (Ohm)
- $KV_{(sisi\ 150\ kV)}$: Tegangan sisi primer (Volt)
- MVA_{hs} : Kapasitas daya hubung singkat (MVA)

Perlu diingat bahwa impedansi sumber ini adalah nilai ohm pada sisi 150 kV, karena arus gangguan hubung singkat yang akan dihitung adalah gangguan hubung singkat di sisi 20 kV, maka impedansi sumber tersebut harus dikonversikan dulu ke sisi 20 kV, sehingga pada perhitungan arus gangguan nanti sudah menggunakan



sumber 20 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 kV, dilakukan dengan cara sebagai berikut :

$$Z_{(sisi\ 20\ kV)} = \frac{KV^2_{(sisi\ 20\ kV)}}{KV^2_{(sisi\ 150\ kV)}} \times Z_{(sisi\ 150\ kV)} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

$Z_{(sisi\ 20\ kV)}$: Impedansi sumber 20 kV (Ohm)

$Z_{(sisi\ 150\ kV)}$: Impedansi sumber 150 kV (Ohm)

$KV_{(sekunder)}$: Tegangan sisi sekunder 20 kV (Volt)

$KV_{(primer)}$: Tegangan sisi primer 150 kV (Volt)

2. Impedansi Transformator

Impedansi pada transformator ditulis dengan menggunakan persentase, hal tersebut menyatakan penurunan tegangan sebuah transformator ketika beban penuh akibat tahanan belitan transformator. Besar nilai ohm pada sisi sekunder transformator menggunakan rumus :

$$X_{t(pada\ 100\%)} = \frac{KV^2_{(sisi\ 20\ kV)}}{MVA_{trafo}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

X_t : Reaktansi Trafo (Ohm)

$KV_{(sisi\ 20\ kV)}$: Tegangan sisi sekunder (Volt)

MVA_{trafo} : Kapasitas daya trafo (MVA)

Nilai reaktansi transformator, yaitu :

- Reaktansi urutan positif, negatif ($X_{t1} = X_{t2}$)
 $X_t = X_t \% \times X_t (pada\ 100\%)$
- Reaktansi urutan nol (X_{t0})



Reaktansi urutan nol ini didapat dengan memperhatikan data trafo tenaga itu sendiri yaitu dengan melihat kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo itu :

1. Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Δ/Y dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$.
2. Untuk trafo tenaga dengan belitan Yd dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai $X_{t0} = 3X_{t1}$.
3. Untuk trafo tenaga dengan hubungan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s/d 14 X_{t1} .

3. Impedansi Penyulang

Menghitung impedansi penyulang, impedansi penyulang ini dihitung tergantung dari besarnya impedansi per meter penyulang yang bersangkutan, dimana besar nilainya ditentukan dari konfigurasi tiang yang digunakan untuk jaringan SUTM atau dari jenis kabel tanah untuk jaringan SKTM. Dalam perhitungan disini diambil dengan impedansi. Perhitungan yang digunakan yakni :

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang} \times \text{Panjang penyulang} \times (R_1 + jX_1)$$

Keterangan :

Z_1 : Impedansi urutan positif (Ω)

Z_2 : Impedansi urutan negative (Ω)



Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan yang dalam perhitungan ini disimulasikan terjadi pada lokasi dengan jarak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang.

4. Impedansi Ekvivalen Jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan disini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi positif (Z_{1eq}), negatif (Z_{2eq}), dan nol (Z_{0eq}) dari titik gangguan sampai ke sumber, sesuai dengan urutan di atas. Karena dari sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri, maka perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} dapat langsung menjumlahkan impedansi-impedansi tersebut.

Sedangkan untuk perhitungan Z_{0eq} dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan. Untuk menghitung Z_{0eq} ini, diumpamakan trafo tenaga yang terpasang mempunyai hubungan Y_{yd} , dimana mempunyai nilai $X_{t0} = 3X_{t1}$.

Adapun rumus perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} yang digunakan adalah :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_{1penyulang} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

Z_{1eq} : Impedansi ekivalen urutan positif (Ohm)

Z_{2eq} : Impedansi ekivalen urutan negatif (Ohm)

Z_{s1} : Hitungan impedansi sumber

Z_{t1} : Hitungan impedansi trafo

$Z_{1penyulang}$: Tergantung dari lokasi gangguan



Perhitungan Z_{0eq} yaitu :

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3R_N + Z_{0penyulang} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

- Z_{0eq} : Impedansi ekivalen urutan nol (Ohm)
 Z_{t0} : Hitungan impedansi trafo
 $Z_{0penyulang}$: Tergantung dari lokasi gangguan
 R_N : Pentanahan netral pada trafo (Ω)

Setelah mendapatkan impedansi ekivalen sesuai dengan lokasi gangguan, selanjutnya perhitungan arus gangguan hubung singkat dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar seperti dijelaskan sebelumnya.⁹

2.6 Sistem Proteksi Pada Trafo Daya

2.6.1 Sistem proteksi menurut SPLN 52-1

Kebutuhan akan pengaman sistem proteksi pada trafo akan disesuaikan sesuai kapasitas trafo menurut SPLN. Dalam meningkatkan keamanan dalam pendistribusian energi listrik kepada konsumen. Dari hal tersebut dibutuhkan sistem proteksi yang handal dalam menunjang kebutuhan. Menurut Standar Perusahaan Umum Listrik Negara (SPLN) 52-1 pola pengaman transformator sebagai berikut :

1. Transformator gardu induk harus menggunakan sistem proteksi guna mencegah gangguan dengan rele/relay arus lebih, rele/relay suhu, rele/relay tekanan lebih, dll.
2. Transformator 150/20 kV dan 66/20 kV berkapasitas 10 MVA terpasang saklar pemutus beban di sisi primer.
3. Rele/relay termis harus terpasang pada traformator dengan kapasitas melebihi 10 MVA.

⁹ Andi Rahmi Wahyuni Kamal, Siti Mustabsyirah Dahlan, Bakhtiar dan A.Wawan Indrawan, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah Terhadap PMT di Penyulang Takalar 20 KV GI Sungguminasa", (Makassar : Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2016), hlm 25.



4. Rele/relay differensial harus dan gangguan tanah terbatas harus terpasang pada transformator kapasitas 30 MVA.¹⁰

Tabel 2.1 Jenis Sistem Proteksi menurut SPLN 52-1

No	Jenis Proteksi	Kapasita MVA		
		≤ 10	$10 < \div < 30$	≥ 30
1.	Rele Suhu	+	+	+
2.	Rele Bucholz	+	+	+
3.	Rele jansen	+	+	+
4.	Rele tekanan rendah	+	+	+
5.	Rele diffrensial	-	-	+
6.	Rele tangki	-	+	
7.	Rele Hubung Tanah Terbatas (REF)	-		+
8.	Rele beban lebih (ORL)	-	+	+
9.	Rele arus lebih (OCR)	+	+	+
10.	Rele Hubung Tanah (GFR)	+	+	+
11.	Pelebur (Fuse)	+	-	-

2.6.2 Rele GFR (*Ground Fault Relay*)

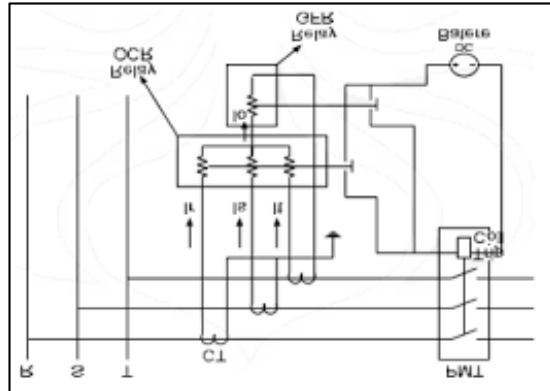
1. Pengertian rele GFR (*Ground Fault Relay*)

Rele hubung tanah yang lebih dikenal dengan GFR (*Ground Fault Relay*) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan rele arus lebih (OCR) namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Bila rele OCR mendeteksi adanya hubungan singkat antara phasa, maka GFR

¹⁰ SPLN No 52-1, *Pola Pengaman Sistem Transformator 150 /66kV, 150/20kV dan 66/20 kV*, (Jakarta, Perusahaan Umum Listrik Negara, 1983)



mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah. Dibawah ini merupakan gambar rangkaian pengawatan GFR.¹¹

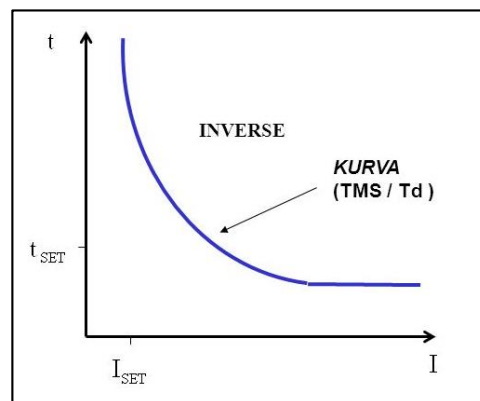


Gambar 2.19 Pengawatan Rele GFR

2. Prinsip kerja rele GFR

Kondisi normal beban seimbang I_r , I_s , I_t sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan rele hubung tanah tidak dialiri arus. Bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral, sehingga rele hubung tanah akan bekerja.

Karakteristik waktu kerja yang digunakan pada rele GFR adalah *standard inverse* (SI).



Gambar 2.20 Kurva karakteristik waktu kerja Rele GFR

¹¹ Irfan Affandi, *Analisa Setting Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Tanah pada Penyulang Sadewa di GI Cawang*, (Depok : Fakultas Teknik Universitas Indonesia, 2009), hlm 35.



3. Setting rele GFR¹²

a. Arus Setting

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 daya terlebih dahulu harus di hitung arus nominal transformator atau menggunakan nilai CCC (*Current Carrying Capacity*) dengan arus nominal terkecil dari peralatan. Adapun persamaan arus *setting* primer untuk rele GFR seperti pada persamaan (2.8) di bawah ini..

$$I_{\text{set(primer)}} = 0,1 \times \text{CCC} \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

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

CCC : *Current Carrying Capacity*, kemampuan nominal peralatan instalasi yang paling kecil (konduktor, CT, PMT, PMS, jumperan, wave trap)

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. Adapun persamaan dari arus *setting* sekunder pada rele GFR seperti pada persamaan (2.9) di bawah ini.

$$I_{\text{set(sekunder)}} = I_{\text{set(primer)}} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

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

Rasio CT : Rasio pada rele GFR

¹² I Gede Krisnayoga Kusuma, dan I Gede Dyana Arjana, “Studi Analisa Koordinasi Relai GFR Incoming Busbar 20 kV dan GFR Saluran Dalam Mengamankan Gangguan Satu Fasa Ketanah di Transformator 3 Gardu Induk Kapal”, ISSN 1693– 2951.

b. Waktu *Setting*

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu kerja rele (Tms). Sama halnya dengan rele OCR, rele GFR menggunakan rumus penyetingan TMS yang sama dengan rele OCR. Tetapi waktu kerja rele yang diinginkan berbeda. Rele GFR cenderung lebih sensitif dari pada rele OCR. Adapun perhitungan waktu *setting* seperti persamaan (2.10) di bawah ini.

$$T_{ms} = \frac{t \left(\frac{I_{1f20}}{I_{sp}} \right)^{\alpha-1}}{k} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

- Tms : Parameter waktu yang ditetapkan
 T : Waktu kerja
 I_{1f20} : Arus hubung singkat fasa tanah sisi 20 kV
 I_{sp} : Arus *setting* primer
 k, α : Konstanta Standar IEC 60255

Nilai konstanta standar IEC berbeda sesuai dengan karakteristik dan klasifikasinya. Untuk nilai konstanta standar IEC 60255 dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.2 Konstanta Standar IEC 60255

Karakteristik Rele	Standar 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	$t = TMS \times \frac{120}{I_r - 1}$



Untuk menentukan nilai Tms yang akan disetkan pada rele GFR sisi incoming 20 kV trafo daya, diambil arus hubung singkat 1 fasa ke tanah.

4. Koordinasi Setting GFR

Adapun koordinasi dalam *setting* GFR *incoming*, penyulang dan NGR seperti tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Batasan setelan GFR *incoming*, penyulang dan NGR¹³

URAIAN	PENYULANG	INCOMING TRF	NGR
Jenis Karakteristik	GFR SI	GFR SI	SBEF LTI
Setelan Arus	$0.1 \times I_n \text{ NGR}$ $0.2 \times I_{hs10min}^*)$	$0.2 \times I_n \text{ Trf}$ $0.1 \times \text{CCC}$	$0.1 \times I_m \text{ NGR}$
Waktu Kerja HS fasa-G di bus 20 kV	SI : 1.5 detik	SI : 1.5 detik	LTI : 5 detik
Setelan Arus Momen	$I_m = 8 \times I_{set}$ & tdk melebihi GH $t_m = \text{inst}$	Di Blok	Di Blok

2.6.3 Rele SBEF (Stand By Earth Faulth)

1. Pengertian rele SBEF (*Stand By Earth Faulth*)

Rele *stand by earth faulth* (SBEF) ini berfungsi untuk mengamankan gangguan hubung singkat fasa tanah pada sistem pentanahan dengan *netral ground fault* (NGR) pada trafo daya. Oleh karena itu rele SBEF hanya ada pada transformator yang pentanahannya menggunakan NGR. Dalam prinsip kerjanya rele SBEF ini juga harus dikoordinasikan dengan relai GFR, karena rele SBEF harus bekerja paling akhir sebagai pengaman trafo daya.¹⁴

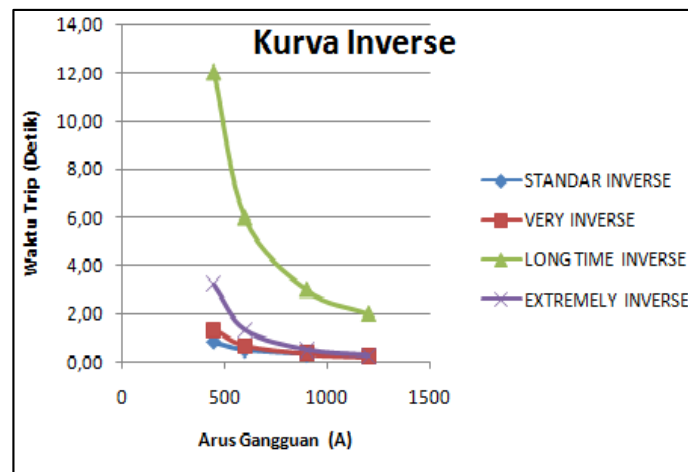
¹³ PT.PLN, *Pedoman Operasi dan Pemeliharaan (O&M) Rele Proteksi*, (Padang : 2007), hlm 28.

¹⁴ PT.PLN, *Buku Pedoman Pemeliharaan Proteksi dan Kontrol Transformator*, (Jakarta : 2014), hlm 10.



2. Karakteristik waktu kerja

Karakteristik waktu kerja pada rele SBEF adalah *long time inverse* (LTI) dimana waktu tunda sebelum rele akan bekerja yaitu lebih lama dibandingkan dengan karakteristik yang lain.



Gambar 2.21 Kurva karakteristik waktu kerja Rele SBEF

Settingan yang digunakan pada rele SBEF dengan mempertimbangkan faktor-faktor diantaranya :

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

3. Setting rele SBEF

a. Arus setting

Untuk menghitung nilai arus *setting* primer pada rele SBEF terlebih dahulu harus mengetahui nilai arus maksimum pada NGR dengan melihat nameplatnya. Adapun persamaan arus *setting* primer untuk rele SBEF seperti persamaan (2.11) di bawah ini.

$$I_{\text{set(primer)}} = 0,1 \times I_{\text{mNGR}} \dots \dots \dots (2.11)$$



Keterangan :

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

I_{mNGR} : Arus maksimum pada NGR

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai *setting* pada sekunder yang dapat di *setting* pada rele SBEF, maka harus di hitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi sekunder. Adapun persamaan dari arus *setting* sekunder pada rele SBEF seperti pada persamaan (2.9) di bawah ini.

$$I_{set(sekunder)} = I_{set(primer)} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

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

$I_{set(sekunder)}$: Arus *setting* sekunder

Rasio CT : Rasio pada rele SBEF

b. Waktu *setting*

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu kerja relay (TMS). Sama halnya dengan rele GFR, rele SBEF menggunakan rumus penyetingan TMS yang sama dengan rele GFR. Tetapi waktu kerja rele yang diinginkan berbeda. Rele SBEF cenderung lebih lama waktu tundanya dari pada rele GFR. Adapun perhitungan waktu *setting* pada rele SBEF seperti persamaan (2.10) di bawah ini.

$$T_{ms} = \frac{t \left(\frac{I_1 f^{20}}{I_{sp}} \right)^{\alpha-1}}{k} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

T_{ms} : Parameter waktu yang ditetapkan



- T : Waktu kerja
 $I_{1/20}$: Arus hubung singkat fasa tanah sisi 20 kV
 I_{sp} : Arus *setting* primer
 k, α : Konstanta Standar IEC 60255

Nilai konstanta standar IEC berbeda sesuai dengan karakteristik dan klasifikasinya. Untuk nilai konstanta standar IEC 60255 dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.4 Konstanta Standar IEC 60255

Karakteristik Rele	Standar 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	$t = TMS \times \frac{120}{I_r - 1}$

2.7 Aplikasi MathCAD

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.

MathCAD memungkinkan para ahli desain dan perhitungan rekayasa arsitektur menggunakan fungsi matematika yang komprehensif telah diterapkan di aplikasi ini secara bersamaan. MathCAD sangatlah mudah dipelajari, tanpa memerlukan pemahaman pemrograman. MathCAD menyediakan worksheet interaktif yang dapat mengakomodasi notasi matematika standar dan persamaan untuk memecahkan suatu masalah. Oleh karena MathCAD dapat secara otomatis memperbarui hasil kalkulasi untuk setiap perubahan nilai yang dimasukkan pada variabel persamaan, maka MathCAD sangatlah sesuai untuk masalah yang bertipe “what-if.”¹⁵

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 mengijinkan teks, rumus matematika, dan grafik untuk digabungkan dalam satu lingkungan lembar kerja, solusi mudah divisualisasikan, digambarkan, diverifikasi, dan dijelaskan.

Contoh di bawah ini berfungsi untuk menjelaskan cakupan kemampuan MathCAD, dan bukan memberikan rincian spesifik tentang fungsionalitas produk individual.

1. Manfaatkan banyak fungsi numerik, di contoh seperti statistik, analisis data, pemrosesan gambar, dan pemrosesan sinyal
2. Kelola unit secara otomatis di seluruh lembar kerja, mencegah operasi yang tidak semestinya dan melakukan pengurangan unit otomatis

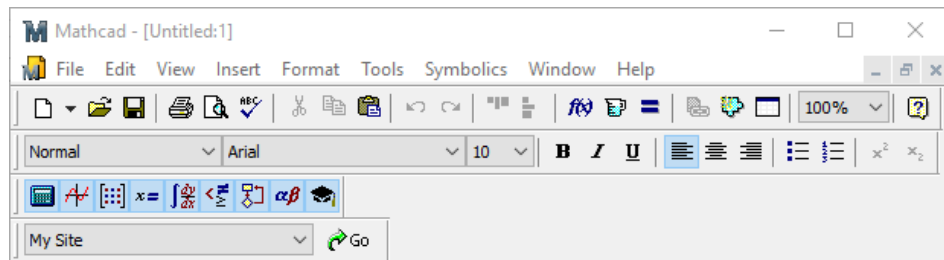
¹⁵ Dyestisari, Gracia, “Analisis Scanning dan Setting Distance Relay SUTT 150 kV Mranggen-Purwodadi 1-2 dengan Aplikasi MathCAD”, (Semarang, Universitas Islam Sultan Agung, 2018).



3. Selesaikan sistem persamaan, seperti ODEs dan PDEs melalui penggunaan beberapa metode
4. Temukan akar polinomial dan fungsinya
5. Hitung dan manipulasi ekspresi secara simbolis, termasuk di dalam sistem persamaan
6. Buat tipe plot 2D dan 3D parametrik, serta plot data diskrit
7. Memanfaatkan standar, ekspresi matematis yang dapat dibaca dalam konstruksi program tertanam
8. Lakukan operasi vektor dan matriks, termasuk nilai eigen dan vektor eigen
9. Lakukan analisis kurva pas dan regresi pada dataset eksperimen
10. Manfaatkan fungsi Statistik dan Desain Eksperimen dan jenis plot, dan evaluasilah distribusi probabilitas
11. Impor dari, dan ekspor ke, aplikasi lain dan jenis file, seperti Microsoft Excel dan MathML.
12. Sertakan referensi ke lembar kerja MATHCAD lainnya untuk menggunakan kembali metode teknik umum
13. Integrasikan dengan aplikasi teknik lainnya, seperti alat CAD, FEM, BIM, dan Simulasi, untuk membantu disain produk, seperti MATHCAD, Ansys, Revit.

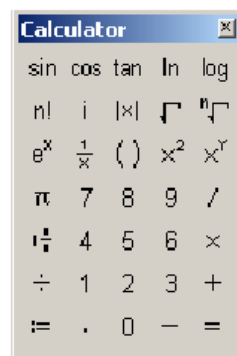
2.7.3 Ruang *interface* pada aplikasi MathCAD

Berikut merupakan ruang *interface* yang terdapat dalam MathCAD. Diantaranya adalah *calculator toolbar*, *graph toolbar*, *vector* dan *matrix toolbar*, *evaluation toolbar*, *calculus toolbar*, *Boolean toolbar*, *programming toolbar*, *greek symbol toolbar* dan *symbolic keyword toolbar*.

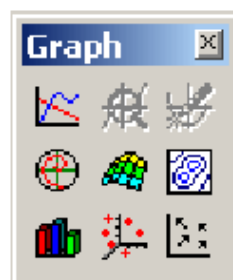
Gambar 2.22 *Toolbar* pada MathCAD

Bagian-bagian dari *Toolbar* Math antara lain :

1. *Calculator Toolbar*, untuk melakukan perhitungan sederhana

Gambar 2.23 *Calculator Toolbar*

2. *Graph Toolbar*; untuk meplot atau membuat grafik

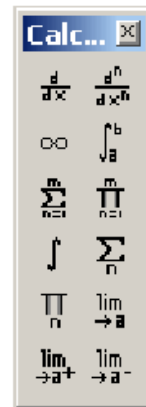
Gambar 2.24 *Graph Toolbar*

3. *Matrix Toolbar*, untuk operasi matriks

Gambar 2.25 *Matrix Toolbar*

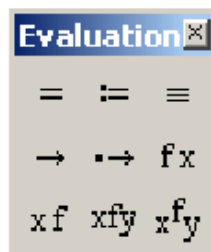


4. Calculus Toolbar



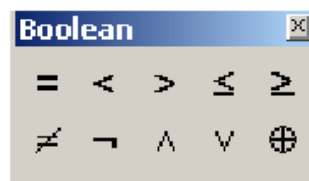
Gambar 2.26 Calculus Toolbar

5. Evaluation Toolbar



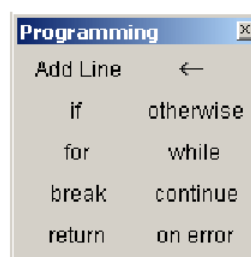
Gambar 2.27 Evaluation Toolbar

6. Boolean Toolbar



Gambar 2.28 Boolean Toolbar

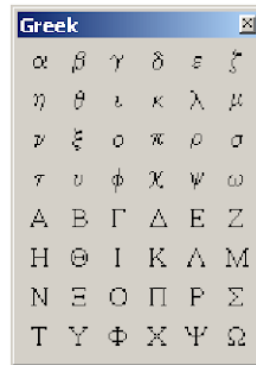
7. Programming Toolbar



Gambar 2.29 Programming Toolbar

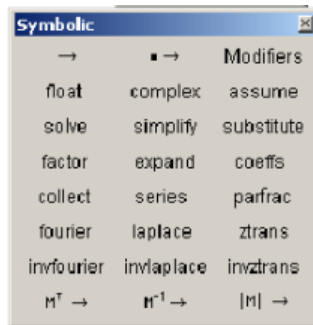


8. Greek Symbol Toolbar



Gambar 2.30 Greek Symbol

9. Symbolic Keyword Toolbar



Gambar 2.31 Symbolic Keyword