



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Relay SEPAM

SEPAM atau *Square d'Electrical Protection and Monitoring* adalah suatu jajaran rele proteksi yang didesain untuk mengamankan operasional dari suatu mesin dan jaringan distribusi tenaga listrik pada instalasi industri. Relay proteksi SEPAM yang digunakan di PT. Bukit Asam Tbk. adalah tipe SEPAM 1000+ yang memiliki beberapa jenis dan kelas. Setiap kelas memiliki fitur dan fungsi yang berbeda-beda. SEPAM 1000+ memiliki 6 jenis yang berbeda dan tiap jenis memiliki 4 kelas. Berikut klasifikasi SEPAM berdasarkan jenis dan kelasnya :

- SEPAM 1000+ jenis S. Digunakan untuk proteksi *switchgear*.
- SEPAM 1000+ jenis B. Digunakan untuk proteksi *busbar*.
- SEPAM 1000+ jenis T. Digunakan untuk proteksi Transformator.
- SEPAM 1000+ jenis M. Digunakan untuk proteksi Motor listrik.
- SEPAM 1000+ jenis C. Digunakan untuk proteksi kapasitor bank.
- SEPAM 1000+ jenis G. Digunakan untuk proteksi generator.

Setiap jenis SEPAM 1000+ memiliki 4 kelas yang berbeda yaitu kelas 20, 40 dan 80. Setiap kelas memiliki fasilitas yang berbeda dalam beberapa hal seperti, fitur kelengkapan proteksi, fitur tampilan layar LCD, fitur kemampuan berkomunikasi, fitur diagnosis, fitur kartu ekspansi tambahan dan tentu saja fitur harga. Semakin besar jenis kelas SEPAM 1000+ semakin lengkap fitur proteksi yang dimiliki, semakin mudah untuk dihubungkan dengan perangkat lain dan semakin mahal harga per unitnya. Berikut adalah tabel karakteristik umum *relay* SEPAM 1000+ untuk seluruh jenis dan kelas yang dipasarkan :

Electrical Network Protection SEPAM user manual.Schneider Electric



Electrical characteristics				
analog inputs				
current transformer ⁽¹⁾		1 A CT	< 0.001 VA	
1 A to 6250 A ratings		5 A CT	< 0.025 VA	
voltage transformer		100 to 120 V	> 100 k Ω	
220 V to 250 kV ratings				
input for RTDs ⁽²⁾ (MET 148 module)				
type of RTD		Pt 100	Ni 100 / 120	
isolation from earth		no	no	
logic inputs (MES 108 or MES 114 module)				
voltage ⁽²⁾		24 to 250 Vdc	-20/+10%	(from 19.2 to 275 Vdc)
consumption		3 mA typical		
control logic outputs (O1, O2, O11 contacts) ⁽²⁾				
voltage	DC	24 / 48 Vdc	127 Vdc	220 Vdc
	AC (47.5 to 63 Hz)			100 to 240 Vac
continuous rating		8 A	8 A	8 A
breaking capacity	resistive load	8 / 4 A	0.7 A	0.3 A
	L/R load < 20 ms	6 / 2 A	0.5 A	0.2 A
	L/R load < 40 ms	4 / 1 A	0.2 A	0.1 A
	resistive load			8 A
	load p.f. > 0.3			5 A
monitoring logic outputs (O3, O4, O12, O13, O14 contacts) ⁽²⁾				
voltage	DC	24 / 48 Vdc	127 Vdc	220 Vdc
	AC (47.5 to 63 Hz)			100 to 240 Vac
continuous rating		2 A	2 A	2 A
breaking capacity	L/R load < 20 ms	2 / 1 A	0.5 A	0.15 A
	load p.f. > 0.3			1 A
power supply ⁽²⁾				
	range	deactivated cons. ⁽³⁾	max. cons. ⁽³⁾	inrush current
24 Vdc	-20% +50 % (19.2 to 36 Vdc)	3 to 6 W	7 to 11 W	< 10 A for 10 ms
48 / 250 Vdc	-20% +10 %	2 to 4.5 W	6 to 8 W	< 10 A for 10 ms
110 / 240 Vac	-20% +10 % (47.5 to 63 Hz)	3 to 9 VA	9 to 15 VA	< 15 A for first half-period
analog output (MSA 141 module)				
current		4 - 20 mA, 0 - 20 mA, 0 - 10 mA		
load impedance		< 600 Ω (wiring included) ⁽²⁾		
accuracy		0.5%		

⁽¹⁾ wiring: maximum core section $\leq 6 \text{ mm}^2$ (\geq AWG 10) and ring lug terminal $\varnothing 4 \text{ mm}$.
⁽²⁾ wiring: 1 wire maximum core section 0.2 to 2.5 mm^2 (\geq AWG 24-12) or 2 wires maximum core section 0.2 to 1 mm^2 (\geq AWG 24-16).
⁽³⁾ according to configuration.

Tabel 2.1 Karakteristik Umum SEPAM 1000+

Pada SEPAM 1000+ mempunyai tipe 20, 40, dan 80 sesuai dengan fungsi dalam pengaplikasiannya dan dari tipe – tipe tersebut masih mempunyai seri – seri yang berbeda yang dipergunakan di setiap industri. Berikut merupakan tabel seri – seri dari tipe SEPAM 1000+ berdasarkan fungsinya.



Aplikasi	Series 20	Series 40	Series 80
Substation	S20	S40/S41/S42	S80/S81/S82
Transformer	T20	T40/T42	T81/T82/T87
Motor	M20	M41	M81/M87/M88
Generator		G40	G82/G87/G88
Busbar	B21/B22		

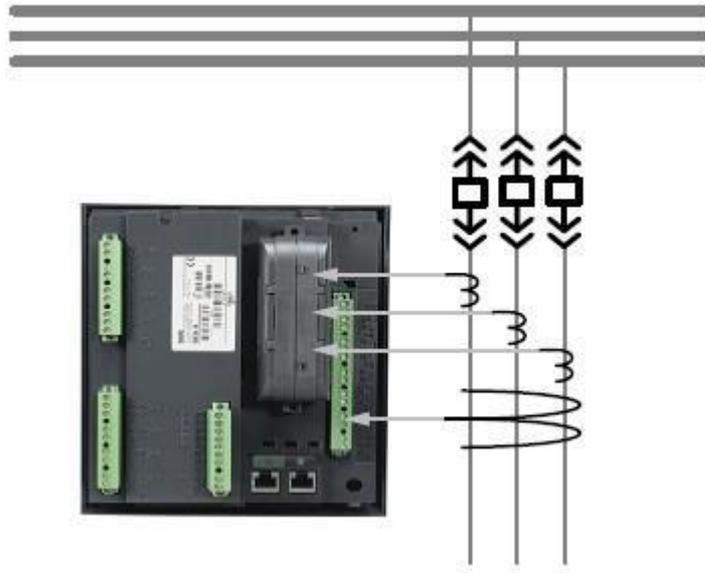
Tabel 2.2 Seri SEPAM 1000+ berdasarkan tipe dan fungsionalnya

2.1.1 SEPAM 1000+ seri 20

SEPAM 1000+ seri 20 merupakan salah satu tipe dari SEPAM 1000+ yang dipergunakan sebagai proteksi pada motor, busbar, transformator, dan pada *substation*. Perangkat ini dapat melakukan pengukuran pada arus dan tegangan sesuai dengan pengaplikasiannya. SEPAM 1000+ seri 20 ini memiliki 10 *logic inputs* dan 8 *relay output*. Kontrol dayanya menggunakan tegangan berkisar 24/250 Vdc atau 110/240 Vac. Berikut merupakan bentuk fisik dan diagram garis SEPAM 1000+ seri 20.



Gambar 2.1 Bentuk Fisik SEPAM 1000+ seri 20



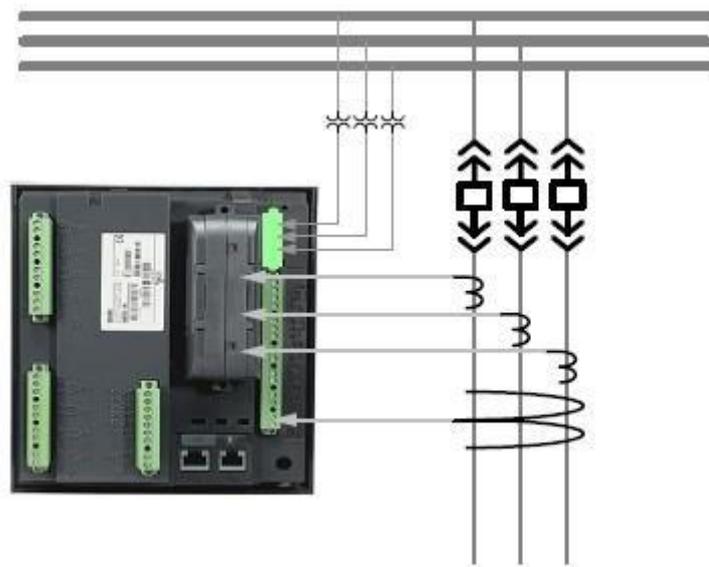
Gambar 2.2 Diagram Garis SEPAM 1000+ seri 20

2.1.2 SEPAM 1000+ seri 40

SEPAM 1000+ seri 40 merupakan salah satu tipe dari SEPAM 1000+ yang dipergunakan sebagai proteksi pada generator, motor, transformator, dan pada *substation*. Perangkat ini dapat melakukan semua pengukuran pada setiap pengaplikasiannya. Sama seperti seri 20, SEPAM 1000+ seri 40 ini memiliki 10 *logic inputs* dan 8 *relay output*. Kontrol dayanya menggunakan tegangan berkisar 24/250 Vdc atau 110/240 Vac. Berikut merupakan bentuk fisik dan diagram garis SEPAM 1000+ seri 40.



Gambar 2.3 Bentuk Fisik SEPAM 1000+ seri 40



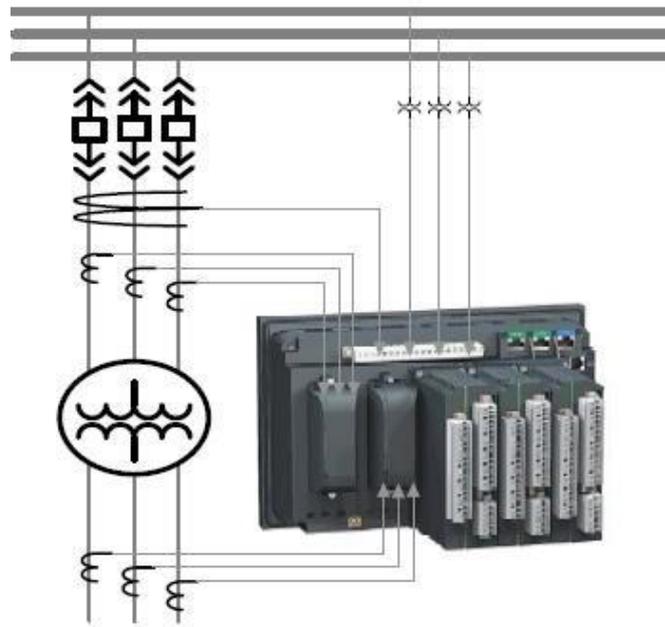
Gambar 2.4 Diagram Garis SEPAM 1000+ seri 40

2.1.3 SEPAM 1000+ seri 80

Pada kelasnya, SEPAM 1000+ seri 80 merupakan seri yang mempunyai banyak tipe sesuai dengan aplikasinya. Perangkat ini dipergunakan untuk proteksi pada motor, busbar, transformator, dan pada *substation*. SEPAM 1000+ seri 80 ini memiliki 42 *logic inputs* dan 23 *relay output*. Kontrol dayanya menggunakan tegangan berkisar 24/250 Vdc. Berikut merupakan bentuk fisik dan diagram garis SEPAM 1000+ seri 80.



Gambar 2.5 Bentuk Fisik SEPAM 1000+ seri 80



Gambar 2.6 Diagram Garis SEPAM 1000+ seri 80

2.2 Relay SEPAM Series 40

Sepam adalah rele proteksi digital terbaru dari generasi relai proteksi yang dimulai sejak 15 tahun yang lalu oleh Schneider Electric.

Adapun kelebihan yang dimiliki oleh Relai Proteksi Digital SEPAM antara lain :

1. Fungsi proteksi yang lengkap untuk aplikasi substation/feeder, transformer, motor, busbar.
2. Display LCD dengan tampilan grafis memberikan kemudahan pembaca dan pengguna.
3. Input dan output logik untuk kontrol CB close/open, inhibit closing, remote tripping.
4. Tegangan kerja 24-250 Vdc / 120-240 Vac.



5. Sebagai opsi, memonitor CB untuk perawatan : waktu operasi, waktu charging, supervisi trip circuit (power supplai, wiring, dan trip coil), operation counter, dan total kumulatif arus trip.
6. Sebagai opsi, memonitor temperatur melalui RTD (motor dan transformer)



Gambar 2.7 Relay SEPAM Series 40

Di PT Bukit Asam (Persero) tbk menggunakan Relai Proteksi Digital SEPAM series 40. Yang dapat memproteksi beberapa gangguan, antara lain :

1. Undervoltage
2. Overvoltage
3. Directional active over power
4. Directional reactive over power
5. Phasa under current
6. Temperatur monitoring
7. Broken conductor
8. Thermal overload
9. Phasa over current
10. Breaker failure
11. Earth fault
12. Recloser
13. Over frequency
14. Under frequency



2.3 Sistem Proteksi Distribusi Tenaga Listrik

2.3.1 Pengertian Sistem Proteksi

Secara umum sistem proteksi ialah cara untuk mencegah atau membatasi kerusakan peralatan terhadap gangguan, sehingga kelangsungan penyaluran tenaga listrik dapat di pertahankan. Rele proteksi ialah susunan peralatan yang di rencanakan untuk dapat merasakan adanya ketidak normalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan segera secara otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi isyarat berupa lampu dan bel. Rele proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang di gunakan dengan mengukur dan membandingkan besaran-besaran yang diterima, misalnya arus, tegangan, daya, frekuensi, dan impedansi dengan besaran yang telah di tentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, saluran distribusi dan sebagainya supaya masing-masing bagian sistem dapat dipisahkan sedemikian rupa sehingga sistem lainya tetap dapat beroperasi

2.3.2 Tujuan Sistem Proteksi

Gangguan pada sistem ditribusi tenaga listrik hampir seluruhnya merupakan gangguan hubung singkat, yang akan menimbulkan arus yang cukup besar. Semakin besar sistemnya semakin besar gangguanya. Arus yang besar bila tidak segera di hilangkan akan merusak peralatan yang dilalui arus gangguan. Untuk melepaskan daerah yang terganggu itu maka diperlukan suatu sistem proteksi, yang pada dasarnya adalah alat pengaman yang bertujuan untuk melepaskan atau membuka sistem yang terganggu, sehingga arus gangguan ini akan padam.

Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar – dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*.

Universitas Sriwijaya : 3, 101



Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain

1. Untuk menghindari atau mengurangi kerusakan akibat gangguan pada peralatan yang terganggu atau peralatan yang dilalui oleh arus gangguan.
2. Untuk melokalisir (mengisolasi) daerah gangguan menjadi sekecil mungkin.
3. Untuk dapat memberikan pelayanan listrik dengan keandalan yang tinggi kepada konsumen. Serta memperkecil bahaya bagi manusia.

2.3.3 Persyaratan Sistem Proteksi

Tujuan utama sistem proteksi adalah :

1. Mendeteksi kondisi abnormal (gangguan)
2. Mengisolir peralatan yang terganggu dari sistem. Persyaratan terpenting dari sistem proteksi yaitu :

A. Kepekaan

Pada prinsipnya relay harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamannya, termasuk kawasan pengaman cadangan-jauhnya, meskipun dalam kondisi yang memberikan deviasi yang minimum.

Untuk relay arus-lebih hubung-singkat yang bertugas pula sebagai pengaman cadangan jauh bagi seksi berikutnya, relay itu harus dapat mendeteksi gangguan pada tingkat yang masih dini sehingga dapat membatasi kerusakan. Bagi peralatan seperti tersebut di atas, hal ini sangat penting karena jika gangguan itu sampai merusak besi laminasi stator atau inti trafo, maka perbaikannya akan sangat sukar dan mahal.

Sebagai pengaman gangguan tanah pada SUTM, relay yang kurang peka menyebabkan banyak gangguan tanah, dalam bentuk sentuhan dengan pohon yang tertiuip angin, yang tidak bisa di deteksi. Akibatnya, busur apinya berlangsung lama dan dapat menyebar ke fasa



lain, maka relay hubung-singkat yang akan berkerja. Gangguan sedemikian bisa terjadi berulang kali di tempat yang sama yang dapat mengakibatkan kawat cepat putus. Sebaliknya jika terlalu peka, relay akan terlalu sering trip untuk gangguan yang sangat kecil yang mungkin bisa hilang sendiri atau resikonya dapat di batalkan atau dapat di terima.

B. Keandalan

Ada tiga aspek dalam keandalan :

1. Dependability

Yaitu tingkat kepastian bekerjanya (keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu), tidak boleh gagal berkerja. Dengan kata lain perkataan dependability-nya harus tinggi.

2. Security

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah berkerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus berkerja, misalnya karena lokasi gangguan dari luar kawassan pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat. Salah kerja mengakibatkan pemadaman yang sebenarnya tidak perlu terjadi. Jadi pada prinsipnya pengaman tidak boleh salah berkerja, dengan lain perkataan security-nya harus tinggi.

3. Availability

Yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan berfungsi/siap kerja dan waktu total dalam operasinya. Dengan relay elektromekanis, jika rusak/tak berfungsi, tidak diketahui segera. Baru di ketahui dan di perbaiki atau di ganti. Disamping itu, sistem proteksi yang baik juga dilengkapi dengan kemampuan mendeteksi terputusnya sikrit trip, sikrit sekunder arus, sirkit sekunder teganganserta hilangnya



tegangan serta hilangnya tegangan searah (DC voltage), dan memberikan alarm sehingga bisa di perbaiki, sebelum kegagalan proteksi dalam gangguan yang sesungguhnya, benar benar terjadi. Jadi availability dan keandalanya tinggi.

C. Selektifitas

Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi atau peralatan yang terganggu saja yang termasuk dalam kawasan pengamanan utamanya. Pengamanan sedemikian disebut pengaman yang selektif. Jadi relai harus dapat membedakan apakah :

1. Gangguan terletak di kawasan pengamanan utamanya dimana ia harus berkerja cepat.
2. Gangguan terletak di seksi berikutnya dimana ia harus berkerja dengan waktu tunda (sebagai pengaman cadangan) atau menahan diri untuk tidak trip.
3. Gangguanya di luar daerah pengamanya, atau sama sekali tidak ada gangguan, dimana ia tidak harus berkerja sama sekali. ada gangguan, dimana ia tidak harus berkerja sama sekali.

Untuk itu relay-relay, yang di dalam sistem terletak secara seri, dikoordinie dengan mengatur peringkat waktu (time grading) atau peningkatan setting arus (current grading) atau gabungan dari keduanya. Untuk itulah relay dibuat dengan bermacam-macam jenis dan karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dan karakteristik relay yang tepat, spesifikasi trafo arus yang benar, serta penentuan setting rele yang terkoordinir dengan baik, selektifitas yang baik dapat diperoleh.

Pengaman utama yang memerlukan kepekaan dan kecepatan yang tinggi, seperti pengaman transformator tenaga, gnerator, dan busbar pada sistem tenaga listrik extra tinggi dibuat berdasarkan perinsip kerja yang mempunyai kawasan pengaman yang batasnya sangat jelas dan pasti, dan



tidak selektif terhadap gangguan di luar kewasannya, sehingga sangat selektif, tapi tidak bisa memberikan pengamanan cadangan bagi seksi berikutnya.

D. Kecepatan

Untuk memperkecil kerugian/kerusaka akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus di pisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Waktu total pembebasan sistem dari gangguan adalah waktu sejak munculnya gangguan, sampai bagian yang terganggu benar-benar terpisah dari bagian sistem lainnya. Kecepatan itu penting untuk :

1. Menghindari kerusakan secara thermis pada peralatan yang di lalui arus gangguan serta membatasi kerusakan pada alat yang terganggu.
2. Mempertahankan kesetabilan system.
3. Membatasi ionisasi (busur api) pada gangguan di saluran udara yang akan berarti memperbesar kemungkinan berhasilnya penutupan balik PMT (reclosing) dan memepersingkat dead timenya (interval waktu antara buka dan tutup).

Untuk menciptakan selektifitas yang baik, mungkin saja suatu pengaman terpaksa di beri waktu tunda (td) namun waktu tunda tersebut harus sesingkat mungkin (seperlunya saja) dengan memperhitungkan resikoanya.

2.4 Impedansi

Impedansi merupakan perbandingan tegangan dan arus pada rele, dimana arus beban biasanya jauh lebih kecil dari arus gangguan, maka perbandingan impedansi akan besar sekali pada keadaan sistem yang normal. Sebelum menghitung arus gangguan hubung singkat, terlebih dahulu dihitung besar impedansi (Z) dari sumber ke titik gangguan. Berdasarkan fungsinya impedansi secara umum dibedakan menjadi 3 yaitu:

(Affandi, Irfan. 2009. *Setting Relai Arus Lebih dan Gangguan Tanah*. Universitas Indonesia : 22 – 24)



2.4.1 Impedansi Sumber

Bila sistem tenaga listrik disuplai dari pembangkit maka impedansi sumber dihitung dari pusat pembangkit tersebut. Besarnya impedansi sumber dihitung dengan persamaan dibawah ini :

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

X_s = Impedansi sumber (ohm)

kV^2 = Tegangan sisi primer trafo (kV)

MVA = Daya hubung singkat (MVA)

Arus gangguan hubung singkat di sisi 20 kV diperoleh dengan cara menggunakan rumus :

$$MVA_{\text{hubung singkat}} = 3 \times kV_{\text{nominal}} \times I_{SC} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

$MVA_{\text{hubung singkat}}$ = Daya hubung singkat sumber (MVA)

kV_{nominal} = Tegangan nominal sumber (kV)

I_{SC} = Arus hubung singkat pada sumber (A)

Sedangkan untuk mencari I_{SC} dapat menggunakan rumus :

$$I_{sc} = \frac{100}{Z} \times FLA \dots\dots\dots(2.3)$$

$$FLA = \frac{kVA}{\sqrt{3} \times l-L(\text{sekunder})kV} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

I_{sc} = Arus hubung singkat (A)



Z = Impedansi pada nameplate trafo

FLA = Full load ampere (A)

$L-L_{\text{sekunder}}$ = Tegangan disisi sekunder trafo (A)

kVA = Daya nominal trafo (kVA)

2.4.2 Impedansi Trafo

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahanannya diabaikan karena harganya kecil. Untuk mencari nilai reaktansi trafo dalam Ohm dihitung dengan cara sebagai berikut. Langkah pertama mencari nilai ohm pada 100% untuk trafo pada 20 kV, yaitu dengan menggunakan rumus :

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

X_t = Impedansi trafo (ohn)

kV^2 = Tegangan sisi sekunder (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo (MVA)

Lalu tahap selanjutnya yaitu mencari nilai reaktansi tenaganya :

- Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$X_t = \% \text{ yang diketahui} \times X_t(\text{pada 100\%})$$

- Sebelum menghitung reaktansi urutan nol (X_{t0}) terlebih dahulu harus diketahui data trafo itu sendiri yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo :

- Untuk trafo dengan hubungan belitan ΔY dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$



- Untuk trafo dengan hubungan belitan Yd dimana kapasitas belitan delta (d) biasanya adalah 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 $X_{t0} = 3 \times X_{t1}$.
- Untuk trafo dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung besarnya X_{t0} berkisar antara 9 s/d 14 x X_{t1}(2.6)

2.4.3 Impedansi Penyulang

Untuk perhitungan impedansi penyulang, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya tergantung pada jenis penghantarnya, yaitu dari bahan apa penghantar tersebut dibuat dan juga tergantung dari besar kecilnya penampang dan panjang penghantarnya. Disamping itu penghantar juga dipengaruhi perubahan temperatur dan konfigurasi dari penyulang juga sangat mempengaruhi besarnya impedansi penyulang tersebut. Contoh besarnya nilai impedansi suatu penyulang :

$$Z = (R + jX).$$

Sehingga untuk impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

- Urutan positif dan urutan negatif

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang} \times L \times X_{t1} / X_{t2} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

X_{t1} = Impedansi urutan positif (ohm)

X_{t2} = Impedansi urutan negatif (ohm)



L = Panjang penyulang (km)

- Urutan nol

$$Z_0 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times X_{t0} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

X_{t0} = Impedansi urutan nol (ohm)

2.4.4 Impedansi Ekivalen Jaringan

Perhitungan yang akan dilakukan di sini adalah perhitungan besarnya nilai impedansi ekivalen positif, negatif dan nol dari titik gangguan sampai ke sumber. Karena dari sejak sumber ke titik gangguan impedansi yang terbentuk adalah tersambung seri maka perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan Z_{0eq} dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan. Akan tetapi untuk menghitung impedansi Z_{0eq} ini, harus diketahui dulu hubungan belitan trafonya.

Sehingga untuk impedansi ekivalen jaringan dapat dihitung dengan menggunakan rumus

- Urutan positif dan urutan negatif ($Z_{1eq} = Z_{2eq}$)

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1 \text{ penyulang} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

Z_{1eq} = Impedansi ekivalen jaringan urutan positif (ohm)

Z_{2eq} = Impedansi ekivalen jaringan urutan negatif (ohm)

Z_{s1} = Impedansi sumber sisi 20 kV (ohm)

Z_{t1} = Impedansi trafo urutan positif dan negatif (ohm)

Z_1 = Impedansi urutan positif dan negatif (ohm)



➤ Urutan nol

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3R_N + Z_0 \text{ penyulang} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

Z_{0eq} = Impedansi ekivalen jaringan nol (ohm)

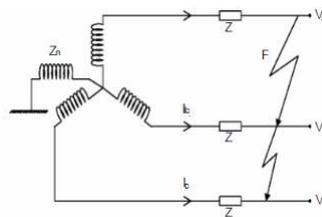
Z_{t0} = Impedansi trafo urutan nol (ohm)

R_N = Tahanan tanah trafo (ohm)

Z_0 = Impedansi urutan nol (ohm)

2.5 Perhitungan Arus Hubung Singkat

2.5.1 Arus Hubung Singkat Tiga Fasa



Gambar 2.8 Hubung Singkat Tiga Fasa

Gangguan hubung singkat 3 fasa menggunakan impedansi urutan positif teganganya yaitu V_{fasa} . Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 fasa yaitu dengan menggunakan rumus:

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{V_{ph}}{z_{1eq}} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

$I_{3\text{fasa}}$ = Arus gangguan hubung singkat 3 fasa

V = Tegangan fasa netral (V)



Z_{1eq} = Impedansi Positif (ohm)

Dimana :

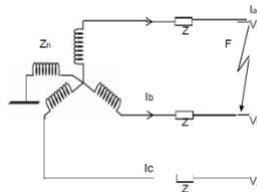
$$Z_1 = Z_2 = Z_{total}$$

Z_1 = Impedansi urutan positif

Z_2 = Impedansi urutan negatif

Z_{total} = Impedansi total

2.5.2 Arus Hubung Singkat Dua Fasa



Gambar 2.9 Hubung Singkat Dua Fasa

Gangguan hubung singkat dua fasa menggunakan impedansi penjumlahan antara jumlah impedansi urutan positif (Z_{1eq}) ditambah urutan negatif (Z_{2eq}), dengan ekivalen $Z_1 + Z_2$ perhitungan arus gangguan hubung singkat dua fasa menggunakan rumus :

$$I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq}} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

I_{2fasa} = Arus gangguan hubung singkat dua fasa

V_{ph-ph} = Tegangan Transformator fasa – fasa (V)

Z_1 = Impedansi Positif

Z_2 = Impedansi Negatif



Dimana :

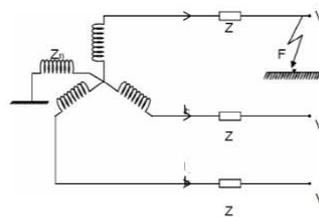
$$Z_1 = Z_2 = Z_{total}$$

Z_1 = Impedansi urutan positif

Z_2 = Impedansi urutan negatif

Z_{total} = Impedansi total

2.5.3 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah



Gambar 2.10 Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah menggunakan impedansi yang merupakan penjumlahan antara impedansi urutan positif ditambah urutan negatif dan ditambah impedansi urutan nol yaitu $Z_1 + Z_2 + Z_0$. Perhitungan arus gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah dapat di hitung menggunakan rumus :

$$I_{0\text{fasa}} = \frac{3 \cdot v_{ph}}{z_1 + z_2 + z_0} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dimana :

$I_{0\text{fasa}}$ = Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

V = Tegangan fasa netral (V)

Z_1 = Impedansi Positif

Z_2 = Impedansi Negatif



Dimana :

$$Z_1=Z_2=Z_0 =Z_{total}$$

Z_1 = Impedansi urutan positif

Z_2 = Impedansi urutan negatif

Z_0 = Impedansi urutan nol

Z_{total} = Impedansi total

2.6 Prinsip Dasar Perhitungan Setting Arus Dan Waktu

- Arus setting OCR

Penyetelan relay OCR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus setting untuk relay OCR baik pada sisi primer maupun pada sisi sekunder transformator tenaga adalah:

$$I_{set}(\text{primer}) = 1,05 \times I_{nominal} \text{ trafo} \dots \dots \dots (2.14)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder maka harus dihitung dengan menggunakan ratio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga.

$$I_{set}(\text{sekunder}) = I_{set}(\text{primer}) \times \frac{1}{\text{Rasio CT}} \dots \dots \dots (2.15)$$

Prinsip-prinsip dasar yang digunakan dalam perhitungan setting waktu. Sedangkan waktu pemutusan dapat di hitung melalui :



$$T_{ms} = \frac{t \times \left[\frac{I_{fault}}{I_{set}} \right]^{0,02-1}}{0,14} \dots\dots\dots(2.16)$$

T_{ms} = Setting waktu rele (s)

t = waktu kerja rele (s)

I_{set} = Arus setting primer (A)

I_{fault} = Arus gangguan hubung singkat (A)