



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Proteksi Distribusi Tenaga Listrik

2.1. 1. Pengertian Sistem Proteksi

Secara umum rele proteksi harus bekerja sesuai dengan yang diharapkan dengan waktu yang cepat sehingga tidak akan mengakibatkan kerusakan, atau jika peralatan terjadi kerusakan secara dini telah diketahui, atau walaupun terjadi gangguan yang tidak menimbulkan pemadaman bagi konsumen.

Rele proteksi adalah seperangkat peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan adanya ketidaknormalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan secara otomatis segera memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu. Rele proteksi merasakan adanya gangguan dengan mengukur atau membandingkan besaran – besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, impedansi, daya, sudut fase, frekuensi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan, kemudian mengambil keputusan untuk seketika atau dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Pemutus tenaga umumnya dipasang pada generator, transformator daya, saluran transmisi, dan saluran distribusi

Sistem proteksi penyulang tegangan menengah ialah pengamanan yang terdapat pada sel-sel tegangan menengah di Gardu Induk dan pengamanan yang terdapat pada jaringan tegangan menengah. Penyulang tegangan menengah ialah penyulang tenaga listrik yang berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik tegangan menengah (6 kV – 20 kV), yang terdiri dari :

- a) Saluran udara tegangan menengah (SUTM)
- b) Saluran kabel tegangan menengah (SKTM)



2. 1. 2. Tujuan Sistem Proteksi

Gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik hampir seluruhnya merupakan gangguan hubung singkat, yang akan menimbulkan arus yang cukup besar. Semakin besar sistemnya semakin besar gangguannya. Arus yang besar bila tidak segera dihilangkan 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. Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain :

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

2. 1. 3. Fungsi Proteksi Rele

Adapun fungsi dari rele proteksi pada sistem tenaga listrik yaitu :

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal.
- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencecah meluasnya gangguan.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia.

2. 1. 4. Syarat 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 (sensitivity)

Pada prinsipnya relay harus cukup peka sehingga dapat mendeteksi gangguan di kawasan pengamanannya, termasuk kawasan pengamanan 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 arus gangguan hubung singkat dua fasa yang terjadi diujung akhir seksi berikutnya dalam kondisi pembangkitan minimum.

Sebagai pengaman peralatan seperti motor, generator atau trafo, relay yang peka dapat mendeteksi gangguan pada tingkatan yang masih dini sehingga dapat membatasi kerusakan. Bagi peralatan seperti tsb diatas 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 terdeteksi. Akibatnya, busur apinya berlangsung lama dan dapat menyambar ke fasa lain, maka relay hubung-singkat yang akan bekerja. 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 risikonya dapat diabaikan atau dapat diterima

B . Keandalan (Reliability)

Ada 3 aspek :

1) Dependability

Tingkat kepastian bekerjanya (Keandalan kemampuan bekerjanya). Pada prinsipnya pengaman harus dapat diandalkan bekerjanya (dapat mendeteksi dan melepaskan bagian yang terganggu),



tidak boleh gagal bekerja. Dengan kata lain perkataan dependability-nya harus tinggi.

2) Security

Tingkat kepastian untuk tidak salah kerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus kerja, misalnya karena lokasi gangguan di luar kawasan 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 kerja, dengan lain perkataan security-nya harus tinggi.

3) Availability

Perbandingan antara waktu di mana pengaman dalam keadaan berfungsi/siap kerja dan waktu total dalam operasinya. Dengan relay elektromekanis, jika rusak/tak berfungsi, tak diketahui segera. Baru diketahui dan diperbaiki atau diganti. Disamping itu, sistem proteksi yang baik juga dilengkapi dengan kemampuan mendeteksi terputusnya sirkit trip, sirkit sekunder arus, dan sirkit sekunder tegangan serta hilangnya tegangan serta hilangnya tegangan searah (DC voltage), dan memberikan alarm sehingga bisa diperbaiki, sebelum kegagalan proteksi dalam gangguan yang sesungguhnya, benar-benar terjadi. Jadi availability dan keandalannya tinggi.

C . Selektifitas (Selectivity)

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 relay harus dapat membedakan apakah:

- 1) Gangguan terletak di kawasan pengamanan utamanya dimana ia harus bekerja cepat



- 2) Gangguan terletak di seksi berikutnya dimana ia harus bekerja dengan waktu tunda (sebagai pengaman cadangan) atau menahan diri untuk tidak trip
- 3) Gangguannya diluar daerah pengamanannya, atau sama sekali tidak ada gangguan, dimana ia tidak harus bekerja sama sekali.

Untuk itu relay-relay, yang didalam sistem terletak secara seri, di koordinir dengan mengatur peningkatan waktu (time grading) atau peningkatan setting arus (current grading), atau gabungan dari keduanya.

Untuk itulah rele dibuat dengan bermacam-macam jenis dan karakteristiknya. Dengan pemilihan jenis dan karakteristik rele 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, generator, dan busbar pada sistem tegangan ekstra tinggi (TET) dibuat berdasarkan prinsip kerja yang mempunyai kawasan pengaman yang batasnya sangat jelas dan pasti, dan tidak sensitif terhadap gangguan diluar kawasannya, sehingga sangat selektif, tapi tidak bisa memberikan pengaman cadangan bagi seksi berikutnya. Contohnya pengaman differensial.

D. Kecepatan (speed)

Untuk memperkecil kerugian/kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian system lainnya. Waktu total pembebasan sistem dari gangguan adalah waktu sejak gangguan, sampai bagian yang terganggu benar-benar terpisah dari bagian sistem lainnya.

Kecepatan itu penting untuk:

- 1) Menghindari kerusakan secara thermis pada peralatan yang dilalui arus gangguan serta membatasi kerusakan pada alat yang terganggu
- 2) Mempertahankan kestabilan sistem



- 3) Membatasi ionisasi (busur api) pada gangguan disaluran udara yang akan berarti memperbesar kemungkinan berhasilnya penutupan balik PMT (reclosing) dan mempersingkat dead timenya (interval waktu antara buka dan tutup).

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

2.2. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubungan singkat yang mungkin terjadi dalam jaringan (Sistem kelistrikan) yaitu :

1. Gangguan hubungan singkat tiga fasa
2. Gangguan hubungan singkat dua fasa
3. Gangguan hubungan singkat satu fasa ke tanah

Semua gangguan hubungan singkat diatas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan rumus dasar yaitu :

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

Dimana :

I = Arus yang mengalir pada hambatan Z (A)

v = Tegangan sumber (V)

Z = Impedansi jaringan, nilai ekivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (ohm)

Yang membedakan antara gangguan hubungan singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri, dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan. Impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut ini :



$$\begin{aligned}
 Z \text{ untuk gangguan tiga fasa,} & \quad Z = Z1 \\
 Z \text{ untuk gangguan dua fasa,} & \quad Z = Z1 + Z2 \\
 Z \text{ untuk gangguan satu fasa,} & \quad Z = Z1 + Z2 + Z0 \dots\dots\dots (2.2)
 \end{aligned}$$

Dimana:

$Z1$ = Impedansi urutan positif (ohm)

$Z2$ = Impedansi urutan negatif (ohm)

$Z0$ = Impedansi urutan nol. (ohm)

2.2.1 Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat

Perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah analisa suatu sistem tenaga listrik pada saat dalam keadaan gangguan hubung singkat, dimana nantinya akan diperoleh besar nilai besaran – besaran listrik yang dihasilkan sebagai akibat gangguan hubung singkat tersebut. Gangguan hubung singkat dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi (basic insulation strength) antara sesama kawat fasa, atau antara kawat fasa dengan tanah, yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan atau biasa juga disebut gangguan arus lebih.

Perhitungan arus gangguan hubung singkat sangat penting untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik pada waktu perencanaan maupun setelah beroperasi nantinya. Perhitungan arus hubung singkat dibutuhkan untuk :

- 1) Setting dan koordinasi peralatan proteksi
- 2) Menentukan kapasitas alat pemutus daya
- 3) Menentukan rating hubung singkat peralatan – peralatan yang digunakan
- 4) Menganalisa sistem jika ada hal – hal yang tidak baik yang terjadi pada waktu sistem sedang beroperasi

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat pada sistem seperti diatas dilakukan dengan beberapa tahap perhitungan, yaitu sebagai berikut :

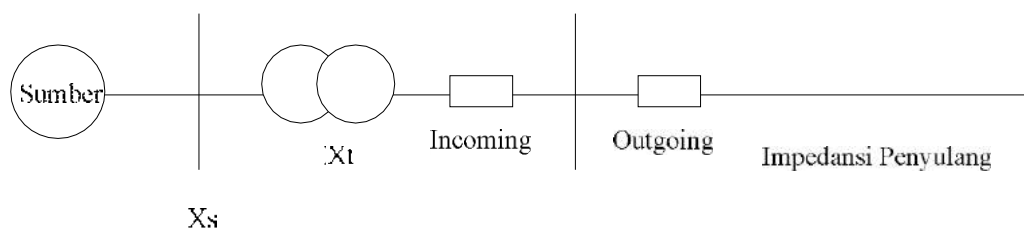


2.3. Menghitung Impedansi

Dalam menghitung impedansi dikenal tiga macam impedansi urutan yaitu:

- 1) Impedansi urutan positif (Z_1), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif.
- 2) Impedansi urutan negatif (Z_2), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif.
- 3) Impedansi urutan nol (Z_0), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh urutan nol

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka kita harus memulai perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik – titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu induk tersebut. Untuk itu diperlukan pengetahuan mengenai dasar impedansi urutan rel daya tegangan tinggi atau bisa juga disebut sebagai impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang



Gambar 2.1 Sketsa penyulang tegangan menengah

Dimana :

X_s = Impedansi sumber (ohm)

X_t = Impedansi Transformator (ohm)



2.3.1. Impedansi sumber

Untuk menghitung impedansi sumber di sisi bus 20 kV, maka harus dihitung dulu impedansi sumber di bus 150 kV. Impedansi sumber di bus 150 kV diperoleh dengan rumus :

$$X_S = \frac{KV^2}{MVA} \dots\dots\dots (2.3)$$

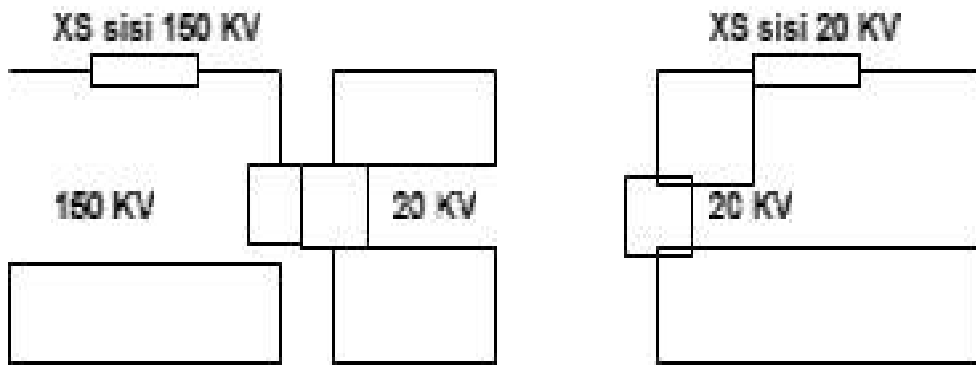
Dimana :

Xs = Impedansi sumber (ohm)

kV2 = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA = Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

Arus gangguan hubung singkat di sisi 20 kV diperoleh dengan cara mengkonversikan dulu impedansi sumber di bus 150 kV ke sisi 20 kV. Untuk mengkonversikan Impedansi yang terletak di sisi 150 kV ke sisi 20 kV, dapat dihitung dengan menggunakan rumus :



Gambar 2.2 konversi Xs dari 150 kV ke 20 Kv

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



2.3.2 Impedansi transformator

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 tenaga (ohm)

kv^2 = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Lalu tahap selanjutnya yaitu mencari nilai reaktansi tenaganya :

- 1) Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ($X_{t1} = X_{t2}$) dihitung dengan menggunakan rumus :
 - a. $x_t = \% \text{ yang diketahui} \times x_t(\text{pada } 100\%)$
- 2) Sebelum menghitung reaktansi urutan nol (X_{t0}) terlebih dahulu harus diketahui data trafo tenaga itu sendiri yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo :
 - a) Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan $\square Y$ dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka $X_{t0} = X_{t1}$
 - b) Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan Y_{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 $X_{t0} = 3 \times X_{t1}$
 - c) Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung besarnya X_{t0} berkisar antara $9 \text{ s/d } 14 \times X_t$.



2.3.2 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 :

- a) Urutan positif dan urutan negative

$$Z1 = Z2 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z1 / Z2 \text{ (ohm)} \dots (2.6)$$

Dimana :

$$Z1 = \text{Impedansi urutan positif (ohm)}$$

$$Z2 = \text{Impedansi urutan negatif (ohm)}$$

- b) Urutan nol

$$Z0 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z0 \text{ (ohm)} \dots (2.7)$$

Dimana :

$$Z0 = \text{Impedansi urutan nol (ohm)}$$

2.3.3 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 $Z1_{eq}$ dan $Z2_{eq}$ dapat langsung dengan cara menjumlahkan impedansi tersebut, sedangkan untuk perhitungan $Z0_{eq}$ dimulai dari titik gangguan sampai ke trafo tenaga yang netralnya ditanahkan. Akan tetapi untuk menghitung impedansi $Z0_{eq}$ ini, harus diketahui dulu hubungan belitan trafonya.



Sehingga untuk impedansi ekivalen jaringan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

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

$$Z_{1eq} = Z_{2eq} = Z_{s1} + Z_{t1} + Z_1 \dots\dots\dots(2.8)$$

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 tenaga urutan positif dan negatif (ohm)

Z_1 = Impedansi urutan positif dan negatif (ohm)

- b) Urutan nol

$$Z_{0eq} = Z_{t0} + 3R_N + Z_0 \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

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

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

R_N = Tahanan tanah trafo tenaga (ohm)

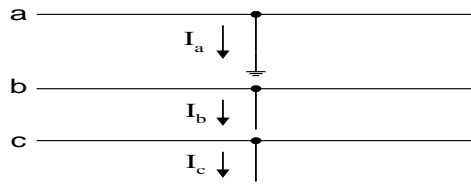
Z_0 = Impedansi urutan nol (ohm)

2. 4. Gangguan Hubung Singkat

Untuk gangguan-gangguan tidak simetris pada sistem tenaga adalah sama dengan gangguan-gangguan pada generator, hanya tegangan generator E_a diganti menjadi tegangan V_f (tegangan sebelum gangguan) dan impedansi masing-masing urutan adalah impedansi total dari tiap urutannya. Besar impedansi urutan positif selalu sama dengan impedansi urutan negatif.

2. 4. 1. Gangguan Satu Fasa ke Tanah.

Untuk suatu gangguan satu fasa ke tanah, batang-batang hipotetis pada ketiga saluran dihubungkan seperti terlihat dalam gambar 2.3.



Gambar. 2.3. Diagram sambungan batang-batang hipotetis untuk gangguan satu fasa ke tanah.

Kondisi awal pada gangguan ini :

$$I_b = 0 , I_c = 0 , V_a = 0$$

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} \dots\dots\dots(2.10)$$

dan

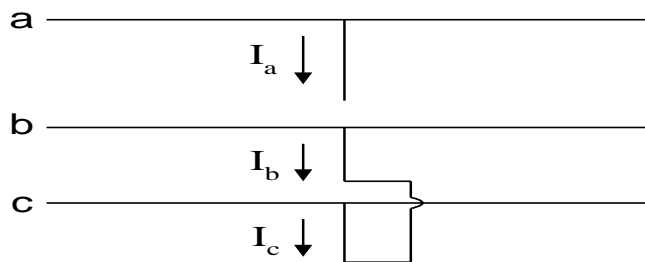
$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (2.11)$$

Besar arus gangguan adalah :

$$I_f = I_a = \frac{3V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (2.12)$$

2. 4. 2. Gangguan Dua Fasa.

Untuk suatu gangguan dua fasa (phasa b dan c), batang-batang hipotetis pada ketiga saluran pada gangguan tersambung seperti ditunjukkan dalam gambar



Gambar 2.4. Diagram sambungan batang-batang hipotetis untuk suatu gangguan dua fasa (antar saluran)



Kondisi awal pada gangguan tersebut :

$$V_b = V_c , I_a = 0 , I_b = - I_c$$

$$V_{a1} = V_{a2} \dots\dots\dots (2.13)$$

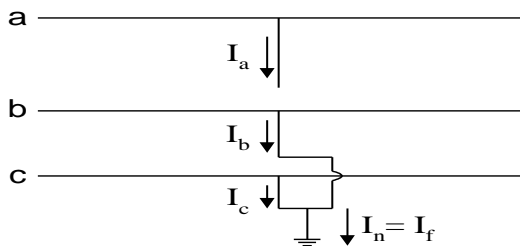
$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (2.14)$$

Besar arus gangguan adalah :

$$I_f = -j\sqrt{3} I_{a1} \dots\dots\dots (2.15)$$

2. 4. 3. Gangguan Dua Fasa ke Tanah.

Untuk suatu gangguan dua fasa ke tanah, batang-batang disambungkan seperti ditunjukkan dalam gambar 2.5.



Gambar 2.5. Diagram sambungan batang-batang hipotetis untuk suatu gangguan dua fasa ke tanah

Kondisi awal pada gangguan ini adalah :

$$V_b = V_c = 0 , I_a = 0$$

$$V_{a1} = V_{a2} = V_{a0} \dots\dots\dots (2.16)$$

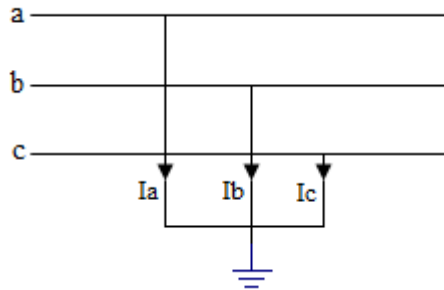
$$I_{a1} = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2 Z_0 / (Z_2 + Z_0)} \dots\dots\dots (2.17)$$

Besar arus gangguan adalah :

$$I_f = I_b + I_c = (a^2 I_{a1} + a I_{a2} + I_{a0}) + (a I_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0}) \dots\dots\dots (2.18)$$



2. 4. 4. Gangguan Tiga Fasa ke Tanah.



Gambar 2.6. Diagram sambungan batang-batang hipotetis untuk suatu gangguan tiga fasa ke tanah

Pada hubung singkat 3 fasa, gangguan termasuk gangguan simetris sehingga tidak perlu menggunakan komponen simetris. Persamaan hubung singkat diperoleh sebagai berikut.

Besar arus gangguan adalah :

$$I_{a1} = I_a = I_f = \frac{V_f}{Z_1} \dots\dots\dots(2.19)$$

2. 5. Jenis – Jenis Rele Proteksi

2. 5. 1. Rele Arus Lebih (OCR)

Rele arus lebih atau yang lebih dikenal dengan OCR (Over Current Relay) merupakan peralatan yang mensinyalir adanya arus lebih, baik yang disebabkan oleh adanya gangguan hubung singkat atau overload yang dapat merusak peralatan sistem tenaga yang berada dalam wilayah proteksinya. Rele arus lebih ini digunakan hampir pada seluruh pola pengamanan sistem tenaga listrik, lebih lanjut rele ini dapat digunakan sebagai pengaman utama ataupun pengamancadangan. Pada transformator tenaga, OCR hanya berfungsi sebagai pengaman cadangan (back up protection) untuk gangguan eksternal atau sebagai back up bagi outgoing feeder. OCR dapat dipasang pada sisi tegangan tinggi saja, atau pada sisi tegangan menengah saja, atau pada sisi tegangan



tinggi dan tegangan menengah sekaligus. Selanjutnya OCR dapat menjatuhkan PMT pada sisi dimana rele terpasang atau dapat menjatuhkan PMT di kedua sisi transformator tenaga. OCR jenis definite time ataupun inverse time dapat dipakai untuk proteksi transformator terhadap arus lebih.

Sebagai pengaman Transformator tenaga dan SUTT bertujuan untuk :

- a) Mencegah kerusakan Transformator tenaga atau SUTT dari gangguan hubung singkat.
- b) Membatasi luas daerah terganggu (pemadaman) sekecil mungkin.
- c) Hanya bekerja bila pengaman utama Transformator tenaga atau SUTT tidak bekerja.

Relai Arus Lebih (*Over Current Relay*) bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman yang telah ditentukan dan dalam jangka waktu yang telah ditetapkan. Relai arus lebih akan pick up jika besar arus melebihi nilai setting. Pada proteksi transformator daya, relai arus lebih digunakan sebagai tambahan bagi relai differensial untuk memberikan tanggapan terhadap gangguan luar. Relai ini digunakan untuk mengamankan peralatan terhadap gangguan hubung singkat antar fasa, hubung singkat satu fasa ke tanah dan beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih.

Hubungan antara Arus terhadap waktu untuk beberapa karakteristik di atas ditunjukkan oleh persamaan berikut :

$$t = \frac{t \times \left(\frac{Ihs}{Iset}\right)^\alpha - 1}{\beta} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana :

- K : Karakteristik Inverse
 t : Waktu dalam detik
 I : Arus gangguan
 Is : Arus seting



TMS : Time Multiplier Setting

K dan α untuk setiap karakteristik besarnya.

seperti pada tabel di bawah ini:

Karakteristik	K	α
Standard Inverse	0.14	0.02
Very Inverse	13.5	1.00
Extremely Inverse	80.0	2.00
Long Time Inverse	120.0	1.00

Tabel 2.1.Karakteristik waktu-arus lebih

Perhitungan Kinerja OCR

Arus setting OCR adalah sebagai berikut :

$$I_{set\ OCR} = I_{set} \times I_n \dots\dots\dots(2.21)$$

$$I_n = \text{Arus nominal}$$

Perhitungan waktu kerja OCR dengan cara :

$$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{hs}}{I_{set}}\right)^{\alpha-1}} \times TMS \dots\dots\dots(2.22)$$

Dimana :

I_{hs} : Arus gangguan yang mengalir pada transformator (A)

I_{set} : Arus setting OCR (A)

TMS : Time Multiplier Setting

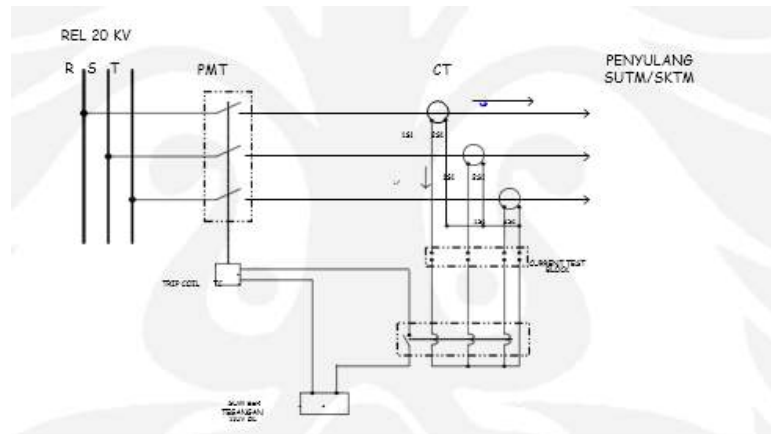
α : 0,02

2.5.1.1 Prinsip Kerja OCR

Prinsip kerja relay OCR adalah berdasarkan adanya arus lebih yang dirasakan relay, baik disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau



overload (beban lebih) untuk kemudian memberikan perintah trip ke PMT sesuai dengan karakteristik waktunya.



Gambar 2.7. Rangkaian pengawatan relay arus lebih (OCR)

Cara kerjanya dapat diuraikan sebagai berikut:

- a) Pada kondisi normal arus beban (I_b) mengalir pada SUTM / SKTM dan oleh trafo arus besaran arus ini di transformasikan ke besaran sekunder (I_r). Arus (I_r) mengalir pada kumparan relai tetapi karena arus ini masih lebih kecil dari pada suatu harga yang ditetapkan (setting), maka relai tidak bekerja
- b) Bila terjadi gangguan hubung singkat, arus (I_b) akan naik dan menyebabkan arus (I_r) naik pula, apabila arus (I_r) naik melebihi suatu harga yang telah ditetapkan (diatas setting), maka relai akan bekerja dan memberikan perintah trip pada tripping coil untuk bekerja dan membuka PMT, sehingga SUTM / SKTM yang terganggu dipisahkan dari jaringan

2.5.1.2 Setting OCR

- a) 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 :

$$I_{set (prim)} = 1,05 \times I_{nominal \ trafo} \dots \dots \dots (2.23)$$

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

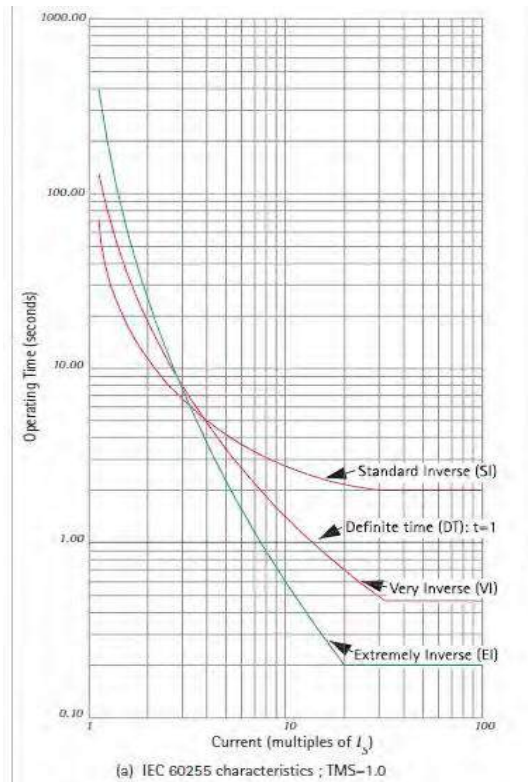
$$I_{set (sek)} = I_{set(prim)} \times \frac{1}{Ratio \ CT} \dots \dots \dots (2.24)$$

b) Setting waktu (TMS)

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu (TMS). Rumus untuk menentukan nilai setelan waktu bermacam-macam sesuai dengan desain pabrik pembuat relay. Dalam hal ini diambil rumus TMS dengan relay merk MC 30.

Tabel 2.2. Karakteristik operasi waktu jenis relay inverse time
(Catalogue)Overcurrent Relay Type MC30)

Standar Inverse	$TMS = \frac{0.14 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$
very Inverse	$TMS = \frac{13.5 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$
Extremely Inverse	$TMS = \frac{80 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$
Long time earth fault	$TMS = \frac{120 \times t}{\left(\frac{I_f}{I_s}\right) - 1}$



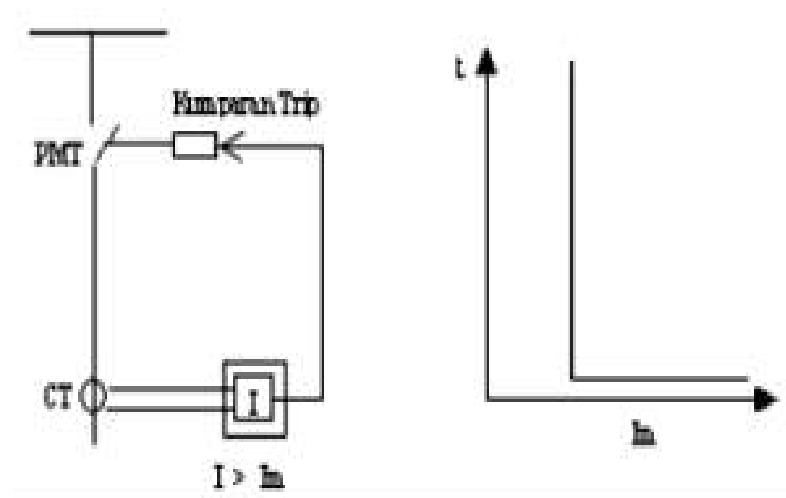
Gambar 2.8. Karakteristik Relai Arus Lebih

Untuk menentukan nilai TMS yang akan disetkan pada relay OCR sisi incoming transformator tenaga yaitu arus hubung singkat (I_f) 2 fasa di Bus 20 kV, sedangkan untuk sisi 150 kV transformator tenaga diambil arus hubung singkat (I_f) 2 fasa di sisi 150 kV.

2.6. Jenis Relay Berdasarkan Karakteristik Waktu

a. Rele arus lebih sesaat (Instantaneous Relay)

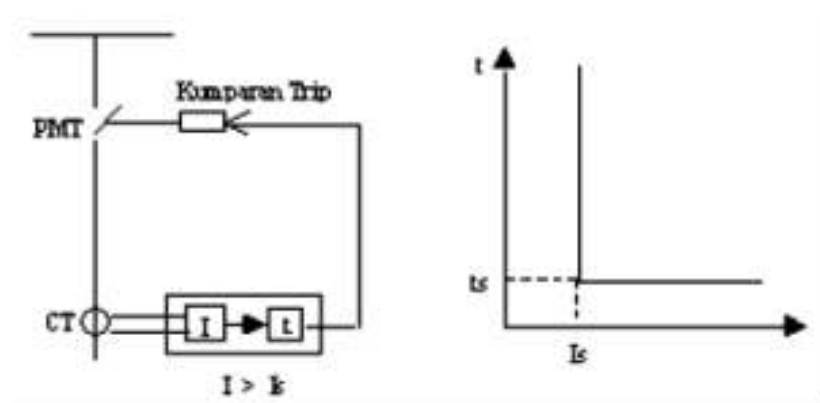
Rele yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, relay akan bekerja dalam waktu beberapa milidetik (10 – 20 ms). Dapat kita lihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.9. Karakteristik Rele Waktu Seketika (Instantaneous Relay).

b. Rele arus lebih waktu tertentu (definite time relay)

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



Gambar 2.10. Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Tertentu (Definite Time Relay).

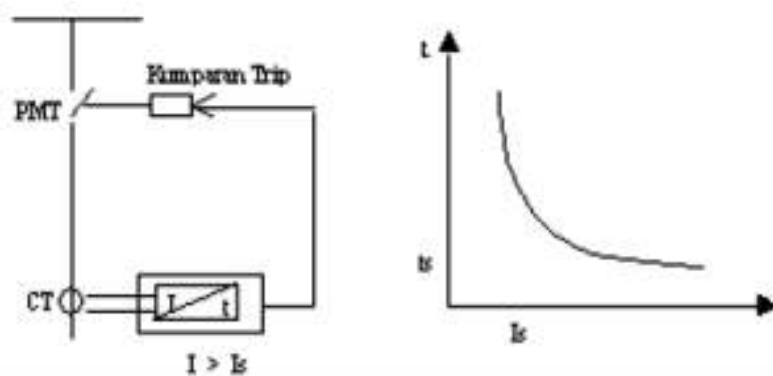
c. Rele arus lebih waktu terbalik (Invers Time Relay)

Rele 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) Extremely inverse



Gambar 2.11. Karakteristik Relay Arus Lebih Waktu Terbalik (Inverse Relay).

Pada relay arus lebih memiliki 2 jenis pengamanan yang berbeda antara lain:

- a) Pengamanan hubung singkat fasa.

Rele mendeteksi arus fasa. Oleh karena itu, disebut pula “Rele fasa”. Karena pada rele tersebut dialiri oleh arus fasa, maka settingnya (I_s) harus lebih besar dari arus beban maksimum. Ditetapkan $I_s = 1,2 \times I_n$ (I_n = arus nominal peralatan terlemah).

- b) Pengamanan hubung tanah.

Arus gangguan satu fasa tanah ada kemungkinan lebih kecil dari arus beban, ini disebabkan karena salah satu atau dari kedua hal berikut: Gangguan tanah ini melalui tahanan gangguan yang masih cukup tinggi. Pentanahan netral sistemnya melalui impedansi/tahanan yang tinggi, atau bahkan tidak ditanahkan. Dalam hal demikian, relay pengamanan hubung singkat (relay fasa) tidak dapat mendeteksi gangguan tanah tersebut. Supaya relay sensitive terhadap gangguan tersebut dan tidak salah kerja oleh arus beban, maka relay dipasang tidak pada kawat fasa melainkan kawat netral pada sekunder trafo arusnya. Dengan demikian relay ini dialiri oleh arus



netralnya, berdasarkan komponen simetrisnya arus netral adalah jumlah dari arus ketiga fasanya. Arus urutan nol dirangkaian primernya baru dapat mengalir jika terdapat jalan kembali melalui tanah (melalui kawat netral)

2..7. Rele Hubung Tanah (GFR)

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 fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah.

Pada 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.

2.7.1.Setting GFR

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:

$$I_{set}(\text{prim}) = 0,2 \times I_{\text{nominal trafo}}$$

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

$$I_{set}(\text{sek}) = I_{set}(\text{prim}) \times \frac{1}{\text{rasio CT}} \dots \dots \dots (2.25)$$

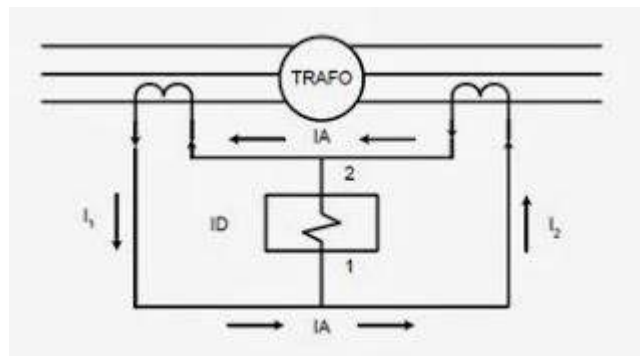


2. 8. Rele Diferensial

Rele differensial merupakan suatu rele yang prinsip kerjanya berdasarkan keseimbangan (*balance*), yang membandingkan arus-arus sekunder transformator arus (CT) terpasang pada terminal-terminal peralatan atau instalasi listrik yang diamankan. Penggunaan rele differensial sebagai rele pengaman, antara lain pada generator, transformator daya, bus bar, dan saluran transmisi. Rele differensial digunakan sebagai pengaman utama (*main protection*) pada transformator daya yang berguna untuk mengamankan belitan transformator bila terjadi suatu gangguan. Rele ini sangat selektif dan sistem kerjanya sangat cepat.

a. Prinsip Kerja Relai Differensial

Sebagaimana disebutkan diatas, Rele differensial adalah suatu alat proteksi yang sangat cepat bekerjanya dan sangat selektif berdasarkan keseimbangan (*balance*) yaitu perbandingan arus yang mengalir pada kedua sisi trafo daya melalui suatu perantara yaitu trafo arus (CT). Dalam kondisi normal, arus mengalir melalui peralatan listrik yang diamankan (generator, transformator dan lain-lainnya). Arus-arus sekunder transformator arus, yaitu I_1 dan I_2 bersikulasi melalui jalur IA. Jika relay pengaman dipasang antara terminal 1 dan 2, maka dalam kondisi normal tidak akan ada arus yang mengalir melaluinya. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

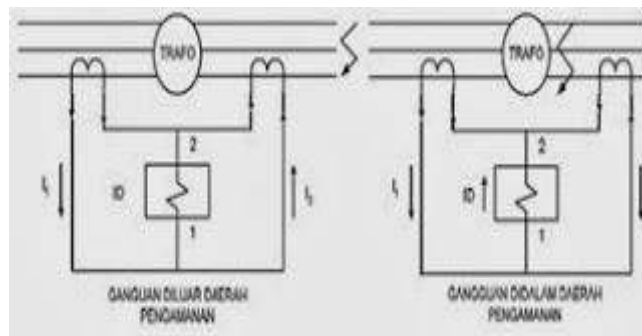


Gambar 2.12. Pengawatan Dasar Relay Differensial

Jika terjadi gangguan diluar peralatan listrik peralatan listrik yang diamankan (*external fault*), maka arus yang mengalir akan bertambah besar, akan



tetapi sirkulasinya akan tetap sama dengan pada kondisi normal, sehingga relay pengaman tidak akan bekerja untuk gangguan luar tersebut. Jika gangguan terjadi didalam (*internal fault*), maka arah sirkulasi arus disalah satu sisi akan terbalik, menyebabkan keseimbangan pada kondisi normal terganggu, akibatnya arus ID akan mengalir melalui relay pengaman dari terminal 1 menuju ke terminal 2. Selama arus-arus sekunder transformator arus sama besar, maka tidak akan ada arus yang mengalir melalui kumparan kerja (*operating coil*) relay pengaman, tetapi setiap gangguan (antar fasa atau ke tanah) yang mengakibatkan sistem keseimbangan terganggu, akan menyebabkan arus mengalir melalui *Operating Coil* relay pengaman, maka relai pengaman akan bekerja dan memberikan perintah putus (*tripping*) kepada *circuit breaker* (CB) sehingga peralatan atau instalasi listrik yang terganggu dapat diisolir dari sistem tenaga listrik. Seperti gambar dibawah ini :



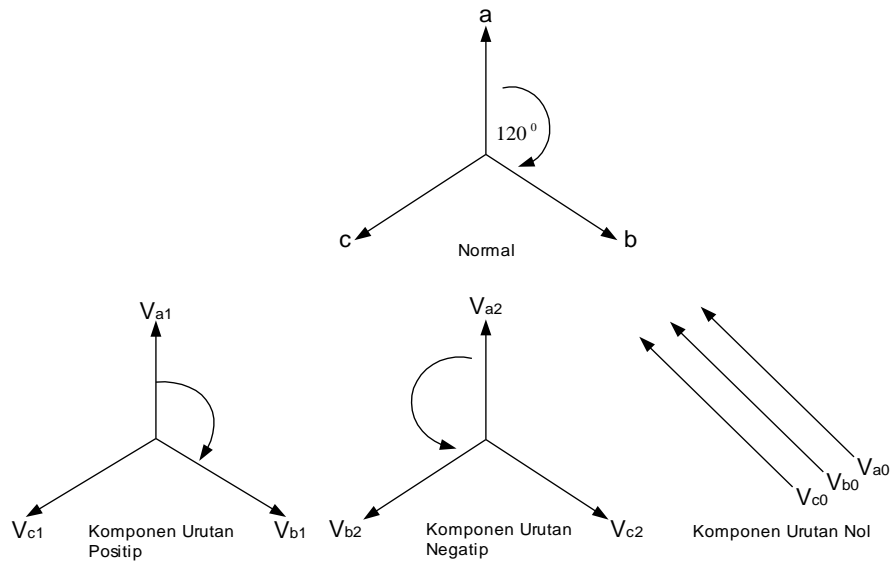
Gambar 2.13. Sistem Pengaman Rele Differensial

2.9. Komponen – Komponen Simetris

2.9.1. Pengertian Dasar

Dikenal pada tahun 1918 oleh C.L. Fortescue, menurutnya tiga fasor yang tidak simetris dari suatu sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga komponen simetris, yaitu :

1. Komponen Urutan Positif (Positive Sequence Components),
2. Komponen Urutan Negatif (Negative Sequence Components), dan
3. Komponen Urutan Nol (Zero Sequence Components)



Gambar 2.14. Tiga himpunan phasor seimbang yang merupakan komponen-komponen simetris dari 3 phasor yang tidak simetris.

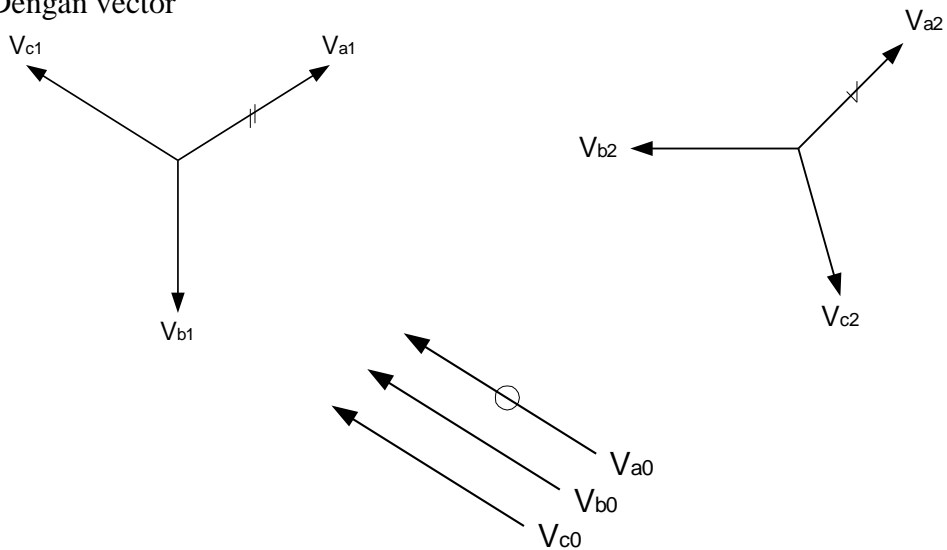
$$V_a = V_{a(+)} + V_{a(-)} + V_{a(0)}$$

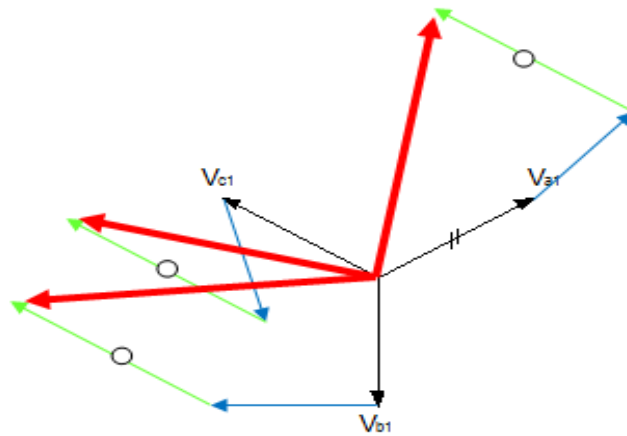
$$= V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0}$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0}$$

Dengan vector





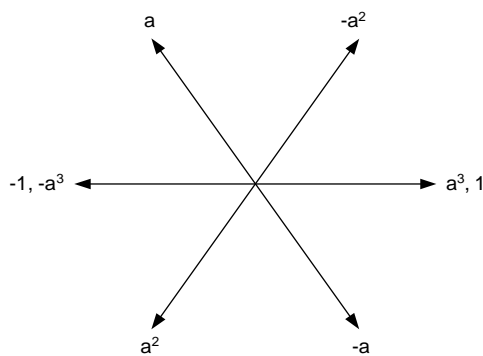
Gambar 2.15. Penjumlahan secara grafis komponen-komponen simetris.

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_b = V_{b1} + V_{b2} + V_{b0} \dots\dots\dots(2.26)$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} + V_{c0}$$

Rumus dasar dari teori komponen-komponen simetris. Jika dalam bilangan kompleks kita menggunakan notasi “j” (operator j) maka dalam komponen-komponen simetris kita menggunakan operator “a”, dimana $a = 1 \angle 120^\circ$. Diagram phasor bermacam-macam pangkat dari operator a :



Gambar 2.16. Diagram phasor bermacam-macam pangkat dari operator a.



2. 9. 2. Hubungan antara komponen-komponen simetris.

$$\left. \begin{aligned}
 V_{b1} &= a^2 V_{a1} & V_{c1} &= a V_{a1} \\
 V_{b2} &= a V_{a2} & V_{c2} &= a^2 V_{a2} \\
 V_{b0} &= V_{a0} & V_{c0} &= V_{a0}
 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{arah urutan fasa} \\ \text{berlawanan dengan} \\ \text{arah jarum jam} \end{array}$$

Dari rumus dasar teori komponen-komponen simetris didapat hubungan :

$$V_a = V_{a1} + V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_b = a^2 V_{a1} + a V_{a2} + V_{a0}$$

$$V_c = a V_{a1} + a^2 V_{a2} + V_{a0}$$

Dalam bentuk matriks :

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.27)$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix}$$

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

$$[A]^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$



Sehingga didapat :

$$\begin{bmatrix} V_{a0} \\ V_{a1} \\ V_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.28)$$

atau :

$$V_{a0} = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c)$$

$$V_{a1} = \frac{1}{3} (V_a + aV_b + a^2V_c) \dots\dots\dots(2.29)$$

$$V_{a2} = \frac{1}{3} (V_a + a^2 V_b + aV_c)$$

Untuk arus :

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} + I_{a0}$$

$$I_b = a^2I_{a1} + aI_{a2} + I_{a0} \dots\dots\dots(2.30)$$

$$I_c = aI_{a1} + a^2 I_{a2} + I_{a0}$$

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.31)$$

atau :

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c)$$

$$I_{a1} = \frac{1}{3} (I_a + aI_b + a^2I_c) \dots\dots\dots(2.32)$$

$$I_{a2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + aI_c)$$



Pada sistem tiga fasa jumlah arus jala-jala (line currents) sama dengan arus I_n dalam jalur kembali melalui netral. Jadi :

$$I_a + I_b + I_c = I_n$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c)$$

$$I_{a0} = \frac{1}{3} I_n$$

$$I_n = 3 I_{a0}$$

Jika tidak ada yang melalui netral suatu sistem tiga fasa, I_n adalah nol dan arus-arus saluran tidak mengandung komponen-komponen urutan nol. Suatu beban dengan hubungan delta tidak menyediakan jalur ke netral, dan karena itu arus-arus saluran yang mengalir ke suatu beban yang dihubungkan delta tidak dapat mengandung komponen-komponen urutan nol.





BAB III METODELOGI PENELITIAN

3.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

3.1.1. Lokasi

Lokasi terletak di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Talang Kelapa.

3.1.2. Waktu Penelitian

Waktu penelitian akan dimulai dari bulan Januari 2017. Dan untuk memenuhi kelengkapan data, maka penulis akan melakukan hubungan *internal* langsung dengan pihak PT.PLN (Persero) sampai penulisan ini selesai.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

Kegiatan Penelitian Yang Dilakukan	Bulan							
	Januari	Febuari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus
Mencari Referensi	✓	✓			✓	✓		
Konsultasi dengan Pihak PLN			✓	✓			✓	✓
Pengambilan Data							✓	✓

Keterangan : tanda(✓) menandakan sedang melakukan kegiatan penelitian



3.2. Metode Pengumpulan Data

Ada dua tahapan metode yang digunakan untuk mengumpulkan semua data yaitu :

3.2.1. Studi Literatur

Literatur-literatur yang dikumpulkan sebagai referensi penulisan diperoleh dengan membaca buku referensi, jurnal ataupun artikel yang digunakan untuk mempelajari aspek teoritis serta rumusan-rumusan yang berkaitan tentang “Evaluasi Setting Proteksi Rele Pada Transformator III Daya 60 MVA dan Penyulang 20 kV di Gardu Induk Talang Kelapa”.

3.2.2. Pengumpulan Data

Dalam pengumpulan data diuraikan menjadi dua jenis data yang digunakan, yaitu :

1. Data – data Primer
 - Teknik Observasi, tujuannya untuk mengamati dan menganalisa terhadap suatu objek yang bersangkutan.
 - Teknik Wawancara, tujuannya untuk melakukan tanya jawab langsung kepada narasumber yang mengetahui lebih dan berkompeten terhadap masalah yang akan dianalisa.
2. Data – data Sekunder

Data yang diperoleh dari pihak lain melalui cara riset perusahaan, kepustakaan serta membaca buku dan jurnal-jurnal yang berhubungan dengan masalah yang akan dianalisa.



3.3. Pengolahan Data

Data–data yang diperoleh akan dikumpulkan yang kemudian disusun dan dilakukan perhitungan dalam pengerjaannya. Sehingga hasil dari perhitungan tersebut dapat digunakan sebagai parameter analisa sistem kerja serta mengetahui dimana letak bagian yang terjadi kekurangan.



3.3 Diagram Alir

