



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Teori Umum**

Tujuan utama dari suatu sistem tenaga listrik adalah untuk memberikan tingkat kontinuitas pelayanan yang tinggi. Dan apabila terjadi keadaan yang tidak dapat di tolerir, maka sistem harus mampu meminimalisasi waktu gangguan. Apabila terjadi kehilangan daya, tegangan lebih (*over load*) yang dapat terjadi oleh beberapa sebab, seperti kegagalan peralatan, gangguan alam, kesalahan operasi, dan sebagainya yang dapat menyebabkan gangguan dapat diminimalisasi.

Seperti biasanya, pada suatu keadaan bentuk kerja apapun suatu sistem tidak dapat bekerja dengan baik selama umur operasi sudah tentu akan mengalami gangguan atau kesalahan. Gangguan tersebut diantaranya adalah hubung singkat yang menimbulkan efek kenaikan arus secara berlebihan merupakan dasar penggunaan peralatan proteksi arus lebih yang ditempatkan pada jaringan tenaga listrik tersebut.

Karena adanya kemungkinan timbul gangguan pada jaringan tenaga listrik tersebut, maka timbul suatu pemikiran bagaimana memproteksi suatu jaringan yang ada sehingga apabila terjadi gangguan dapat diatasi. Adapun cara pencegahannya yaitu dengan pemasangan suatu alat proteksi yang merupakan cara-cara mengamankan suatu jaringan tenaga listrik terhadap gangguan yang akan terjadi. Oleh karena itu, peranan suatu proteksi sangatlah penting, dimana faktor keandalan dalam memperbaiki dengan pengaturan pengaman yang tepat, sehingga jika terjadi suatu gangguan proteksi tersebut dapat mencegah atau membatasi kerusakan dan memperkecil efek-efeknya terhadap sistem yang sehat.

#### **2.2 Filosofi Sistem Proteksi**

Proteksi adalah asuransi dari sistem tenaga listrik yang bertujuan agar terciptanya pengaman sistem yang dapat memperkecil kerugian atau



kerusakan akibat gangguan dan memaksimalkan keandalan suplai tenaga listrik kepada konsumen. dari banyaknya jenis gangguan yang berikut dijelaskan jenis dan cara menanggulangnya. Berdasarkan Buku Dasar-Dasar Proteksi Tegangan Tinggi PT.PLN (persero) Pusdiklat Tahun 2009 Halaman 1-3. gangguan sistem dibagi menjadi dua yaitu :

#### 1. Gangguan Internal

Gangguan yang terjadi di daerah proteksi transformator, baik didalam transformator maupun diluar transformator sebatas lokasi CT. Penyebab gangguan internal biasanya akibat:

- a. Kegagalan isolasi pada belitan, lempengan inti atau baut pengikat inti atau Penurunan nilai isolasi minyak yang dapat disebabkan oleh kualitas minyak buruk, tercemar uap air dll.
- b. Kebocoran minyak;
- c. Ketidaktahanan terhadap arus gangguan (electrical dan mechanical stresses);
- d. Gangguan pada tap changer;
- e. Gangguan pada sistem pendingin
- f. Gangguan pada *bushing*.

#### 2. Gangguan Eksternal

Gangguan yang terjadi diluar daerah proteksi transformator. Umumnya gangguan ini terjadi pada jaringan yang akan dirasakan dan berdampak terhadap ketahanan kumparan primer maupun sekunder/tersier Transformator. Fenomena gangguan eksternal seperti:

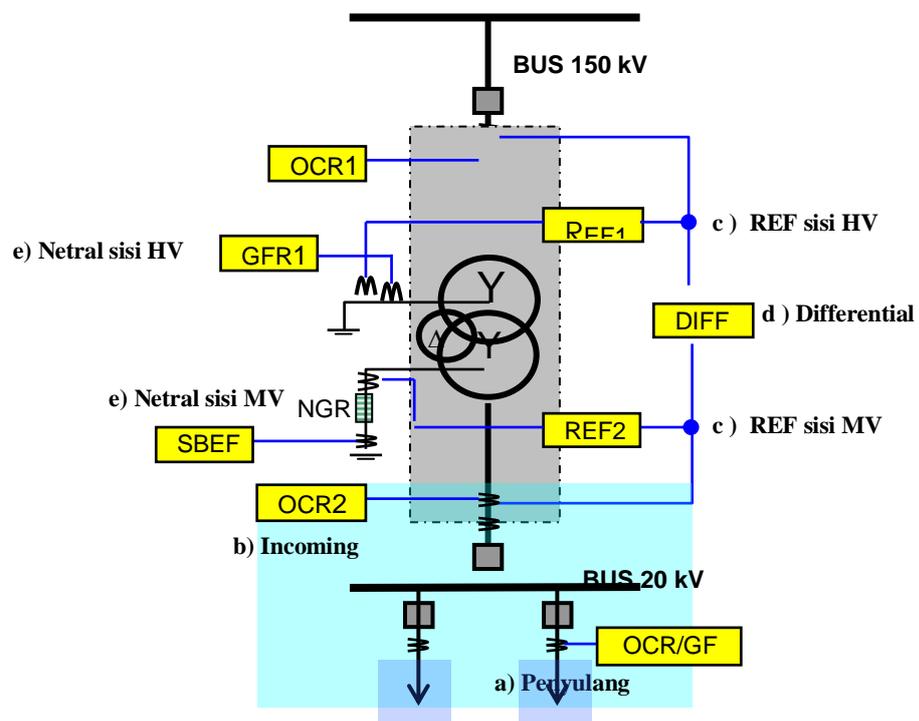
- a. Hubung singkat pada jaringan sekunder atau tersier (penyulang) dan besaran arus gangguan diprediksi mengurangi umur operasi transformator
- b. Pembebanan lebih (Overload )
- c. *Overvoltage* akibat surja hubung atau surja petir
- d. *Under atau over frequency* akibat gangguan system
- e. *External system short circuit*.



Proteksi merupakan perlindungan yang mana disetiap sistem memiliki bagian-bagian yang memiliki sistem proteksi masing-masing berdasarkan zona yang telah ditentukan oleh PT.PLN unit transmisi P3B Sumatera.

### 2.2.1. Proteksi Transformator Tenaga

Dari kedelapan zona pengamanan atau proteksi yang telah ditentukan diatas, zona pengamanan proteksi yang diangkat di laporan akhir ini difokuskan hanya pada zona pengamanan transformator tenaga. Berikut diagram pemasangan Relai proteksi pada Transformator tenaga 150/70 kV, 150/20 kV dan 70/20 kV mengacu kepada SPLN-52.1 tahun 1983 seperti gambar berikut.



**Gambar 2.1 Skema Wilayah Kerja Proteksi Transformator**

### 2.3 Tujuan dan manfaat Sistem Proteksi

Sebuah sistem tentunya memiliki tujuan dibuatnya sistem tersebut dan manfaatnya masing-masing, berikut dijelaskan tujuan dan manfaat dari sistem proteksi berdasarkan Buku Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik Hal 4 Tahun 2004 hal 3-4.



a. Tujuan sistem proteksi

Sasaran dan tujuan dasar dari suatu sistem proteksi adalah untuk mengatasi masalah atau mengetahui secepat mungkin sehingga daerah yang tidak mengalami gangguan tetap dilayani.

b. Manfaat sistem proteksi

1. mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal pada bagian sistem yang diamankan
2. mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu
3. mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain dan mencegah meluasnya gangguan
4. memperkecil bahaya bagi manusia

## 2.4 Persyaratan Sistem Proteksi

Dalam menjalankan suatu sistem proteksi maka kita harus memperhatikan faktor-faktor yang dibutuhkan agar suatu sistem proteksi dapat bekerja dengan baik. Berdasarkan Buku Rele Proteksi Prinsip Dan Aplikasi, Hendra Martha Yudha tahun 2008, halaman 7-10. Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam suatu sistem proteksi adalah :

1. Keandalan (*reliability*)

Keandalan mempunyai dua aspek, yakni :

- a. *Dependability*, yang diartikan sebagai derajat kepastian bahwa relai atau sistem relai akan beroperasi dengan benar
- b. *Security*, yang diartikan sebagai derajat kepastian bahwa relai atau sistem relai tidak beroperasi dengan salah

Dengan kata lain, *dependability* menunjukkan kemampuan sistem untuk tidak beroperasi saat kondisi normal atau gangguan di luar zona operasinya.

Kesalahan operasi dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu :

1. Kesalahan desain
2. Kesalahan instalasi



## 2. Selektivitas (*selectivity*)

Selektivitas yang juga dikenal sebagai koordinasi relai adalah proses penggunaan dan penyetelan relai proteksi yang bekerja *over-reach* terhadap relai lain, sehingga relai harus beroperasi secepat mungkin pada zona utama, tapi harus menunda operasinya di daerah cadangan operasi. Sifat ini dapat dicapai dengan metode :

1. *Time graded system*
2. *Unit system*

Hal ini diperlukan agar relai utama dapat beroperasi pada daerah cadangan atau *over-reach*. Kedua adalah tidak benar dan tidak diperkenankan kecuali proteksi utama dari daerah tersebut tidak beroperasi. Jadi selektivitas sangatlah penting untuk menjamin kelangsungan pelayanan maksimum dengan pemutusan minimum.

## 3. Kecepatan operasi (*speed of operation*)

Kenyataan bahwa suatu sistem proteksi harus mampu bekerja mengisolir area yang mengalami gangguan secepat mungkin. Pada suatu sistem tegangan menengah, dimana koordinasi antara relai sangat dibutuhkan dengan waktu relai sedikit lebih lambat. Tipe operasi relai untuk tegangan menengah antara 0,2 detik sampai 1,5 detik. Jadi kecepatan itu penting, tapi tidak selalu dibutuhkan. Tapi pada sistem pembangkitan dan tegangan tinggi diperlukan proses pelepasan yang sangat cepat.

## 4. Kesederhanaan (*simplicity*)

Relai proteksi harus disusun sederhana mungkin dan tetap mampu bekerja sesuai dengan tujuannya. Penambahan unit atau komponen yang mungkin meningkatkan proteksi namun tidak terlalu penting dalam sistem harus dipertimbangkan dengan seksama. Setiap tambahan akan menambah sumber masalah dan tambahan pemeliharaan. Peningkatan solid state dan teknologi digital dalam sistem proteksi menghasilkan kemungkinan yang lebih baik dalam peningkatan keunggulan sistem.

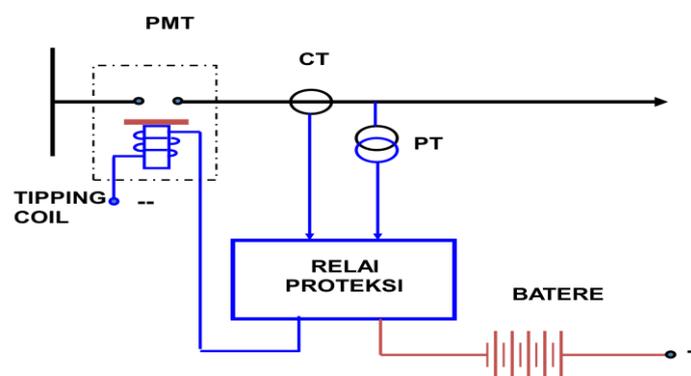


## 5. Ekonomis (economic)

Sangat penting untuk menghasilkan suatu sistem proteksi yang memiliki perlindungan maksimum dengan biaya minimum. Harga rendah tidak menjamin sistem tersebut handal atau sebaliknya. Investasi awal yang rendah dari sistem ini menyebabkan kesulitan dalam instalasi dan operasi serta memerlukan biaya perawatan yang mahal. Sistem proteksi pertimbangannya adalah besar biaya dari peralatan sistem yang dilindungi dan biaya harus dikeluarkan atau hilang akibat gangguan, maka sistem proteksi akan lebih murah.

### 2.5 Peralatan Sistem Proteksi Transformator

Berdasarkan Buku Dasar-Dasar Proteksi Tegangan Tinggi PT.PLN (persero) Pusdiklat Tahun 2009 Halaman 1 Peralatan proteksi transformator tenaga terdiri dari Relai Proteksi, Transformator Arus (CT), Transformator Tegangan (PT/CVT), PMT, Catu daya AC/DC (baterai) yang terintegrasi dalam suatu rangkaian, sehingga satu sama lainnya saling keterkaitan. Fungsi peralatan proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih sehat serta sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Berikut gambar rangkaian peralatan Sistem Proteksi.



**Gambar 2.2 Peralatan Perangkat Proteksi**



### 2.5.1. Relai Proteksi

Relai proteksi susunan peralatan pengaman yang dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau ketidak stabilan sistem yang kemudian secara otomatis dapat memberikan respon berupa sinyal untuk menggerakkan sistem mekanisme pemutus tenaga agar dapat terpisah pada bagian yang terganggu. Relai proteksi digunakan untuk mendeteksi adanya gangguan pada sistem tenaga listrik, terutama untuk :

1. Memberikan tanda bahaya
2. Memutuskan bagian sistem yang tidak normal
3. Melepas pemutus tenaga apabila gangguan dianggap berbahaya

Relai proteksi memiliki beberapa jenis, pada materi kali ini jenis relai hanya difokuskan pada relai arus lebih dan relai gangguan tanah. berikut penjelasan jenis-jenis relai proteksi dibawah ini :

#### 1. Relai Arus Lebih (OCR)

Relai arus lebih adalah suatu relai yang bekerjanya didasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengamanan tertentu dan dalam waktu tertentu, sehingga relai ini dapat dipakai sebagai pola pengamanan arus lebih. ia akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya (I set).

Pada dasarnya relai arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan transformator arus. Harga atau besaran yang boleh melewatinya disebut dengan setting.

#### 2. Relai Gangguan Tanah (GFR)

Relai hubung tanah yang lebih dikenal dengan GFR (ground fault relai) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan relai arus lebih (OCR) namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Bila relai OCR mendeteksi adanya hubung singkat antara fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah.

Penyetelan relai GFR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Untuk



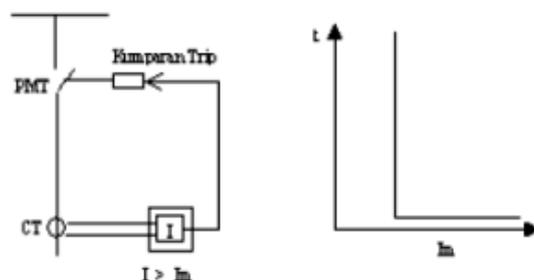
menentukan arus setting (Iset relai) gangguan tanah berdasarkan Buku Pedoman Operasi Dan Pemeliharaan (O&M) Peralatan Proteksi PT. PLN (persero) P3B Sumatera Bidang Transmisi Sub Bidang Proteksi Scadatel, Padang. tahun 2007 halaman 18 -19. biasanya dipilih 0,1-0,2 dari I set OCRnya (Over Current Relay) untuk sisi tegangan menengah 20 KV sedangkan untuk sisi tegangan tinggi 70 KV 0,5-0,8 dari dari I set OCRnya, dimana untuk setelan arus OCR dihitung berdasarkan arus beban mengalir di penyulang atau incoming transformator : Untuk relai arus lebih yang terpasang dipenyulang tersebut. Untuk relai arus lebih yang terpasang di incoming transformator dihitung berdasarkan arus nominal transformator tersebut.

### 2.5.2 Karakteristik Relai

Setiap peralatan listrik memiliki karakteristik tersendiri sama halnya dengan relai, berikut karakteristik relai berdasarkan waktu menurut Buku Prinsip Dan Aplikasi Relai Proteksi Oleh Hendra Martha Yudha tahun 2008. Dijelaskan sebagai berikut :

#### 1. Relai Waktu Seketika (*Instantaneous Relay*)

Relai yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, relai akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

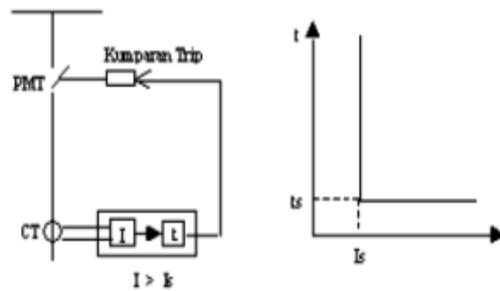


**Gambar 2.3 Karakteristik Relai Waktu Seketika (*Instantaneous Relay*)**



## 2. Relai Arus Lebih Waktu Tertentu (*Definite Time Relay*)

Relai ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya ( $I_s$ ), dan jangka waktu kerja relai mulai pick up sampai kerja relai diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relai, lihat gambar dibawah ini.

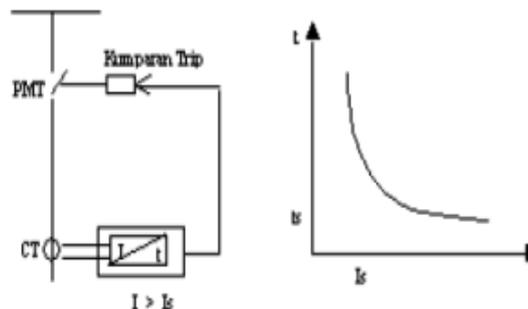


**Gambar 2.4 Karakteristik Relai Waktu Tertentu (*Definite Time Relay*)**

## 3. Relai Arus Lebih Waktu Terbalik (*inverse time*)

Relai ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya. Karakteristik ini bermacam-macam dan setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda, karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok :

- a. *Standar Invers*
- b. *Very Inverse*
- c. *Long Time Inverse*



**Gambar 2.5 Karakteristik Relai Waktu Terbalik (*Inverse Relay*)**



### 2.5.3 Syarat-Syarat Penyetelan Relai

Berikut dijelaskan mengenai syarat penyetelan relai sesuai dengan Buku Pedoman Operasi Dan Pemeliharaan (O&M) Peralatan Proteksi PT. PLN (persero) P3B Sumatera Bidang Transmisi Sub Bidang Proteksi Scadatel, Padang. tahun 2007 halaman 16 sampai dengan 19 tentang Kaidah Setelan OCR Meliputi Pertimbangan Teknis Dalam Setelan OCR Yaitu :

1. Ketahanan transformator terhadap gangguan hubung singkat maksimum. Menurut IEC transformator tahan terhadap gangguan eksternal selama 2 detik. Dengan mempertimbangkan kecepatan relai-relai bantu dan kecepatan buka PMT, maka :
  - a. Waktu kerja relai OCR di incoming ditentukan **1 detik** untuk gangguan hubung singkat 3 fasa di bus 20 kv.
  - b. Setelan arus high set di incoming dapat diaktifkan bila setelan waktunya dapat diatur, tetapi bila setelan waktu high set tersebut tidak dapat diatur maka tidak diaktifkan.
  - c. Apabila setelan arus dan waktu untuk high set incoming diatur sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{setelan arus maks} & : 0.8 \times (1/z \times I_n \text{ trf mv}) \\ \text{setelan waktu} & : 0.4 - 0.5 \text{ detik (definite)} \end{aligned}$$

2. kemampuan dan keandalan transformator arus (CT)

Setelan arus kerja mempertimbangkan kemampuan arus primer CT, dipilih setelan arus maksimum  $1.2 \times I$  nominal CT.

3. Koordinasi Setting OCR

Sesuai dengan Buku Pedoman Operasi Dan Pemeliharaan (O&M) Peralatan Proteksi PT. PLN (persero) P3B Sumatera Bidang Transmisi Sub Bidang Proteksi Scadatel, Padang. tahun 2007 halaman 17, berikut ini tabel batasan setelan OCR untuk transformator.



Tabel-2.1 Batasan Setelan OCR Transformator

<b>Uraian</b>	<b>Sisi HV Transformator (70 kv)</b>	<b>Incoming Transformator/ Sekuder Transformator Sisi (20 kv)</b>	<b>Sisi Penyulang (20 kv)</b>
Jenis Karakteristik	OCR S i	OCR S i	OCR S i
Setelan arus	$(1.0-1.2) \times I_{n \text{ trf}} (hv)$	$(1.0 - 1.2) \times I_{n \text{ trf}} mv$ $(1.0 - 1.2) \times ccc *$	$(1.0 - 1.2) \times I_{n \text{ trf}}$ (mv) $(1.0 -1.2) \times ccc *$
Waktu kerja (phasa-phasa di bus 20 kv)	1.2 - 1.6 detik	0.7 - 1.0 detik	0.2 - 0.4 detik

\*) pilih yang terkecil.

Berkut ini Pertimbangan teknis dalam setelan GFR sesuai Buku Pedoman Operasi Dan Pemeliharaan (O&M) Peralatan Proteksi PT. PLN (persero) P3B Sumatera Bidang Transmisi Sub Bidang Proteksi Scadatel, Padang. tahun 2007 halaman 17 yaitu :

1. Ketahanan NGR terhadap gangguan hubung tanah, sesuai name plate ngr adalah 300 ampere, 10 detik.
2. Koordinasi Setting GFR

Sesuai dengan Buku Pedoman Operasi Dan Pemeliharaan (O&M) Peralatan Proteksi PT. PLN (persero) P3B Sumatera Bidang Transmisi Sub Bidang Proteksi Scadatel, Padang. tahun 2007 halaman 18 sampai 19, berikut ini tabel batasan setelan OCR untuk transformator.



Tabel-2.2 Batasan Setelan GFR

Uraian	Sisi 150/70 Kv Dengan Belitan Delta Core Type	Incoming Transformator/ Sekunder Transformator (20 kv)	NGR	Penyulang (20 kv)
Jenis Karakteristik	GFR SI	GFR SI	Sef LTI	GFR SI
Setelan arus	$(0,5-0,8) \times I_n \text{ Trf}$ (HV)	$0,2 \times I_n \text{ trf}$ $0,1 \times I_{ccc}$	$0,1 \times I_n$ ngr	$0,1 \times I_n \text{ ngr}$ $0,2 \times I_{hs} I_{\phi_{\min}}$ (*)
Waktu kerja (phasa-g)	0.5 dari t GFR Pada SUTT atau $T_{GFR} > T_{\text{back up}}$ proteksi penghantar -> jika terjadi gangguan di SUTT	1.0 detik	< 5 detik	0.5 detik

\*) pilih yang terkecil.

#### 2.5.4 Transformator Pengukuran

Transformator pengukuran merupakan suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga atau daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.

Pengukuran dan proteksi pada instalasi tegangan tinggi, menengah, dan rendah diperlukan transformator. Transformator berfungsi untuk mentransmisikan energi listrik melalui pertukaran medan magnetis.



Berikut dielaskan Jenis-jenis transformator pengukuran sesuai dengan buku sistem proteksi :

#### 1. Transformator Tegangan (PT)

Transformator tegangan adalah transformator satu fasa *step-down* yang mentransformasi tegangan tinggi atau tegangan menengah ke suatu tegangan rendah yang layak untuk perlengkapan indikator, alat ukur, relay, dan alat sinkronisasi. Hal ini dilakukan atas pertimbangan harga dan bahaya yang dapat ditimbulkan tegangan tinggi. Tegangan perlengkapan seperti indikator, meter, dan relaidirancang sama dengan tegangan terminal sekunder transformator tegangan.

Prinsip kerja transformator jenis ini sama dengan transformator daya, meskipun demikian rancangannya berbeda dalam beberapa hal, yaitu:

- a. Kapasitasnya kecil (10 s/d 150 VA), karena digunakan untuk daya yang kecil.
- b. Galat faktor transformasi dan sudut fasa tegangan primer dan sekunder lebih kecil untuk mengurangi kesalahan pengukuran.
- c. Salah satu terminal pada sisi tegangan tinggi dibumikan/ ditanahkan.
- d. Tegangan pengenalan sekunder biasanya 100 atau  $100\sqrt{3}$  V

#### 2. Transformator Arus (CT)

Transformator arus digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya ratusan ampere dari arus yang mengalir dalam jaringan tegangan tinggi. Disamping untuk pengukuran arus, transformator arus juga digunakan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh dan relai proteksi.

Kumparan primer transformator arus dihubungkan seri dengan jaringan atau peralatan yang akan diukur arusnya, sedang kumparan sekunder dihubungkan dengan meter atau relai proteksi. Pada umumnya peralatan ukur dan relai membutuhkan arus 1 atau 5 A. Transformator arus bekerja sebagai transformator yang terhubung singkat, kawasan transformator arus yang digunakan untuk pengukuran biasanya 0,05 s/d 1,2 kali arus yang akan diukur, sedang transformator arus untuk proteksi harus mampu bekerja lebih dari 10 kali arus pengenalnya.



### 2.5.5 Pemutus Tenaga (PMT/CB)

Pemutus tenaga (PMT) adalah saklar yang digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus/daya listrik sesuai ratingnya. Pada saat terjadi pemutusan maka akan terjadi busur api. Pemadam busur api listrik pada waktu pemutusan dapat dilakukan oleh beberapa macam bahan seperti minyak, udara atau gas.

## 2.6 Pengenalan Software Mathcad

Dalam sistem proteksi sendiri pengelolaan sistemnya sekarang sudah menggunakan sebuah software pendukung yang dapat mengelola sistem secara terprogram untuk memudahkan pengelolaan sistem tersebut. PT. PLN (persero) unit pelayanan transmisi (UPT) Palembang sendiri menggunakan sebuah software resmi yang bernama mathcad.

Berdasarkan Buku User Guide Mathcad 14.0 tahun 2007. Mathcad adalah standar industri alat perhitungan teknis untuk insinyur di seluruh dunia. Mathcad memberikan semua kemampuan pemecahan, fungsionalitas, dan ketahanan yang dibutuhkan untuk perhitungan, manipulasi data, dan karya desain engineering. perhitungan standardisasi dan penggunaan kembali melalui Mathcad memastikan kepatuhan standar. Dengan menggabungkan perhitungan, grafik, teks, dan gambar dalam satu dokumen, Mathcad memungkinkan menangkap pengetahuan dan publikasi bahwa pengelolaan bantuan proyek-proyek besar. Mathcad memungkinkan Anda untuk mendokumentasikan perhitungan Anda dalam bahasa matematika, karena Mathcad menggabungkan mesin komputasi yang kuat, diakses melalui notasi matematika konvensional, dengan prosesor fitur lengkap kata dan pembuatan grafik. Data yang dihitung oleh mathcad berupa:

1. Arus nominal dan arus hubung singkat
2. Kurva ketahanan transformator
3. Setting sisi 150/70 kv
4. Setting incoming
5. Setting peyulang
6. Setting SBEF



Dan data grafik yang ditampilkan berupa :

1. Koordinasi setting transformator dan penyulang gangguan phasa-pahasa
2. Koordinasi setting transformator dan penyulang gangguan phasa-tanah

Untuk menghitung data-data diatas tentunya menggunakan rumus-rumus tertentu guna mendapatkan hasil yang benar. Rumus-rumus yang digunakan sesuai dengan standar yang telah ditentukan oleh PT. PLN (Persero) P3B Sumatera Bidang Transmisi Sub Bidang Proteksi Scadatel Padang, 2008. Sebelum mengitung data dengan rumus yang ditentukan oleh standar sub bidang proteksi PT.PLN P3B Sumatera, perlu menampilkan data yang sudah ada berupa data yang terdapat pada nameplate peralatan yang dipakai seperti nameplate transformator dan NGR.

#### 2.6.1 Data Yang Digunakan Dalam software Mathcad

Berikut data jadi yang harus digunakan atau diinput dalam mathcad sebelum melakukan perhitungan :

Impedansi transformator =  $Z_t$  :0,095  
 Kapasitas transformator =  $S$  : 10  
 Tegangan nominal =  $V_{hv}$  : 70                       $V_{mv}$  :20

Tabel-2.3 Data penyetelan yang diinput/digunakan pada Mathcad

	Setting OCR		setting GFR	
<b>Sisi 70 kv (SI)</b>	Iset70 = 95	td 70 = 0,5	Isetg70 = 75	tdg70 = 0,35
<b>Sisi 20 kv (SI)</b>	Iset20 = 320 Isetins20 = 2500	td20 = 0,3 tins20 = 0,4	Isetg20 = 60	tdg20= 0,35
<b>Penyulang 20 kv (SI)</b>	Isetpeny20 = 300 Isetinsinpeny20= 960	tdpeny20 = 0,1	Isetgpeny20 = 30	tdgpeny20 = 0,1



## 2.7 Rumus Perhitungan Software Mathcad

Metode perhitungan pada laporan akhir ini dibuat dengan dua metode yaitu perhitungan dengan bantuan software dan perhitungan secara manual berikut penjabaran rumus dengan software mathcad.

Dalam penjabaran rumus mathcad ini, terdapat dua bagian rumus yaitu rumus pemebetukan kurva pada mathcad dan rumus perhitungan nilai setting yang sebenarnya dimana untuk kedua rumus tersebut di asumsikan nilai  $i$  pada rumus yang ditampilkan oleh mathcad didefinisikan dengan nilai **1** sampai arus hubung singkat maksimal sisi 20 kv (**i3f20**)

$$\text{atau } i = 1 \text{ s/d } i3f20$$

Dengan Catatan :

simbol titik (.) pada mathcad berarti atau

simbol titik (+) pada mathcad berarti dan

Berikut tahapan-tahapan perhitungan dengan menggunakan software mathcad :

### 2.7.1 Rumus Arus Nominal Transformator

Berdasarkan buku proteksi perhitungan setting relai koordinasi OCR & GFR transformator, ophar proteksi - bidang transmisi pln (persero) p3b sumatera di tentukan rumus arus nominal pada transformator dibagi menjadi dua yaitu rumus untuk arus nominal transformator, pada sisi tegangan tinggi (70 KV) dan arus nominal transformator pada sisi tegangan rendah (20 KV), sebagaimana dijelaskan sebagai berikut:

Untuk sisi primer (in70)

$$in70 = \frac{s \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot V_{hv}}$$

Untuk sisi sekunder (in20)

$$in20 = \frac{s \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot V_{mv}}$$



dimana :

1000 = sebagai pengali untuk merubah nilai kapasitas transformator dari satuan

Mva ke Va

$\sqrt{3}$  = merupakan ketetapan karena transformator yang dihitung merupakan transformator 3 phasa sehingga harus dibagi dengan  $\sqrt{3}$

S = merupakan kapasitas daya transformator terpasang dalam (MVA)

Vhv = tegangan high voltage/teg sisi primer transformator

Vmv = tegangan sisi sekunder transformator

### 2.7.2 Rumus Arus Hubung Singkat Maksimum 20 Kv

Berdasarkan buku proteksi perhitungan setting relaikoordinasi OCR & GFR transformator, ophar proteksi - bidang transmisi pln (persero) p3b sumatera di tentukan rumus arus hubung singkat maksimal sisi 20 KV pada transformator dimana nilai impedansi yang dimasukan pada rumus arus makimal hubung singkat adalah nilai impedansi sudah tersedia atau impedansi yang tertulis pada nameplate transformator. Mengapa demikian? karena impedansi yang di gunakan merupakan impedansi 3 phasa sehingga tidak perlu menghitung nilai impedansi 1 phasa yg berisi nilai impedansi urutan seperti impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif dan impedansi urutan nol. Jadi yang dihitung hanya impedansi urutan positif saja yaitu dapat langsung digantikan dengan nilai impedansi yang ada pada nameplate transformator. Seperti yang dijelaskan pada rumus dibawah ini :

Arus hubung singkat maksimal 3 phasa ( $i_{3f20}$ )

$$i_{3f20} = \frac{1}{z_t} \cdot in_{20}$$

dimana :

$z_t$  = impedansi yang ada pada nameplate transformator

$in_{20}$  = merupakan nilai arus nominal yang sudah dihitung oleh rumus arus nominal 20 Kv seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.2) diatas.



### 2.7.3 Nilai Kurva Ketahanan Transformator

Waktu ketahanan yang dimaksud disini merupakan waktu ketahanan transformator terhadap arus hubung singkat maksimum 3 fasa , yang mana waktu ketahanan transformator ini sesuai dengan ketentuan dengan acuan transformator baru yaitu selama detik. sehingga:

Waktu ketahanan transformator terhadap arus hubung singkat ( $T_{trf}$ )

$$T_{trf} = 2 \text{ detik}$$

### 2.7.4 Rumus Kurva Ketahanan Transformator

Rumus ini merupakan rumus pembentuk kurva ketahanan transformator yang ditampilkan dalam grafik pada software mathcad, yang mana rumus ini memiliki pembangian antara rumus syarat pembentukan kurva dan rumus perhitungan waktunya , sebagaimana dijelaskan pada rumus dibawah ini:

a. Koefisien untuk ketahanan transformator ( $k$ )

$$k = T_{trf} \cdot \left( \frac{i_{3f20}}{i_{n20}} \right)^2$$

dimana:

$k$  = Merupakan koefisien untuk ketahanan transformator

$T_{trf}$  = Waktu ketahanan transformator terhadap arus hubung singkat seperti yang sudah dijelaskan oleh rumus (2.5)

$i_{3f20}$  = Arus hubung singkat maksimal 3 fasa seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.4) diatas.

$i_{n20}$  = Merupakan nilai arus nominal yang sudah dihitung oleh rumus arus nominal 20 Kv seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.3) diatas.

b. Perhitungan waktu yang diasumsikan sebagai waktu instan ( $T_{11i}$ )

$$T_{11i} = [i > (2 \cdot i_{n20})] \cdot [i \leq \left( \frac{i_{n20}}{z \cdot t \cdot 2} \right)] \cdot \left[ \frac{1250}{\left( \frac{i}{i_{n20}} \right)^2} \right]$$



Dimana:

$[i > (2 \cdot \frac{in20}{zt.2})] \cdot [i \leq (\frac{in20}{zt.2})]$  = merupakan rumus syarat terbentuknya kurva ketahanan transformator, dengan penjelasan rumus di bawah ini:

$i$  = rumus yang ditampilkan oleh mathcad didefinisikan dengan nilai 1 s/d  $i_{3f20}$   
 $in\ 20$  = merupakan nilai arus nominal yang sudah dihitung oleh rumus arus nominal 20 Kv seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.6) diatas.  
 $Z_t$  = impedansi pada nameplate transformator

Sehingga penjelasannya, untuk waktu satu pada rumus syarat terbentuknya kurva ketahanan transformator diatas yaitu arus  $i$  (1 s/d  $i_{3f20}$ ) harus lebih besar dari dua kali arus nominal sisi 20 Kv transformator. atau arus  $i$  (1 s/d  $i_{3f20}$ ) harus lebih kecil atau setidaknya sama dengan arus nominal 20 Kv yang sudah dibagi dengan impedansi yang ada pada nameplate transformator.

Dan,  $\left[ \frac{1250}{(\frac{i}{in20})^2} \right]$  = merupakan rumus yang diasumsikan sebagai waktu instan kurva ketahanan transformator. Dengan penjelasan rumus seperti dibawah ini :

1250 = merupakan arus setting instan incoming pada sisi 20 KV

$i$  = rumus yang ditampilkan oleh mathcad didefinisikan dengan nilai 1 s/d  $i_{3f20}$

$in\ 20$  = merupakan nilai arus nominal yang sudah dihitung oleh rumus arus nominal 20 Kv seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.3) diatas.

c. Perhitungan waktu yang diasumsikan sebagai koefisien ketahanan transformator ( $T_{12_i}$ )

$$T_{12_i} = \left( i > \frac{in20}{zt.2} \right) \cdot \left[ \frac{k}{\left( \frac{i}{in20} \right)^2} \right]$$



Dimana:

$\left(i > \frac{in20}{zt.2}\right)$  = merupakan rumus syarat terbentuknya kurva

ketahanan transformator, dengan penjelasan rumus berikut:

$i$  = rumus yang ditampilkan oleh mathcad didefinisikan dengan nilai  $1s/d i3f20$

$in 20$  = merupakan nilai arus nominal yang sudah dihitung oleh rumus arus nominal 20 Kv seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.3) diatas.

$Zt$  = impedansi yang ada pada nameplate transformator

Dan ,  $\left[\frac{k}{\left(\frac{i}{in20}\right)^2}\right]$  = merupakan rumus yang diasumsikan sebagai koefisien

untuk kurva ketahanan transformator. Dengan penjelasan rumus seperti dibawah ini :

$k$  = Koefisien untuk ketahanan transformator seperti yang dijelaskas oleh rumus (2.6) diatas.

$i$  = rumus yang ditampilkan oleh mathcad didefinisikan dengan nilai  $1s/d i3f20$

$in 20$  = merupakan nilai arus nominal yang sudah dihitung oleh rumus arus nominal 20 Kv seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.3) diatas.

Sehingga penjelasannya, untuk waktu dua pada rumus syarat terbentuknya kurva ketahanan transformator diatas yaitu arus  $i$  ( $1 s/d i3f20$ ) harus lebih besar dari dua kali arus nominal sisi 20 Kv transformator yang sudah dibagi dengan dua kali impedansi yang ada pada nameplate transformator .

Jadi , waktu kurva ketahanan transformator keseluruhan :

$$T1_i = T11_i + T12_i$$



dimana :

$T11_i$  = Perhitungan waktu yang diasumsikan sebagai waktu instan  $v$  seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.7) diatas.

$T12_i$  = Perhitungan waktu yang diasumsikan sebagai koefisien ketahanan transformator  $v$  seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.8) diatas

### 2.7.5 Rumus Setting Sisi 150kv/70 Kv

Setting sisi 150kv atau 70 kv merupakan setting OCR dan GFR pada sisi primer transformator yaitu setting arus dan waktu delay OCR di sisi tegangan tinggi atau 70kv dan setting arus dan waktu delay GFR di sisi tegangan tinggi transformator . pada setting sisi 150/70 Kv tidak ada setting arus dan waktu instant karena setting arus dan waktu instant tidak dibutuhkan untuk sisi 150kv/70kv karena waktu instant diperlukan untuk bagian yang paling dekat dengan sisi gangguan yaitu pada sisi penyulang. sehingga hanya pada sisi 150kv/70kv setting arus instant dan waktu instant tidak diaktifkan .

a. Arus setting pada sisi 70kv / 20 kv untuk OCR (Iset70)

$$Iset70 = I set70 \cdot \frac{70.000001}{20}$$

Dimana :

$Iset70$  = arus setting pada ocr pada sisi 70 KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

70 = nilai tegangan sisi primer transformator

20 = nilai tegangan sisi sekunder transformatorfaktor  $pe$

1,0001 = faktor pengali bawaan software mathcad yang berisi koefisien , yang bertujuan agar hasil berupa angka mutlak bukan angka tak terdefinisi agar bisa dibuat kurva .



b. Waktu tunda setting pada sisi untuk OCR

$$T70_i = \left( \frac{i}{i_{set70}} > 1 \right) \cdot \left[ \frac{0,14}{\left( \frac{i}{i_{set70}} \right)^{0,02} - 1} \cdot td70 \right]$$

Dimana :

$\left( \frac{i}{i_{set70}} > 1 \right)$  = merupakan rumus syarat terbentuknya kurva waktu setting pada sisi 70 KV, dengan penjelasan rumus di bawah ini:

$i$  = rumus yang ditampilkan oleh mathcad didefinisikan dengan nilai 1 s/d  $i_{3f20}$

$i_{set70}$  = arus setting pada ocr pada sisi 70 KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

Sehingga penjelasannya, pada rumus syarat terbentuknya kurva waktu tunda pada setting OCR yaitu arus  $i$  (1 s/d  $i_{3f20}$ ) dibagi arus setting pada OCR pada sisi 70 KV harus lebih besar dari 1.

Dan  $\left[ \frac{0,14}{\left( \frac{i}{i_{set70}} \right)^{0,02} - 1} \cdot td70 \right]$  = merupakan rumus perhitungan time multiple setting (tms) atau time dial untuk penyetelan OCR. Dengan penjelasan rumus seperti dibawah ini :

$\frac{0,14}{\left( \frac{i}{i_{set70}} \right)^{0,02} - 1}$  = rumus perhitungan waktu (tms) untuk OCR pada sisi 70KV untuk standar inverse.

$td70$  = setting waktu tunda pada ocr pada sisi 70 KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang



c. Arus Setting Pada Sisi 150kv / 70 Kv Untuk GFR

$$I_{setg70} = I_{setg70} \cdot 1.0000001$$

Dimana :

$I_{setg70}$  = arus setting pada ocr pada sisi 70 KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

70 = nilai tegangan sisi primer transformator

1,0001 = faktor pengali bawaan software mathcad yang berisi koefisien, yang bertujuan agar hasil berupa angka mutlak bukan angka tak terdefinisi agar bisa dibuat kurva.

d. Waktu Tunda Setting Pada Sisi Untuk GFR

$$T70_i = \left( \frac{i}{I_{setg70}} > 1 \right) \cdot \left[ \frac{0,14}{\left( \frac{i}{I_{setg70}} \right)^{0,02} - 1} \cdot t_{dg70} \right]$$

Dimana :

$\left( \frac{i}{I_{setg70}} > 1 \right)$  = merupakan rumus syarat terbentuknya kurva waktu setting pada sisi 70 KV, dengan penjelasan rumus Di bawah ini:

$i$  = rumus yang ditampilkan oleh mathcad yang didefinisikan dengan nilai 1 s/d  $i_{3f20}$

$I_{setg70}$  = arus setting pada ocr pada sisi 70 KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

Sehingga penjelasannya, pada rumus syarat terbentuknya kurva waktu tunda pada setting GFR yaitu arus  $i$  (1 s/d  $i_{3f20}$ ) dibagi arus setting pada GFR pada sisi 70 KV harus lebih besar dari 1.



Dan  $\left[ \frac{0,14}{\left( \frac{i}{i_{setg70}} \right)^{0,02} - 1} \cdot tdg70 \right]$  = merupakan rumus perhitungan time multiple setting (tms) atau time dial untuk penyetelan GFR. Dengan penjelasan rumus seperti dibawah ini :

$\frac{0,14}{\left( \frac{i}{i_{setg70}} \right)^{0,02} - 1}$  = rumus perhitungan waktu (tms) untuk GFR pada sisi 70KV untuk standar inverse.

$tdg70$  = setting waktu tunda pada GFR pada sisi 70KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

#### 2.7.6 Rumus Setting Incoming 20kv

Setting sisi 20 kv merupakan setting OCR dan GFR pada sisi sekunder transformator yaitu setting arus dan waktu delay OCR di sisi tegangan tinggi atau 20kv dan setting arus dan waktu delay GFR di sisi tegangan rendah transformator. pada setting sisi 20Kv terdapat setting arus dan waktu instant karena setting arus dan waktu instant dibutuhkan untuk sisi 20 kv karena waktu instant diperlukan untuk bagian yang dekat dengan sisi gangguan yaitu pada sisi penyulang dan incoming atau sekunder transformator. sehingga hanya pada sisi 150kv/70kv setting arus instant dan waktu instant tidak diaktifkan .

- a. Arus setting pada sisi incoming 20kv untuk OCR

$$I_{setinc20} = I_{setinc20} \cdot 1,00001$$

Dimana :

$I_{setinc20}$  = arus setting instant pada OCR pada sisi 20KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

20 = nilai tegangan sisi sekunder transformator (sisi 20 KV)



1,0001 = faktor pengali bawaan software mathcad yang berisi koefisien yang bertujuan agar hasil berupa angka mutlak bukan angka tak terdefinisi agar bisa dibuat kurva .

b. Waktu Tunda Setting Pada Sisi Incoming Untuk OCR ( $T201_i$ )

$$T201_i = \left( \frac{i}{i_{setinc20}} < i < I_{setinsinc} \right) \cdot \left[ \frac{0,14}{\left( \frac{i}{i_{set20}} \right)^{0,02} - 1} \cdot t_{dinc20} \right]$$

Dimana :

$\left( \frac{i}{i_{setinc20}} < i < I_{setinsinc} \right)$  = merupakan rumus syarat terbentuknya kurva waktu sisi incoming 20 KV, dengan penjelasan rumus di bawah ini:

$i$  = rumus yang ditampilkan oleh mathcad didefinisikan dengan nilai 1 s/d  $i_{3f20}$

$I_{setinsinc}$  = arus setting instant untuk OCR pada sisi incoming 20 KV yang sudah ditentukan

Sehingga penjelasannya, pada rumus syarat terbentuknya kurva waktu tunda pada setting OCR untuk sisi incoming 20 KV yaitu arus  $i$  (1 s/d  $i_{3f20}$ ) dibagi arus setting incoming sisi 20KV harus kurang dari nilai  $i$  (1 s/d  $i_{3f20}$ ) kurang dari nilai arus setting incoming sisi 20KV itu sendiri.

Dan .  $\left[ \frac{0,14}{\left( \frac{i}{i_{set20}} \right)^{0,02} - 1} \cdot t_{dinc20} \right]$  = merupakan rumus perhitungan time multiple setting (tms) atau time dial untuk penyetelan OCR. Dengan penjelasan rumus seperti dibawah ini :

$\frac{0,14}{\left( \frac{i}{i_{set20}} \right)^{0,02} - 1}$  = rumus perhitungan waktu (tms) untuk OCR pada sisi Incoming 20 KV untuk standar inverse.



$tdinc20$  = setting waktu tunda pada ocr pada sisi incoming 20 KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

c. Waktu Instant Setting Pada Sisi Untuk OCR ( $T202_i$ )

$T202_i = (i \geq Isetinsinc) \cdot Tinsinc$

Dimana :

$(i \geq Isetinsinc)$ . = merupakan rumus syarat terbentuknya kurva waktu sisi incoming 20 KV, dengan penjelasan rumus di bawah ini:

$Tinsinc$  = waktu setting instant untuk OCR pada sisi incoming 20 KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

Sehingga penjelasannya, arus  $i$  harus lebih besar atau setidaknya sama dengan arus setting instan pada sisi incoming 20 KV.

Jadi, waktu setting pada sisi incoming 20KV keseluruhan :

$$T20_i = T201_i + T202_i$$

Dimana :

$T201_i$  = Waktu tunda setting pada sisi incoming untuk OCR ( $T201_i$ ) seperti yang sudah dejasikan pada rumus (2.15)

$T202_i$  = Waktu instant setting pada sisi incoming untuk OCR ( $T202_i$ ) seperti yang sudah dejasikan pada rumus (2.15)

d. Arus Setting Pada Sisi Incoming 20kv Untuk GFR

$$Isetginc20 = Isetginc20.1,00001$$



Dimana :

$I_{setginc20}$  = arus setting instant pada GFR pada sisi 20 KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

20 = nilai teggangan sisi sekunder transformator (sisi 20KV)

1,0001 = faktor pengali bawaan software mathcad yang berisi koefisien, yang bertujuan agar hasil berupa angka mutlak bukan angka terdefinisi agar bisa dibuat kurva .

e. Waktu tunda setting pada sisi incoming untuk GFR

$$Tg20_i = \left( \frac{i}{I_{setginc20}} > 1 \right) \cdot \left[ \frac{0,14}{\left( \frac{i}{I_{setginc20}} \right)^{0,02} - 1} \cdot t_{dginc20} \right]$$

Dimana :

$\left( \frac{i}{I_{setginc20}} > 1 \right)$  = merupakan rumus syarat terbentuknya kurva waktu setting pada sisi 70 KV, dengan penjelasan rumus di bawah ini:

$i$  = rumus yang ditampilkan oleh mathcad yang didefinisikan dengan nilai 1 s/d  $i_{3f20}$

$I_{setginc20}$  = arus setting pada ocr pada sisi incoming 20 KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

Sehingga penjelasannya, pada rumus syarat terbentuknya kurva waktu tunda pada setting GFR yaitu arus  $i$  (1 s/d  $i_{3f20}$ ) dibagi arus setting pada GFR pada sisi incoming 20 KV harus lebih besar dari 1.

Dan  $\left[ \frac{0,14}{\left( \frac{i}{I_{setginc20}} \right)^{0,02} - 1} \cdot t_{dginc20} \right]$  = merupakan rumus perhitungan time multiple setting (tms) atau time dial untuk penyetelan GFR. Dengan penjelasan rumus seperti dibawah ini:



$$\frac{0,14}{\left(\frac{i}{isetginc20}\right)^{0,02} - 1}$$

= rumus perhitungan waktu (tms) untuk

GFR pada sisi Incoming 20KV untuk standar inverse.

$tdginc20$

= setting waktu tunda pada GFR pada sisi 70 KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

### 2.7.7 Rumus Setting Penyulang 20 Kv

Setting penyulang 20 kv merupakan setting OCR dan GFR pada sisi outgoing transformator yaitu setting arus dan waktu delay OCR dan GFR di sisi penyulang 20kv. pada setting sisi penyulang 20Kv terdapat setting arus dan waktu instant karena setting arus dan waktu instant dibutuhkan untuk sisi penyulang 20 kv sebab sisi penyulang merupakan bagian yang paling dekat dengan sisi gangguan sehingga pada sisi ini setting arus instant dan waktu instant dibutuhkan .

- a. Arus setting OCR sisi penyulang 20 kv (Isetpeny20)

$$Isetpeny20 = Isetpeny20.1,0001$$

Dimana :

Isetpeny20 = arus setting penyulang (bandung) pada OCR pada sisi 20KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

1,0001 = faktor pengali bawaan software mathcad yang berisi koefisien , yang bertujuan agar hasil berupa angka mutlak bukan angka tak terdefinisi agar bisa dibuat kurva .



b. Waktu setting instant OCR sisi penyulang 20 KV ( $T_{ocrfl1_i}$ )

$$T_{ocrfl1_i} = (i \geq I_{setinspeny20}) \cdot 0,05$$

Dimana :

$(i \geq I_{setinspeny20})$  = merupakan rumus syarat terbentuknya kurva waktu setting pada sisi 20 KV, dengan penjelasan rumus Di bawah ini:

$i$  = rumus yang ditampilkan oleh mathcad yang didefinisikan dengan nilai  $i$  s/d  $i_{set20}$

0,05 = waktu instant yang diasumsikan untuk setting waktu OCR di sisi penyulang , karena di dalam relaitidak ada waktu pasti memiliki nilai walaupun sekecil apapun PT.PLN persero sub Proteksi memilih koefisien 0,05 (nominal dibelakang koma dianggap nol )

c. Waktu setting tunda OCR sisi penyulang 20 KV ( $T_{ocrfl2_i}$ )

$$T_{ocrfl2_i} = \left( \frac{i}{i_{setpeny20}} > 1 \right) \cdot (i \geq I_{setinspeny20}) \cdot \left[ \frac{0,14}{\left( \frac{i}{i_{setpeny20}} \right)^{0,02} - 1} \cdot t_{dpeny20} \right]$$

Dimana :

$\left( \frac{i}{i_{setpeny20}} > 1 \right) \cdot (i \geq I_{setinspeny20})$  = merupakan rumus syarat

terbentuknya kurva waktu setting pada sisi penyulang 20 KV, dengan penjelasan rumus di bawah ini:

$i$  = rumus yang ditampilkan oleh mathcad didefinisikan dengan nilai  $i$  s/d  $i_{set20}$

$I_{setpeny20}$  = arus setting pada ocr pada sisi penyulang 20 KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi



Sehingga penjelasannya, pada rumus syarat terbentuknya kurva waktu tunda pada setting OCR sisi penyulang 20 KV yaitu arus  $i$  ( $1 \text{ s/d } i_{3f20}$ ) dibagi arus setting penyulang pada OCR harus lebih besar dari 1 atau  $i$  ( $1 \text{ s/d } i_{3f20}$ ) lebih besar atau setidaknya sama dengan arus setting penyulang 20KV

$$\text{Dan} \left[ \frac{0,14}{\left( \frac{i}{i_{setpeny20}} \right)^{0,02} - 1} \cdot t_{dpeny20} \right] = \text{merupakan rumus perhitungan time}$$

multiple setting (tms) atau time dial untuk penyetelan OCR. Dengan penjelasan rumus seperti dibawah ini:

$$\frac{0,14}{\left( \frac{i}{i_{setpeny20}} \right)^{0,02} - 1}$$

= rumus perhitungan waktu (tms)

untuk OCR pada sisi Penyulang 20KV untuk standar inverse.

$$t_{dpeny20}$$

= setting waktu tunda pada ocr pada sisi Penyulang 20KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

Jadi, waktu setting OCR pada sisi penyulang 20 KV secara keseluruhan:

$$T_{ocrfl_i} = T_{ocrfl1_i} + T_{ocrfl2_i}$$

Dimana:

$T_{ocrfl1_i}$  = Perhitungan waktu instant sisi penyulang 20 KV seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.21)

$T_{ocrfl2_i}$  = Perhitungan waktu tunda untuk setting OCR pada sisi penyulang 20 KV seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.22)



d. Arus setting GFR sisi penyulang 20 kv ( $I_{setgpeny20}$ )

$$I_{setgpeny20} = I_{setgpeny20} \cdot 1,00001$$

Dimana :

$I_{setgpeny20}$  = arus setting penyulang (bandung) pada GFR pada sisi 20KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

1,0001 = faktor pengali bawaan software mathcad yang berisi koefisien ,yang bertujuan agar hasil berupa angka mutlak bukan angka tak terdefinisi agar bisa dibuat kurva .

e. Waktu setting instant OCR sisi penyulang 20 KV ( $T_{gfrfl1_i}$ )

$$T_{gfrfl1_i} = (i \geq I_{setginspeny20}) \cdot 0,05$$

Dimana :

$(i \geq I_{setginspeny20})$ . = merupakan rumus syarat terbentuknya kurva waktu setting pada sisi 20 KV, dengan penjelasan rumus Di bawah ini:

$i$  = rumus yang ditampilkan oleh mathcad yang didefinisikan dengan nilai  $s/d i3f20$

0,05 = waktu instant yang diasumsikan untuk setting waktu OCR di sisi penyulang , karena di dalam relaitidak ada waktu nol , pasti memiliki nilai walaupun sekecil apapun sehingga PT.PLN persero sub Proteksi memilih koefisien 0,05 (nominal dibelakang koma dianggap nol )



f. Waktu setting instant OCR sisi penyulang 20 KV ( $T_{gfrfl2_i}$ )

$$T_{gfrfl2_i} = \left( \frac{i}{I_{setgpeny20}} > 1 \right) \cdot (i \geq I_{setgpeny20})$$

$$\left[ \frac{0,14}{\left( \frac{i}{I_{setgpeny20}} \right)^{0,02} - 1} \cdot t_{dgpeny20} \right]$$

Dimana :

$$\left( \frac{i}{I_{setgpeny20}} > 1 \right) \cdot (i \geq I_{setgpeny20}) = \text{merupakan rumus syarat}$$

terbentuknya kurva waktu setting pada sisi penyulang 20 KV, dengan penjelasan rumus di bawah ini:

$i$  = rumus yang ditampilkan oleh mathcad didefinisikan dengan nilai 1 s/d  $i_{3f20}$

$I_{setgpeny20}$  = arus setting pada GFR pada sisi penyulang 20 KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

Sehingga penjelasannya, pada rumus syarat terbentuknya kurva waktu tunda pada setting OCR sisi penyulang 20 KV yaitu arus  $i$  (1 s/d  $i_{3f20}$ ) dibagi arus setting penyulang pada OCR harus lebih besar dari 1 atau  $i$  (1 s/d  $i_{3f20}$ ) lebih besar atau setidaknya sama dengan arus setting penyulang 20KV.

$$\text{Dan} \left[ \frac{0,14}{\left( \frac{i}{I_{setgpeny20}} \right)^{0,02} - 1} \cdot t_{dgpeny20} \right] = \text{merupakan rumus perhitungan time}$$

multiple setting (tms) atau time dial untuk penyetelan GFR. Dengan penjelasan rumus seperti dibawah ini:

$$\frac{0,14}{\left( \frac{i}{I_{setgpeny20}} \right)^{0,02} - 1}$$

= rumus perhitungan waktu (tms)

untuk GFR pada sisi Penyulang 20KV untuk standar inverse.




---

 $tdgpeny20$ 

= setting waktu tunda pada GFR pada sisi Penyulang 20KV yang telah ditentukan sebelumnya oleh PT.PLN sub proteksi UPT Palembang

Jadi, waktu setting GFR pada sisi penyulang 20 KV secara keseluruhan:

$$Tgfrfl_i = Tgfrfl1_i + Tgfrfl2_i$$

Dimana:

$Tgfrfl1_i$  = Perhitungan waktu instant sisi penyulang 20 KV seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.25) diatas.

$Tgfrfl2_i$  = Perhitungan waktu tunda untuk setting GFR pada sisi penyulang 20 KV seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.26)

## 2.8 Rumus Perhitungan Manual

Berbeda dengan rumus sebelumnya yang mana proses perhitungannya menggunakan software, pada perhitungan kedua ini dilakukan secara manual dengan acuan perhitungan berdasarkan rumus standar IEC dan juga mengacu pada manual book merek relai yang dipakai .

Untuk relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR) pada sisi primer 70 kv, sekunder 20kv, dan penyulang 20kv menggunakan relai merek SEPAM 1000 dengan standar karakteristik waktu inverse time (SI) . maka berdasarkan Manual Book Relai Merlin Gerin Tipe Sepam 1000 dengan acuan rumus nilai waktu (t) sesuai dengan tabel berikut.



Tabel-2.4 Standar Karakteristik Waktu Inverse Time (SI) Untuk Relai SEPAM  
1000

No	Karakteristik	Rumus
1	Standard Inverse	$t = \frac{0,14}{I^{0,02}-1} \cdot \frac{tms}{2,97}$
2	Ultra Inverse	$t = \frac{315}{I^{2,5}-1} \cdot tms$
3	Extremely Inverse	$t = \frac{80}{I^2-1} \cdot \frac{tms}{0,808}$
4	Long Time Inverse	$t = \frac{13,5}{I-1} \cdot \frac{tms}{1,5}$

Untuk setelan arus dari relai arus lebih pada OCR dihitung berdasarkan arus nominal transformator atau arus beban transformator, sesuai dengan british standard (buku perhitungan setting dan koordinasi proteksi sistem distribusi oleh PT.PLN persero pusat pendidikan dan latihan. Jakarta .hal 20) Relai inverse biasa di set sebesar 1,1 sampai dengan 1,2 dikali In biasanya diambil yang terkecil yaitu 1,1. Sedangkan untuk setelan dari relai gangguan tanah pada GFR dihitung berdasarkan :

Data yang harus ditampilkan sebelum melakukan perhitungan manual GFR adalah sebagai berikut :

1. Kapasitas transformator (S)
2. Tegangan nominal transformator (V)
3. Rasio CT
4. Impedansi transformator (Zt)
5. Standar setelan arus relai inverse (1,05- 1,1) diambil rata-rata 1,075
6. Batasan Waktu kerja OCR sesuai kaidah yang digunakan PT.PLN (t)



### 2.8.1 Rumus Arus Nominal Transformator

Untuk sisi primer (70 KV)

$$in70 = \frac{s.1000}{\sqrt{3}.V_{hv}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Untuk sisi sekunder (20 KV)

$$in20 = \frac{s.1000}{\sqrt{3}.V_{mv}} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana :

1000 = sebagai pengali untuk merubah nilai kapasitas transformator dari satuan Mva ke Va

$\sqrt{3}$  = merupakan ketetapan karena transformator yang dihitung merupakan transformator 3 fasa sehingga harus dibagi dengan  $\sqrt{3}$

S = merupakan kapasitas daya transformator terpasang dalam (MVA)

$V_{hv}$  = tegangan high voltage/teg sisi primer transformator

$V_{mv}$  = tegangan sisi sekunder transformator

### 2.8.2 Rumus Arus Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa (If)

$$I_f = \frac{I_n}{Z_t} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

$Z_t$  = impedansi yang ada pada nameplate transformator

$I_n$  = merupakan nilai arus nominal yang sudah dihitung oleh rumus arus nominal 70 kv atau 20 Kv seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.1) dan (2.2) diatas.

### 2.8.3 Arus Setting /Penyetelan Untuk OCR (Is)

Berdasarkan Buku Pedoman Operasi Dan Pemeliharaan (O&M) Peralatan Proteksi PT. PLN (persero) P3B Sumatera Bidang Transmisi Sub Bidang Proteksi Scadatel, Padang. tahun 2007 halaman 16. Berikut rumus arus penyetelan OCR.

Untuk sisi primer 70 kv :

$$I_s = (1,1 \text{ s.d } 1,2) \times I_{nTrf}$$

$$I_s = 1,1 \times I_{n70} \dots\dots\dots(2.4)$$



Untuk sisi sekunder 20 kv :

$$I_s = (1,1 \text{ s.d } 1,2) \times I_{nTrf}$$

$$I_s = 1,1 \times I_{n20} \dots\dots\dots(2.5)$$

Untuk sisi penyulang 20 kv :

$$I_s = (1,1 \text{ s.d } 1,2) \times I_{nTrf}$$

$$I_s = 1,1 \times I_{n20} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

1,075 = rata-rata setelan arus untuk OCR yang digunakan untuk relai inverse sesuai dengan british standard yang digunakan PT. PLN(persero)

$I_n$  = merupakan nilai arus nominal yang sudah dihitung oleh rumus arus nominal 70 kv atau 20 Kv seperti yang dijelaskan oleh rumus (2.1) dan (2.2) diatas.

#### 2.8.4 Waktu Penyetelan OCR

Berdasarkan manual book relai merlin gerin tipe Sepam 1000 halaman 30 rumus penyetelan waktu relai dengan *standar inverse*.

$$t = \frac{0,14}{I^{0,02-1}} \cdot \frac{tms}{2,97} \dots\dots\dots(2.7)$$

sehingga,

$$tms = t \times \frac{I^{0,02-1}}{0,14} \times 2,97 \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana :

rumus t = rumus perhitungan t standar inverse berdasarkan manual book sepam 1000 (tabel 2.4)

Sedangkan untuk perhitungan GFR Data yang harus ditampilkan sebelum melakukan perhitungan manual adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas transformator (S)
2. Tegangan nominal transformator (V)
3. Time multiple setting (Tms)



4. Tegangan phasa-phas (Vph)
5. Standar setelan arus relai inverse berdasarkan batasab standar yang digunakan PT. PLN (SI / LTI)
6. Batasan Waktu kerja OCR sesuai dengan kaidah yang digunakan PT.PLN (t)

#### 2.8.5 Rumus Arus Nominal Transformator (Persamaan 2.1 Dan 2.2)

#### 2.8.6 Rumus Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Phasa Ke Tanah Untuk GFR.

Berdasarkan Buku Perhitungan Setting Dan Koordinasi Proteksi Sistem Distribusi PT.PLN (persero) Pusdiklat tahun 2007 halaman 30 rumus arus hubung singkat 1 phasa ke tanah untuk GFR adalah sebagai berikut.

$$I_f = \frac{3 \cdot V_{ph}}{2 \cdot Z_1 - e_q + Z_0 - e_q} \dots \dots \dots (2.9)$$

Berikut penjelasan terbentuknya rumus arus hubung singkat satu phasa ke tanah :

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat 1 phasa ke tanah, diperlukan nilai impedansi sumber dan reaktansi lainnya sesuai dengan penjabaran berikut.

#### Perhitungan Impedansi Sumber ( $X_s$ ) Disisi 70 Kv Dan 20 Kv

Berdasarkan Buku Perhitungan Setting Dan Koordinasi Proteksi Sistem Distribusi PT.PLN (persero) Pusdiklat tahun 2007 halaman 22. Sebelum menghitung nilai impedansi sumber dibutuhkan Data Hubung Singkat di bus sisi primer (70kV) transformator . untuk Gardu Induk Talang ratu Data Hubung Singkat di bus sisi primer (70kV) adalah sebesar 776,76 MVA.

$$X_{S(70KV)} = \frac{\text{Tegangan sisi primer trafo (KV)}^2}{\text{MVA hubung singkat (MV)}} \dots \dots \dots (2.10)$$

Untuk mengetahui Impedansi di sisi sekunder yaitu di bus sisi 20 kV Berdasarkan Buku Perhitungan Setting Dan Koordinasi Proteksi Sistem Distribusi



PT.PLN (persero) Pusdiklat tahun 2007 halaman 24. Yaitu :

$$X_{S(20KV)} = \frac{\text{Tegangan sisi sekunder trafo (KV)}^2}{\text{Tegangan sisi primer trafo (KV)}^2} \dots\dots\dots (2.11)$$

Perhitungan Impedansi Transformator ( $X_{t1}$ ,  $X_{t2}$ ,  $X_{t0}$ )

Berdasarkan Buku Perhitungan Setting Dan Koordinasi Proteksi Sistem Distribusi PT.PLN (persero) Pusdiklat tahun 2007 halaman 24 Besarnya impedansi transformator tenaga satu di Gardu Induk Talang Ratu adalah 9,5%, agar dapat mengetahui besarnya nilai impedansi urutan positif, negatif dan impedansi urutan nol dalam ohm, maka perlu dihitung dulu besar nilai ohm pada 100% nya yaitu:

$$X_{t(\text{pada } 100\%)} = \frac{(KV \text{ sek})^2}{MVA \text{ trafo}} \dots\dots\dots (2.12)$$

1. Nilai impedansi transformator tenaga :

Impedansi urutan positif, negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ )

$$X_{t1} = X_{t2} = \text{Impedansi Transformator} \times X_t \text{ (pada } 100\% \text{)} \dots\dots\dots (2.13)$$

2. Impedansi urutan nol ( $X_{t0}$ )

Sesuai dengan buku udiklat PT.PLN (persero) perhitungan setting koordinasi proteksi dan sistem distbusi, perhitungan reaktansi urutan nol ( $X_{t0}$ ) Untuk transformator tenaga dengan hubungan belitan delta  $Yy_0$ , dimana kapasitas belitan delta , sepertiga dari kapasitas belitan Y (belitan yang dipakai untuk menyalurkan daya, sedangkan belitan delta tetap ada di dalam transformator, tetapi tetapi tidak dikeluarkan kecuali satu terminal delta untuk ditanahkan), maka nilai  $X_{t0} = 3 \times X_{t1}$

$$\text{Jadi } X_{t0} = 3 \times X_{t1} \dots\dots\dots (2.14)$$



### 3. Menghitung Impedansi Penyulang

Dari data yang diperoleh biasanya dalam perhitungan nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan banyak yang mengasumsikan dengan jarak 1%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang, namun karena impedansi penyulang yang dibutuhkan hanya untuk setting relai maka PT.PLN persero sub bidang transmisi UPT Palembang menggunakan asumsi 0% panjang penyulang, artinya disini tidak dibutuhkan data panjang penyulang karena pada asumsi panjang penyulang 0% arus hubung singkat yang digunakan adalah arus hubung singkat pada busbar sehingga tidak membutuhkan data panjang, jenis kabel, impedansi kabel dan sebagainya. Dan nilai impedansi nya diabaikan dan dianggap nol. ( $Z_{\text{penyulang}} = 0$ )

### 4. Menghitung Impedansi Ekuivalen Jaringan

Berdasarkan Buku Perhitungan Setting Dan Koordinasi Proteksi Sistem Distribusi PT.PLN (persero) Pusdiklat tahun 2007 halaman 25. Berikut perhitungan impedansi ekuivalen jaringan.

Perhitungan  $Z_{1eq} = Z_{2eq}$  :

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = X_s (\text{sisi } 20 \text{ kV}) + X_{t0} + Z_1 \text{ penyulang} \dots \dots \dots (2.15)$$

Karena lokasi gangguan diasumsikan 0%, maka tidak dibutuhkan pentabelan impedansi ekuivalen per panjang penyulang.

Untuk perhitungan  $Z_{0eq}$  dapat ditentukan :

$$Z_{0eq} = X_{t0} + 3 R_N + Z_0 \text{ penyulang} \dots \dots \dots (2.16)$$

Dimana :

$R_N$  = merupakan tahanan netral pertanahan yaitu resistansi NGR yang terdapat di nameplate NGR yaitu 40 Ohm

Karena lokasi gangguan diasumsikan 0%, maka tidak dibutuhkan pentabelan nilai impedansi ekuivalen per panjang penyulang.



Jadi, Rumus Arus Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa Ke Tanah adalah :

$$I_{1\text{ fasa}} = \frac{3 \cdot V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}}$$

Karena  $Z_{1eq} = Z_{2eq}$ , maka :

$$I_{1\text{ fasa}} = \frac{3 \cdot V_{ph}}{2 \cdot Z_{1eq} + Z_{0eq}} \dots \dots \dots (2.17)$$

Dimana :

$I_{1\text{ fasa}}$  = Arus gangguan hubung singkat 1 fasa (A)

$V_{ph}$  = Tegangan fasa-netral sistem 70 kv =  $\frac{70.000}{\sqrt{3}}$  V dan

$$20 \text{ kV} = \frac{20.000}{\sqrt{3}} \text{ V}$$

$Z_{1eq}$  = Impedansi ekivalen urutan positif (ohm) sesuai dengan perhitungan sebelumnya diatas

$Z_{0eq}$  = Impedansi ekivalen urutan nol (ohm) sesuai dengan perhitungan sebelumnya

### 2.8.7 Arus Setting /Penyetelan Untuk GFR (Is)

Berdasarkan Buku Pedoman Operasi Dan Pemeliharaan (O&M) Peralatan Proteksi PT. PLN (persero) P3B Sumatera Bidang Transmisi Sub Bidang Proteksi Scadatel, Padang. tahun 2007 halaman 17 arus penyetelan untuk GFR.

$$\text{Sisi (70 kv)} = 0,5 \text{ s.d } 0,8 \times I_n \text{ transformator} \dots \dots \dots (2.18)$$

$$\text{Sisi (20 kv)} = 0,2 \times I_n \text{ transformator} \dots \dots \dots (2.19)$$

$$\text{Sisi (penyulang 20 kv)} = 0,2 \times I_{hs} \text{ 1 fasa ketanah} \dots \dots \dots (2.20)$$

Dimana:

0,1- 0,2 = rata-rata setelan arus untuk GFR yang digunakan untuk relai *inverse* dan *long time inverse* (khusus untuk NGR) sesuai dengan british standard yang digunakan PT. PLN(persero)

### 2.8.8 Waktu Penyetelan GFR Dengan Standar Inverse (sama dengan persamaan 2.7 dan 2.8)