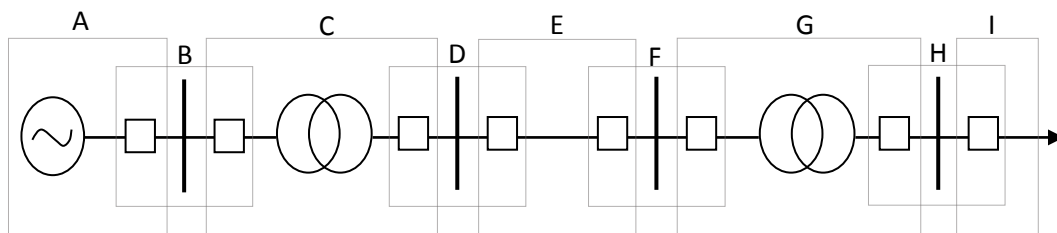




BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Pengamanan

Peralatan sistem pengamanan ini ditempatkan pada bagian-bagian sistem tenaga listrik yang memberikan suatu konsep daerah pengamanan. Batas suatu daerah menentukan suatu bagian dari sistem sehingga untuk suatu gangguan dimanapun didalam daerah tersebut, sistem pengamanan bertanggung jawab untuk memisahkan bagian yg terganggu dari sistem tenaga listrik. Oleh karena pemisahan atau pemutusan daya dalam keadaan terganggu itu dilakukan oleh pemutus rangkaian, maka pada tiap titik hubung antara peralatan dengan bagian lain harus disisipkan suatu pemutus rangkaian atau pemutus tenaga, dengan kata lain pemutus tenaga akan membantu penentuan batas daerah perlindungan.^[12]



Gambar 2.1 Daerah-daerah pengamanan^[12]

Keterangan :^[12]

- A = Pengamanan Generator
- B = Pengamanan Switchgear tegangan rendah
- C = Pengamanan Transformator daya
- D = Pengamanan Switchgear tegangan tinggi
- E = Pengamanan Saluran Transmisi
- F = Pengamanan Switchgear tegangan rendah
- G = Pengamanan Transformator daya
- H = Pengamanan Switchgear tegangan rendah
- I = Pengamanan Saluran distribusi



2.2 Macam-Macam Gangguan Pada Generator Dan Akibatnya

Macam-macam gangguan pada generator dapat diklasifikasikan sebagai berikut :^[4]

2.2.1 Gangguan listrik (*electrical fault*)

Jenis gangguan ini adalah gangguan yang timbul dan terjadi pada bagian-bagian listrik dari generator. Gangguan-gangguan tersebut antara lain :^[4]

1. Hubung singkat 3 phasa

Terjadinya arus lebih pada stator yang dimaksud adalah arus lebih yang timbul akibat terjadinya hubungan singkat 3 phasa/ 3 phase fault. Gangguan ini akan menimbulkan loncatan bunga api dengan suhu yang tinggi yang akan melelehkan belitan dengan resiko terjadinya kebakaran, jika isolasi tidak terbuat dari bahan yang anti api /*nonflammable*.

2. Hubung singkat 2 phasa

Gangguan hubung singkat 2 phasa/*unbalance fault* lebih berbahaya dibanding gangguan hubung singkat 3 phasa/*balance fault*, karena disamping akan terjadi kerusakan pada belitan akan timbul pula vibrasi pada kumparan stator. Kerusakan lain yang timbul adalah pada poros/shaft dan kopling turbin akibat adanya momen puntir yang besar.

3. Stator hubung singkat 1 phasa ke tanah/stator ground fault

Kerusakan akibat gangguan 2 phasa atau antara konduktor kadang-kadang masih dapat diperbaiki dengan menyambung taping atau mengganti sebagian konduktor, tetapi kerusakan laminasi besi (*iron lamination*) akibat gangguan 1 phasa ke tanah yang menimbulkan bunga api dan merusak isolasi dan inti besi adalah kerusakan serius yang perbaikannya dilakukan secara total. Gangguan jenis ini meskipun kecil harus segera diproteksi.

4. Rotor hubung tanah/*field ground*

Padarotor generator yang belitannya tidak dihubungkan oleh tanah (*ungrounded system*). Apabila sisi lainnya terhubung ke tanah, sementara sisi sebelumnya tidak terselesaikan maka akan terjadi kehilangan arus pada



sebagian belitan yang terhubung singkat melalui tanah. Akibatnya terjadi ketidak seimbangan fluksi yang menimbulkan vibrasi yang berlebihan serta kerusakan fatal pada rotor.

5. Kehilangan medan penguat/*Loss of excitation*

Hilangnya medan penguat akan membuat putaran mesin naik, dan berfungsi sebagai generator induksi. Kondisi ini akan berakibat pada rotor dan pasak/slot wedges, akibat arus induksi yang bersirkulasi pada rotor. Kehilangan medan penguat dapat dimungkinkan oleh :

- a) Jatuhnya/trip saklar penguat (41AC)
- b) Hubung singkat pada belitan penguat
- c) Kerusakan kontak-kontak sikat arang pada sisi penguat
- d) Kerusakan pada sistem AVR

2.2.2 Gangguan mekanis/panas (*mechanical/thermal fault*)

Jenis-jenis gangguan mekanik/panas antara lain :^[4]

1. Generator berfungsi sebagai motor (*motoring*)

Motoring adalah peristiwa berubah fungsi generator menjadi motor akibat daya balik (*reverse power*). Daya balik terjadi disebabkan oleh turunnya daya masukkan dari penggerak utama (*prime mover*). Dampak kerusakan akibat peristiwa motoring adalah lebih kepada penggerak utama itu sendiri. Pemanasan lebih setempat

Pemanasan lebih setempat pada sebagian stator dapat dimungkinkan oleh Kerusakan laminasi dan Kendornya bagian-bagian tertentu di dalam generator seperti : pasak-pasak stator (*stator wedges*).

2. Kesalahan parallel

Kesalahan dalam memparalel generator karena syarat-syarat sinkron tidak terpenuhi dapat mengakibatkan kerusakan pada bagian poros dan kopling generator, dan penggerak utamanya karena terjadinya momen puntir. Kemungkinan kerusakan lain yang timbul, kerusakan PMT dan kerusakan pada kumparan stator akibat adanya kenaikan tegangan sesaat.

3. Gangguan pendingin stator



Gangguan pada media sistem pendingin stator (pendingin dengan media udara, hidrogen, atau air) akan menyebabkan kenaikan suhu belitan stator. Apabila suhu belitan melampaui batas ratingnya akan berakibat kerusakan belitan.

2.2.3 Gangguan sistem (*system fault*)

Generator dapat terganggu akibat adanya gangguan yang datang/terjadi pada sistem. Gangguan-gangguan sistem yang terjadi umumnya adalah :^[4]

1. Frekuensi tidak normal (*abnormal frequency operation*)

Perubahan frekuensi keluar dari batas-batas normal di sistem dapat berakibat ketidakstabilan pada turbin generator. Perubahan frekuensi sistem dapat dimungkinkan oleh tripnya unit-unit pembangkit atau penghantar (transmisi).

2. Lepas sinkron (*Loss of synhcron*)

Adanya gangguan di sistem akibat perubahan beban mendadak, switching, hubung singkat dan peristiwa yang cukup besar akan menimbulkan ketidakstabilan sistem. Keadaan ini akan menghasilkan arus puncak yang tinggi dan penyimpangan frekuensi operasi yang keluar dari seharusnya sehingga akan menyebabkan terjadinya stress pada belitan generator, gaya puntir yang berfluktuasi serta resonansi yang akan merusak turbin generator. Pada kondisi ini generator harus dilepas dari sistem.

3. Arus beban kumparan yang tidak seimbang (*unbalance armature current*)

Pembebanan yang tidak seimbang pada sistem/adanya gangguan 1 fasa dan 2 fasa pada sistem yang menyebabkan beban generator tidak seimbang yang akan menimbulkan arus urutan negatif. Arus urutan negatif yang melebihi batas, akan menginduksikan arus medan yang berfrekuensi rangkap yang arahnya berlawanan dengan putaran rotor akan menyebabkan adanya pemanasan lebih dan kerusakan pada bagian-bagian konstruksi rotor.



2.3 Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Generator

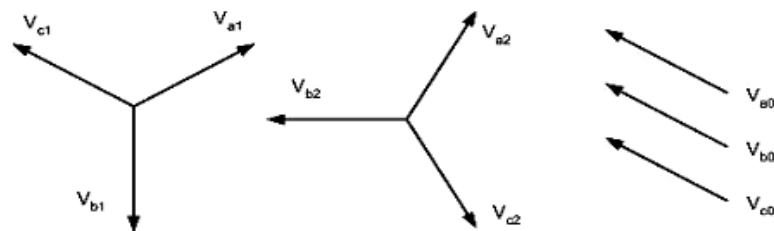
Analisis Gangguan Hubung Singkat dilakukan dengan berdasarkan kesimetrisan gangguan yang terjadi.^[3]

2.3.1 Komponen simetris

Komponen simetris digunakan untuk menganalisis terutama sistem yang tidak seimbang, misalnya saat terjadi hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah. Dimana sebuah sistem tak seimbang diubah menjadi tiga rangkaian persamaan yaitu rangkaian urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol. Menurut teorema Fortescue, tiga fasor tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga sistem fasor yang seimbang. Himpunan seimbang komponen itu adalah (Stevenson, 1982: 260):^[2]

1. Komponen urutan positif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor aslinya.
2. Komponen urutan negatif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya
3. Komponen urutan nol, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara fasor yang satu dengan yang lain.

Tujuan lain adalah untuk memperlihatkan bahwa setiap fasa dari sistem tiga fasa tak seimbang dapat di pecah menjadi tiga set komponen.^[15]



Gambar 2.2. : Vektor Diagram untuk Komponen Simetris^[8]



Komponen simetris berpengaruh terhadap besarnya impedansi saluran. Impedansi saluran suatu sistem tenaga listrik tergantung dari jenis konduktornya yaitu dari bahan apa konduktor itu dibuat yang juga tentunya pula dari besar kecilnya penampang konduktor dan panjang saluran yang digunakan jenis konduktor ini. Komponen Simetris menyebabkan tegangan jatuh sesuai dengan urutan arusnya dan tidak mempengaruhi urutan arus lainnya, berarti tiap urutan yang seimbang akan terdiri dari suatu jaringan. Ketidakseimbangan arus atau tegangan ini akan menimbulkan pula impedansi urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol. Impedansi urutan dapat didefinisikan sebagai suatu impedansi yang dirasakan arus urutan bila tegangan urutannya dipasang pada peralatan atau pada sistem tersebut. Seperti juga tegangan dan arus didalam metode komponen simetris dikenal tiga macam impedansi urutan yaitu sebagai berikut.^[3]

1. Impedansi urutan positif (Z_1), adalah impedansi tiga fasa simetris yang terukur bila dialiri oleh arus urutan positif.
2. Impedansi urutan negatif (Z_2), adalah impedansi tiga fasa simetris yang terukur bila dialiri oleh arus urutan negatif.
3. Impedansi urutan nol (Z_0), adalah impedansi tiga fasa simetris yang terukur bila dialiri arus urutan nol.

Dari gambar 2.2 Vektor diagram simetris tersebut didapatkan persamaan :

$$I_A = I_{1A} + I_{2A} + I_0.$$

$$I_B = a^2 I_{1A} + a I_{2A} + I_0. \quad \dots\dots\dots (2.1)^{[15]}$$

$$I_C = a I_{1A} + a^2 I_{2A} + I_0.$$

Dari persamaan tersebut, diperoleh persamaan berikut.

$$I_{1A} = 1/3(I_A + aI_B + a^2I_C)$$

$$I_{2A} = 1/3(I_A + a^2I_B + aI_C) \quad \dots\dots\dots (2.2)^{[15]}$$

$$I_{0A} = 1/3(I_A + I_B + I_C)$$

Keterangan :

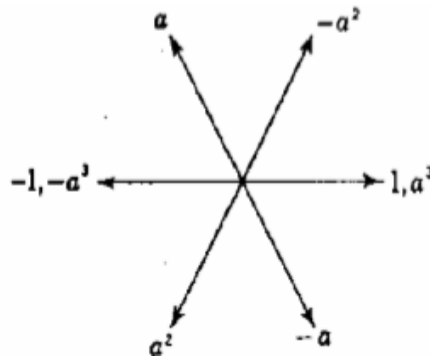
I_A = Arus pada line A (Ampere)

I_B = Arus pada line B (Ampere)



$$\begin{aligned}
 I_C &= \text{Arus pada line C (Ampere)} \\
 I_{1A} &= \text{Arus urutan positif pada line A (Ampere)} \\
 I_{2A} &= \text{Arus urutan negative pada line A (Ampere)} \\
 I_{0A} &= \text{Arus urutan nol pada line A (Ampere)} \\
 a &= 1 \angle 120^\circ = -0,5 + j 0,866 \\
 a^2 &= 1 \angle 240^\circ = -0,5 - j 0,866 \\
 a^3 &= 1 \angle 360^\circ = 1
 \end{aligned}$$

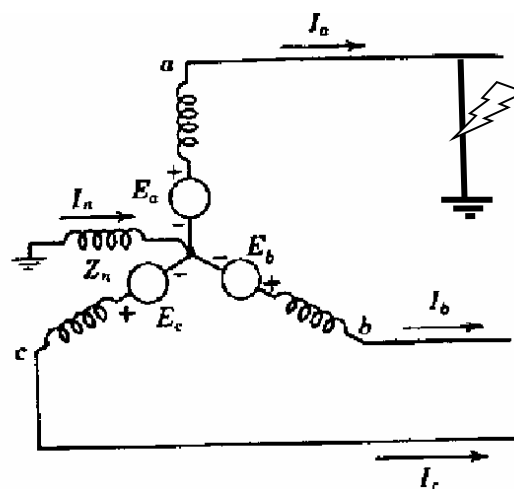
Persamaan di atas, terdapat operator a yang merupakan unit vektor yang membentuk sudut 120° derajat berlawanan jarum jam.^[15]



Gambar 2.3. Diagram Vektor sudut operator a ^[15]

2.3.2 Persamaan Gangguan Hubung Singkat

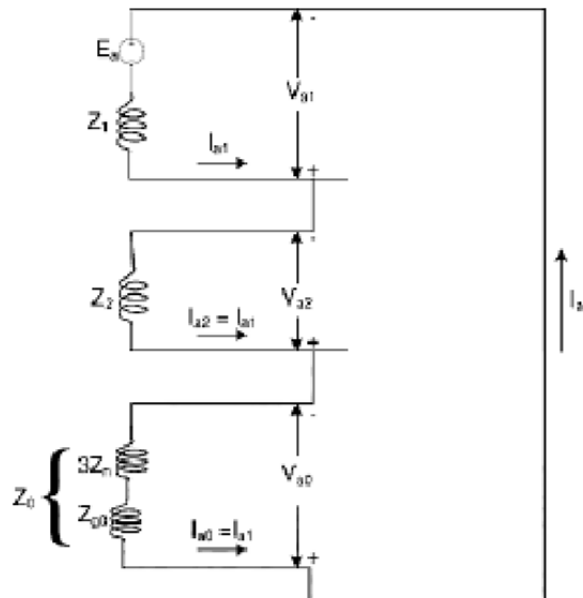
1. Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah



Gambar 2.4: Hubung Singkat satu fasa ke tanah^[15]



Gambar 2.5 dibawah ini menunjukkan impedansi gangguan saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dengan impedansi pentanahan Z_n .



Gambar 2.5 : Impedansi gangguan hubung singkat satu fasa ketanah^[15]

Dari gambar diatas dapat diperoleh persamaan berikut.

$$I_{a0} = I_{a1} = I_{a2} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots \dots \dots (2.3)^{[15]}$$

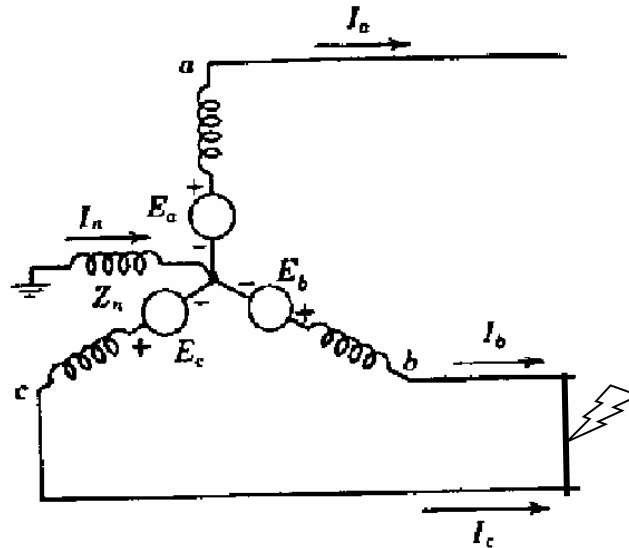
$$I_{f \phi - \text{tanah}} = \frac{3E_a}{Z_1 + Z_2 + (Z_{g0} + 3Z_n)} \dots \dots \dots (2.4)^{[15]}$$

Keterangan :

- E_a = Tegangan kerja generatorline –netral (Volt)
- $I_{f \phi - \text{tanah}}$ = Arus hubung Singkat ke tanah (Ampere)
- Z_n = Impedansi pbumian atau pentanahan (ohm)
- Z_{g0} = Impedansi urutan nol generator
- Z_0 = Impedansi urutan nol (ohm)
- Z_1 = Impedansi urutan positif (ohm)
- Z_2 = Impedansi urutan negatif (ohm)



2. Hubung Singkat 2 fasa

Gambar 2.6 : Hubung Singkat 2 fasa^[15]

Dengan menggunakan komponen simetris, diperoleh persamaan berikut.

$$I_{a1} = I_{a2} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2} \quad \dots \dots \dots (2.5)^{[15]}$$

$$I_{fL-L} = \frac{\sqrt{3} V_{L-N}}{Z_1 + Z_2} \quad \dots \dots \dots (2.6)^{[15]}$$

Keterangan :

E_a = Tegangan kerja line-netral Generator (Volt)

V_{L-N} = Tegangan phase-netral (Volt)

I_f = Arus gangguan (Ampere)

I_{f1-1} = Arus hubung singkat line ke line (Ampere)

Z_1 = Impedansi uutan positif (ohm)

Z_2 = Impeansi urutan negatif (ohm)

3. Gangguan Hubung Singkat Simetris (Gangguan Tiga Fasa)

$$I_{f\phi 3} = \frac{V_{L-N}}{Z_1}$$

Keterangan :

V_{L-N} = Tegangan per phase (Volt)



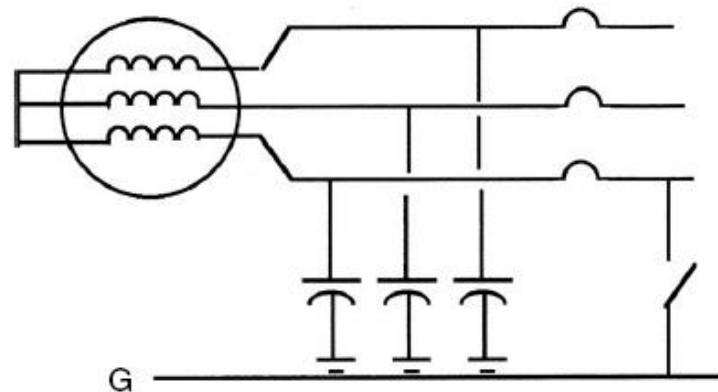
- I_f = Arus gangguan (Ampere)
 $I_{f\phi 3}$ = Arus hubung singkat 3 fasa (Ampere)
 Z_1 = Impedansi uutan positif (ohm)

2.4 Metode Pembumian Generator

Metode pembumian suatu generator menentukan jenis proteksi gangguan tanah yang akan diterapkan. Faktor kuncinya adalah harus gangguan tanah yang muncul pada sistem tersebut. arus ini dapat bervariasi dari beberapa ampere sampai sebesar arus gangguan tiga fasa.^[8]

2.4.1 Sistem yang tidak dibumikan

Suatu sistem dikatakan tidak dibumikan apabila tidak terdapat hubungan fisik antara netral dan tanah. Hanya terdapat kapasitansi dari sistem tersebut ke tanah. Kapasitansi terbesar adalah kapasitansi yang berasal dari belitan stator generator.^[8]



Gambar 2.7 Generator yang tidak dibumikan^[8]

Jika kapasitansi pada tiap fasa ke tanah sama besarnya, maka tegangan fasa ke netral pada keadaan normal akan muncul pada tiap fasa dan tanah seperti Gambar 2.7 Arus



hubung singkat fasak tanah pada sistem yang tidak dibumikan adalah fungsi dari kapasitansi shunt ketanah dan biasanya bernilai kurang dari 10A.^[8]

Jika terjadi hubung singkat antara fasak tanah, tegangan sistem akan berubah dan tegangan antarfasa yang sehat dengan tanah akan meningkat menjadi tegangan fasafasa. Hal ini menyebabkan naiknya arus pengisian pada masing-masing fasayangsehat sebesar.^[8]

2.4.2 Pembumian langsung

Pada sistem pembumian langsung, tidak ada impedansi yang dihubungkan secara sengaja antara titik netral generator dengan tanah. Setiap terjadi gangguan hubung singkat selalu mengakibatkan terputusnya saluran. Arus gangguan sangat besar sehingga berbahaya bagi peralatan. Pada metode ini, arus gangguan tanah dapat mencapai nilai arus gangguan tiga fasanya.^[8]

Pembumian langsung pada generator hanya dapat dilakukan jika reaktansi urutan nol (X_0) generator cukup besar. Reaktansi ini berguna untuk membatasi arus gangguan tanah agar lebih kecil dari arus gangguan tiga fasa. Metode ini hanya dapat diterapkan pada generator yang didesain khusus agar tahan terhadap arus gangguan yang tinggi.^[8]

2.4.3 Pembumian melalui tahanan tinggi

Tahanan tinggi dihubungkan antara titik netral generator dengan tanah. Terkadang, tahanan rendah dihubungkan pada belitan sekunder transformator satu fasa (transformator distribusi) atau pada pembumian netral transformator. Metode ini membatasi arus gangguan tanah sebesar 5-10A.^[8]

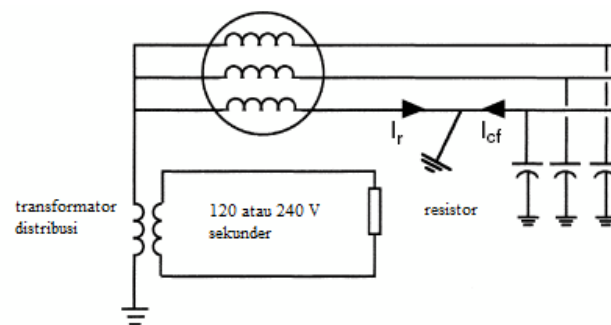
Karakteristik pembumian tahanan tinggi adalah :^[8]



- Tidak terjadi pemutusan pada gangguan tanah yang pertama (kontinuitas pelayanan baik),
- Tidak berbahaya bagi manusia yang berada dekat titik gangguan, Memperkecil resiko kerusakan pada peralatan,
- Memperkecil tegangan lebih transien akibat gangguan busur tanah.

2.4.4 Pembumian melalui transformator distribusi

Pembumian melalui transformator distribusi adalah cara yang paling sering digunakan untuk pembumian impedansi tinggi. Pada Gambar (3.4) ditunjukkan skema pembumian menggunakan transformator distribusi. Tahanan yang dilihat pada netral generator sama dengan nilai ohmic dari resistor sekunder dikali dengan akardaritu rasio transformator. Rangkaian yang ekuivalen juga dapat diperoleh dengan memasang sebuah resistor langsung antara netral dan tanah. Kelebihan penggunaan transformator distribusi ini adalah menghindari pemakaian resistor tegangan tinggi yang relatif mahal.^[8]



Gambar 2.8 Pembumian dengan transformator distribusi^[8]

Belitan primer transformator harus mempunyai rating tegangannya sama atau lebih besar dari tegangan fasa-netral generator. Belitan sekunder transformator pembumian biasanya mempunyai tegangan sekunder 120V atau 240V. Transformator pembumian harus mempunyai ketahanan terhadap



tegangan lebih untuk menghindari saturasi jika generator bekerja pada tegangan yang lebih tinggi dari rating tegangannya. Resistansi yang dihubungkan pada belitan sekunder harus dipilih sedemikian rupa agar arus gangguan tanah (I_f) yang datang dari transformator distribusi sama atau lebih besar dari arus gangguan tanah yang datang dari kapasitansi shunt sistem (I_{cf}). Biasanya arus dari transformator distribusi diatur sama dengan arus kapasitansi shunt sistem.^[8]

2.4.5 Pembumian melalui kumparan peterson

Metode ini mempunyai skema yang sama dengan pembumian dengan tahanan tinggi, kecuali reaktor yang dapat diaturnilai lain yang dipasang pada sekunder trafo.^[8]

2.4.6 Pembumian melalui tahanan rendah

Titik netral generator dihubungkan ke tanah melalui sebuah tahanan yang berfungsi untuk membatasi arus gangguan tanah sampai beberapa ratus ampere (200-600A). Arus gangguan ini sangat besar dan dapat merusak stator, namun pada saat yang sama, arus ini cukup besar sehingga dapat dirasakan oleh rele sehingga dapat sistem proteksi yang handal dan selektif.^[8]

Sistem pembumian melalui tahanan rendah jarang digunakan sekarang karena besarnya resiko kebakaran stator generator akibat besarnya arus yang mengalir saat gangguan. Namun, sistem pembumian ini paling sering digunakan untuk industri yang menggunakan tegangan menengah.^[8]

Karakteristik pembumian melalui tahanan rendah adalah :^[8]

- a. Pemutusan akibat gangguan dapat dilakukan,
- b. Memperkecil tegangan lebih transient akibat gangguan busur tanah,



- c. Memperkecil kerusakan pada titik gangguan.

2.5 Identifikasi Parameter untuk Gangguan Hubung Singkat

Untuk menghitung nilai arus hubung singkat seperti persamaan diatas dibutuhkan perhitungan untuk menentukan parameter-parameter impedansi gangguan . berikut beberapa persamaan yang dibutuhkan untuk menghitung nilai dari parameter tersebut.

2.5.1 Penentuan initial reactance dan resistance generator sinkron

$$X''_d = \frac{x_d'' \cdot U_{NG}^2}{100\% \cdot S_{NG}} \text{ ohm/fasa} \quad \dots\dots\dots (2.7)^{[14]}$$

Dimana :

S_{NG} = Daya Generator (MVA)

U_{NG} = Tegangan Generator (kV)

X_d'' = Relative initial reactance (Subtransient reactance) (%)

X/R = Rasio antara reaktansi dan resistansi pada generator

2.5.2 Perhitungan tahanan pembumian pada generator

Pembumian pada sistem generator-trafo mempergunakan impedansi tinggi (*high impedance grounded*) dengan maksud untuk mengamankan generator bila terjadi gangguan 1 fasa ke tanah di generator, dimana arus gangguan 1 fasa ke tanah dibatasi oleh impedansi pentanahan tersebut. Sistem pembumian semacam ini banyak dipergunakan pada unit-unit pembangkit yang mempunyai daya besar (>25MW).^[14]

Sebagai pengaman gangguan tanah di generator, biasanya dipasang relai arus lebih (51G). Gangguan 1 fasa ke tanah biasanya terjadi di belitan generator, diterminal atau bagian belitan dekat netral. Bila gangguan 1 fasa ketanah dekat titik netral generator maka arus gangguannya semakin kecil, dan arus gangguan fasa ketanah dapat diperhitungkan sebagai berikut .^[9]

$$I_f = \frac{m \cdot V_{ph}}{R_{ground}} \quad \dots\dots\dots (2.8)^{[14]}$$



Dimana :

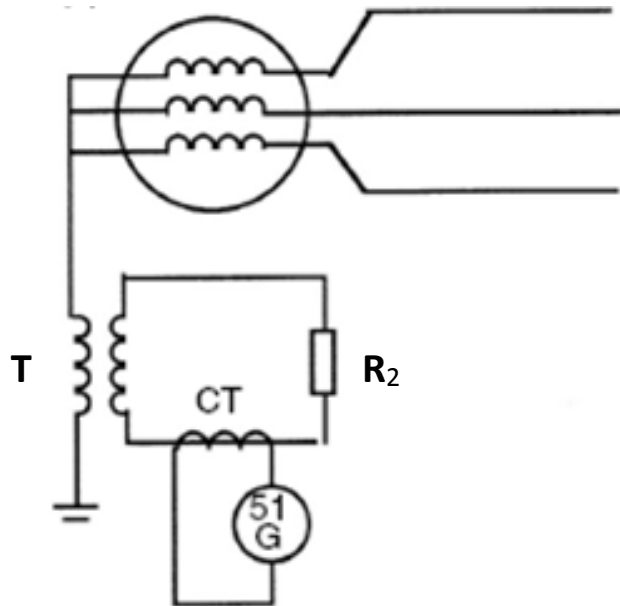
$I_{f1\text{fasa}}$ = Arus gangguan yang mengalir ke pentanahan generator (Ampere)

V_{ph} = Tegangan fasa-tanah (Volt)

m = Perbandingan antara jarak (lokasi) Gangguan terhadap titik netral generator (bisa diabaikan)

R_{ground} = Tahanan pembumian generator

Jika tahanan pembumian generator menggunakan Transformator distribusi pembumian maka untuk menghitung tahanan pembumiannya seperti gambar 2.9 dibawah ini :



Gambar 2.9 : Pembumian menggunakan transformator pembumian^[14]

Keterangan gambar :

R_2 = Tahanan pembumian

T = Transformator pembumian

Tahanan R_2 diletakan pada sisi sekunder (tegangan rendah) dari trafo pembumian (T), dimana T dihubungkan dengan netral generator dari belitan stator. Bila R_2 (tahanan pembumian) sisi tegangan rendah dilihat dari generator (sisi primer), sebagai berikut :^[14]



$$R_{\text{ground}} = k^2 \cdot R_2 \quad \dots\dots\dots (2.9)^{[14]}$$

Dimana k adalah ratio transformator pembumian

2.5.3 Perhitungan Dengan Sistem Satuan Per Unit (P.U)

Dalam analisa sistem jaringan listrik nilai-nilai yang harus dihitung pun cukup besar apabila tetap menggunakan satuan-satuan seperti diatas. Sehingga memungkinkan terjadinya kesulitan atau kesalahan dalam perhitungan. Maka dari itu diperlukan sebuah metode untuk mengatasi masalah tersebut. Terdapat dua metode yang bisa digunakan untuk mengatasi masalah tersebut yaitu menggunakan persentase dan satuan per unit. Kedua metode perhitungan tersebut, baik dengan persentase maupun dengan satuan per unit, lebih sederhana dibanding menggunakan langsung nilai-nilai ampere, ohm, dan volt yang sebenarnya. Metode per unit mempunyai sedikit kelebihan dari metode persentase, karena hasil perkalian dari dua kuantitas (dua nilai) yang dinyatakan dalam per unit sudah langsung diperoleh dalam per unit juga, sedangkan hasil perkalian dari dua kuantitas yang dinyatakan dalam persentase masih harus dibagi dengan 100 untuk mendapatkan hasil dalam persentase.^[7]

Definisi satuan per unit untuk suatu kuantitas ialah perbandingan kuantitas tersebut terhadap nilai dasarnya yang dinyatakan dalam desimal. Atau dengan kata lain satuan per unit merupakan sistem penskalaan guna mempermudah kalkulasi atau proses perhitungan dalam menganalisa sebuah sistem jaringan listrik. Besaran-besaran sistem dalam satuan masing-masing, tegangan dalam volt – arus dalam ampere – impedansi dalam ohm, ditransformasikan ke dalam besaran tak berdimensi yaitu per-unit (disingkat pu). Pada mulanya transformasi ke dalam per-unit dimaksudkan untuk mempermudah perhitungan, namun dengan perkembangan penggunaan komputer maksud penyederhanaan itu sudah kurang berarti lagi. Walaupun demikian, beberapa keuntungan yang terkandung dalam satuan per-unit masih terasa. Nilai per-unit dari suatu besaran

$$\dots\dots\dots (2.10)^{[7]}$$



merupakan rasio dari besaran tersebut dengan suatu besaran basis. Besaran basis ini berdimensi sama dengan dimensi besaran aslinya sehingga nilai per-unit besaran itu menjadi tidak berdimensi.^[7]

$$\text{Nilai per – unit} = \frac{\text{Nilai Sesungguhnya}}{\text{Nilai basis}}$$

Nilai sesungguhnya mungkin berupa bilangan kompleks, namun nilai basis yang ditetapkan adalah bilangan nyata. Oleh karena itu sudut fasa nilai dalam per-unit sama dengan sudut fasa sesungguhnya. Sebagai contoh kita ambil daya kompleks^[7]

$$S = \bar{V} I^* = VI \angle (\alpha - \beta) \quad \dots\dots\dots (2.11)^{[7]}$$

Di mana α adalah sudut fasa tegangan dan β adalah sudut fasa arus. Untuk menyatakan S dalam per-unit kita tetapkan S_{basis} yang berupa bilangan nyata, sehingga.

$$S_{\text{pu}} = \frac{S \angle (\alpha - \beta)}{S_{\text{basis}}} = S_{\text{pu}} \angle (\alpha - \beta) \quad \dots\dots\dots (2.12)^{[7]}$$

Nilai S_{basis} dipilih secara bebas dan biasanya dipilih angka yang memberi kemudahan seperti puluhan, ratusan dan ribuan. Jika S_{basis} sudah ditentukan kita harus memilih salah satu V_{basis} atau I_{basis} untuk ditentukan secara bebas, tetapi tidak kedua-duanya bisa dipilih bebas. Jika kita hitung S_{pu} dari persamaan di atas kita peroleh.^[7]

$$S_{\text{pu}} = \frac{S}{S_{\text{basis}}} = \frac{V \angle \alpha I \angle -\beta}{V_{\text{basis}} I_{\text{basis}}} = V_{\text{pu}} I_{\text{pu}}^* \quad \dots\dots\dots (2.13)^{[7]}$$

Nilai basis untuk impedansi ditentukan menggunakan relasi

$$S_{\text{pu}} = \frac{S}{S_{\text{basis}}} = \frac{V_{\text{basis}}^2}{S_{\text{basis}}} \quad \dots\dots\dots (2.14)^{[7]}$$

Dengan Z basis ini relasi arus dan tegangan $V=Z.I$ atau $Z=V/I$ akan memberikan

$$\frac{Z}{Z_{\text{basis}}} = \frac{\bar{V}}{\bar{I}} \text{ atau } Z_{\text{pu}} = \frac{V_{\text{pu}}}{I_{\text{pu}}} \quad \dots\dots\dots (2.15)^{[7]}$$

2.6 Komponen dan Peralatan Sistem Proteksi Tenaga Listrik



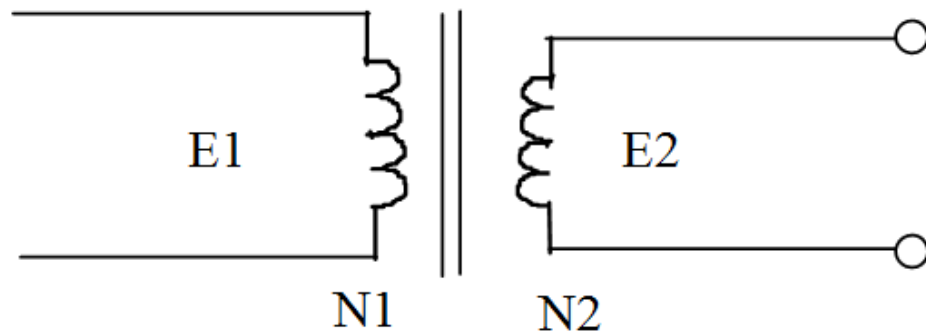
2.6.1 Potential Transformator (PT)

a. Fungsi PT^[11]

- Memperkecil besaran tegangan pada system tenaga listri menjadi besaran tegangan untuk system pengukuran
- Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap primer
- Standarisasi rating arus untuk peralatan sisi sekunder

b. Prinsip Kerja PT

Prinsip Kerja Potential Transformer dalam perubahan tegangan dapat dilihat pada gambar 2.10 dibawah.



Gambar 2.10 Rangkaian Potensial Transformer^[11]

Berdasarkan persamaan :

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_2}{N_1} = a \quad \dots \dots \dots (2.16)^{[11]}$$

Keterangan :

a : Perbandingan Transformasi $N_1 > N_2$

N_1 : Jumlah belitan primer

N_2 : Jumlah belitan Sekunder

E_1 : Tegangan Primer

E_2 : Tegangan Sekunder

c. Klasifikasi PT

Klasifikasi PT dibedakan menurut kontruksi dan pemasangannya, yaitu pasangandalamdan pasanganluar.Klasifikasi Menurut Kontruksinya

.[11]



- PT Induktif (*Inductive voltage transformer* atau *electromagnetic voltage transformer*), yang terdiri dari belitan primer dan belitan sekunder, dan tegangan pada belitan primer akan menginduksikannya ke belitan sekunder melalui core.
- PT Capacitif (*Capacitor voltage transformer*), terdiri dari rangkaian kondensator yang berfungsi sebagai pembagi tegangan tinggi dari trafo pada tegangan menengah yang menginduksikan tegangan ke belitan sekunder melalui media kapasitor.

2.6.2 Current Transformer (CT)

Untuk pemasangan alat-alat ukur dan alat-alat proteksi/pengaman pada instalasi tegangan tinggi, menengah dan rendah diperlukan trafo pengukuran. Fungsi CT:^[11]

- Memperkecil besaran arus pada sistem tenaga listrik menjadi besaran arus untuk sistem pengukuran.
- Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer
- Standarisasi rating arus untuk peralatan sisi sekunder



Gambar 2.11 Current Transformer^[11]

Berdasarkan rumus :

$$L_1 \cdot N_1 = L_2 \cdot N_2 \quad \dots \dots \dots (2.17)^{[11]}$$

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \quad \dots \dots \dots (2.18)^{[11]}$$



Dimana :

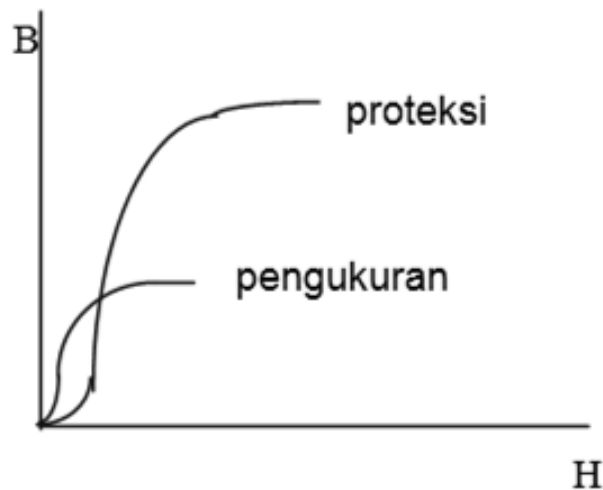
$$a = \frac{N_1}{N_2}$$

$I_1 > I_2$ sehingga $N_1 < N_2$

N_1 = Jumlah Lilitan Primer

N_2 = Jumlah Lilitan Sekunder

CT dalam sistem tenaga listrik digunakan untuk keperluan pengukuran dan proteksi. Perbedaan mendasar pada kedua pemakaian di atas adalah pada kurva magnetisasinya.^[11]



Gambar 2.12 Kurva Kejenuhan untuk pengukuran dan proteksi^[11]

- Untuk pengukuran, memiliki kejenuhan sampai dengan 120% arus rating tergantung dari kelasnya, hal ini untuk mengamankan meter pada saat gangguan
- Untuk proteksi, memiliki kejenuhan cukup tinggi sampai beberapa kali arus rating.

2.6.3 Rele Pengaman

Proteksi Generator tiga fasa dilengkapi dengan beberapa Rele. Pemasangan Rele-Rele dimaksudkan untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan serta kerusakan-kerusakan yang disebabkan oleh gangguan-



gangguan yang terjadi dalam generator. Relepengaman adalah suatu perangkat kerja proteksi yang mempunyai fungsi dan peranan :^[11]

- a. Memberi sinyal alarm atau melepas pemutusan tenaga (*circuit breaker*) dengan tujuan mengisolasi gangguan atau kondisi yang tidak normal seperti adanya : beban lebih, tegangan rendah, kenaikan suhu, beban tidak seimbang, daya kembali, frekwensi rendah, hubungan singkat dan kondisi tidak normal lainnya.
- b. Melepas atau mentrip peralatan yang berfungsi tidak normal untuk mencegah timbulnya kerusakan
- c. Melepas atau mentrip peralatan yang terganggu secara cepat dengan tujuan mengurangi kerusakan yang lebih berat
- d. Melokalisir kemungkinan dampak akibat gangguan dengan memisahkan peralatan yang terganggu dari system.
- e. Melepas peraltan atau bahagian yang terganggu secara cepat dengan maksudmenjaga stabilitas sistem.

Jenis-jenis dari rele pengaman pada mesin generator:

- a. Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele Arus Lebih (*Over Curent Relay*) adalah rele yang bekerja terhadap arus lebih, ia akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya (I_{set}).berfungsi Untuk mengamankan peralatan terhadap gangguan hubung singkat antar fase, hubung singkat satu fase ketanah dan dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih, Sebagai pengaman utama pada jaringan distribusi dan sub-transmisi sistem radial, Sebagai pengaman cadangan generator, transformator daya dan saluran transmisi. Pada dasarnya relay arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan trafo arus. Harga atau besaran yang boleh melewatinya disebut dengan setting.^[6]

- b. Rele tegangan lebih

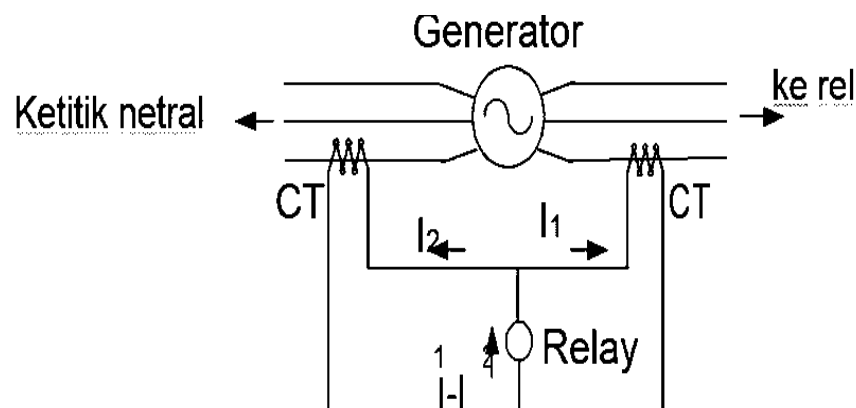
Rele tegangan lebih akan bekerja bila tegangan yang dihasilkan generator melebihi batas nominalnya. Misalnya disebabkan ketidakberesan



penguat magnet atau pengaturan penguat magnet terlalu besar sehingga mengakibatkan tegangan yang dihasilkan generator melebihi batas nominalnya. Tegangan lebih dapat dimungkinkan oleh mesin putaran lebih (*over speed*) atau kerusakan pada pengatur tegangan otomatis (AVR).^[6]

c. Rele diferensial

Rele differensial bekerja atas dasar perbandingan tegangan atau perbandingan arus, yaitu besarnya arus sebelum lilitan stator dengan arus yang mengalir pada hantaran yang menuju jaring-jaring. Dalam keadaan normal antara keduanya mempunyai arus sama besar. Bila terjadi hubung singkat antara lilitan stator dengan rangka mengakibatkan arus antara keduanya tidak sama maka rele differensial akan bekerja. Bekerjanya rele - rele tersebut digunakan untuk membuka sakelar, misalnya sakelar utama, sakelar penguat magnet.^[6]



Gambar 2.13 Prinsip Kerja Rele Diferensial^[6]

d. Rele daya balik

Rele daya balik berfungsi untuk mendeteksi aliran daya aktif yang masuk ke arah generator. Perubahan ini disebabkan oleh pengaruh rendahnya input dari penggerak mula generator. Bila input tidak dapat mengatasi rugirugi yang ada, maka kekurangan daya dapat diperoleh dengan cara menyerap daya aktif dari sistem. Selama penguatan masih tetap, maka aliran daya reaktif generator sama halnya sebelum generator bekerja sebagai motor. Dengan demikian pada generator bekerja sebagai motor, daya aktif

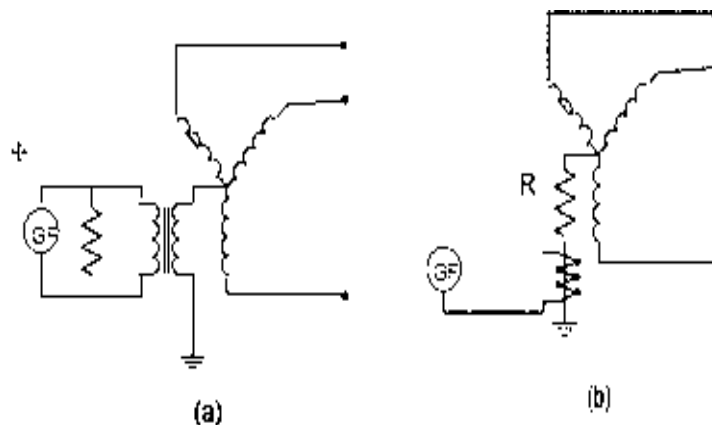


akan masuk ke generator, sementara itu aliran daya reaktif mungkin masuk atau mungkin juga keluar.^[6]

e. Relay hubung tanah (GFR)

Gangguan hubung singkat ke tanah tidak dapat dideteksi oleh relay difrensial dan OCR bila titik netral generator tidak ditanahkan. Oleh karenanya ada relay hubung tanah untuk melindungi generator terhadap gangguan hubung tanah.

Pada gambar berikutnya diperlihatkan pengaman generator terhadap gangguan hubung tanah yang titik netralnya tidak ditanahkan sehingga perlu dipasang transformator tegangan dan yang titik netralnya ditanahkan dengan melewati tahanan



Gambar 2.14 Prinsip Kerja Pengaman generator dengan GFR^[6]

Keterangan :

- Gambar relay hubung tanah (GF) yang titik netral dari generator tidak ditanahkan dengan pemasangan transformator tegangan
- Gambar relay hubungnan (R).

Untuk pengaman generator yang titik netralnya tidak ditanahkan perlu dipasang transformator tegangan yang berfungsi mendeteksi kenaikan tegangan titik netral terhadap tanah dan selanjutnya akan menyebabkan relay hubung tanah (GF) bekerja. Tegangan titik netral terhadap tanah akan naik bila ada gangguan hubung tanah dan selanjutnya akan menyebabkan relay (GF) bekerja.^[6]



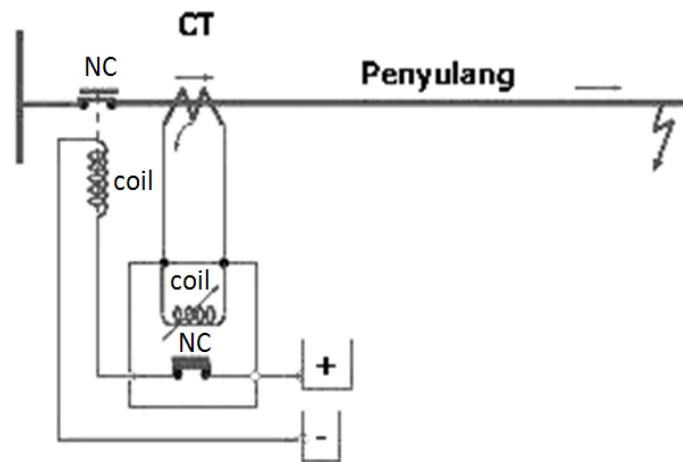
2.7 Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

2.7.1 Pengertian Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*) adalah rele yang bekerja terhadap arus lebih, ia akan bekerja bila arus yang mengalir melebihi nilai settingnya (I_{set}). berfungsi Untuk mengamankan peralatan terhadap gangguan hubung singkat antar fase, hubung singkat satu fase ketanah dan dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih, Sebagai pengaman utama pada jaringan distribusi dan sub-transmisi sistem radial, Sebagai pengaman cadangan generator, transformator daya dan saluran transmisi. Pada dasarnya relay arus lebih adalah suatu alat yang mendeteksi besaran arus yang melalui suatu jaringan dengan bantuan trafo arus. Harga atau besaran yang boleh melewatinya disebut dengan setting.

Rele arus lebih digunakan untuk melindungi kerusakan akibat terjadinya hubungan singkat antar hantaran yang menuju jaring-jaring atau antar fasa. Dalam keadaan normal rele arus lebih tidak bekerja. Tetapi bila terjadi hubung singkat antar hantaran yang menuju jaring-jaring atau antar fasa maka arus yang mengalir pada fasa yang mengalami hubung singkat tersebut melebihi batas nominalnya. Dengan demikian rele arus lebih bekerja. ^[4]

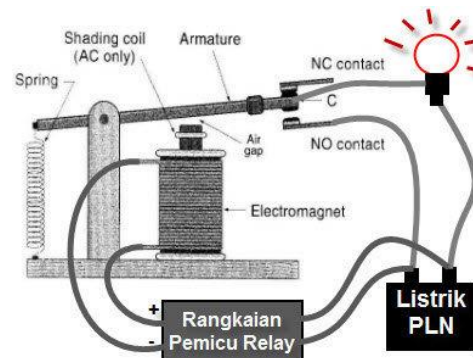
Rele ini bekerja dengan membaca input berupa besaran arus kemudian membandingkan dengan nilai setting, apabila nilai arus yang terbaca oleh rele melebihi nilai setting, maka rele akan mengirim perintah trip (lepas) kepada Pemutus Tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) setelah tunda waktu yang diterapkan pada setting. ^[6]

Gambar 2.15 Rangkaian hubungan OCR ke PMT^[14]

2.7.2 Prinsip Kerja Rele Arus Lebih (Over Current Relay)

Rele adalah komponen listrik yang bekerja berdasarkan prinsip induksi medan elektromagnetis. Jika sebuah penghantar dialiri oleh arus listrik, maka di sekitar penghantar tersebut timbul medan magnet. Medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik tersebut selanjutnya diinduksikan ke logam ferromagnetis.

Logam ferromagnetis adalah logam yang mudah terinduksi medan elektromagnetis. Ketika ada induksi magnet dari lilitan yang membelit logam, logam tersebut menjadi "magnet buatan" yang sifatnya sementara. Cara ini kerap digunakan untuk membuat magnet non permanen. Sifat kemagnetan pada logam ferromagnetis akan tetap ada selama pada kumparan yang melilitinya teraliri arus listrik. Sebaliknya, sifat kemagnetannya akan hilang jika suplai arus listrik ke lilitan diputuskan.^[13]



Gambar 2.16 Prinsip Kerja rele arus lebih ^[13]

Berikut ini penjelasan dari gambar di atas:^[13]

- Amarture, merupakan tuas logam yang bisa naik turun. Tuas akan turun jika tertarik oleh magnet ferromagnetik (elektromagnetik) dan akan kembali naik jika sifat kemagnetan ferromagnetik sudah hilang.
- Spring, pegas (atau per) berfungsi sebagai penarik tuas. Ketika sifat kemagnetan ferromagnetik hilang, maka spring berfungsi untuk menarik tuas ke atas.
- Shading Coil, ini untuk pengaman arus AC dari listrik PLN yang tersambung dari C (Contact).
- NC Contact, NC singkatan dari Normally Close. Kontak yang secara default terhubung dengan kontak sumber (kontak inti, C) ketika posisi OFF.
- NO Contact, NO singkatan dari Normally Open. Kontak yang akan terhubung dengan kontak sumber (kontak inti, C) kotika posisi ON.
- Electromagnet, kabel lilitan yang membelit logam ferromagnetik. Berfungsi sebagai magnet buatan yang sifatnya sementara. Menjadi logam magnet ketika lilitan dialiri arus listrik, dan menjadi logam biasa ketika arus listrik diputus.

2.7.3 Jenis rele arus lebih :

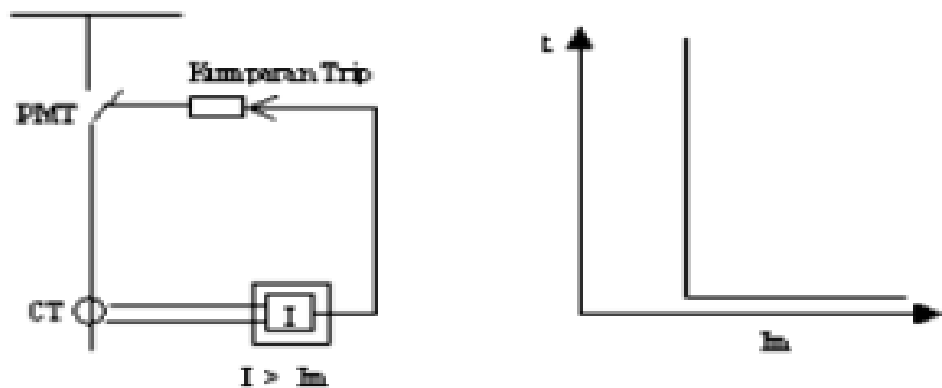
Rele Arus Lebih berdasarkan karakteristik waktu operasinya untuk memberikan perintah trip terdiri dari Rele waktu seketika (*Instantaneous*



relay), Rele arus lebih waktu tertentu (*Definite time relay*) dan Rele arus lebih waktu terbalik (*Inverse Relay*).

1. Rele waktu seketika (*Instantaneous relay*)

Rele yang bekerja seketika (tanpa waktu tunda) ketika arus yang mengalir melebihi nilai settingnya, Rele akan bekerja dalam waktu beberapa mili detik (10 – 20 ms). Dapat kita lihat pada gambar dibawah ini.^[4]

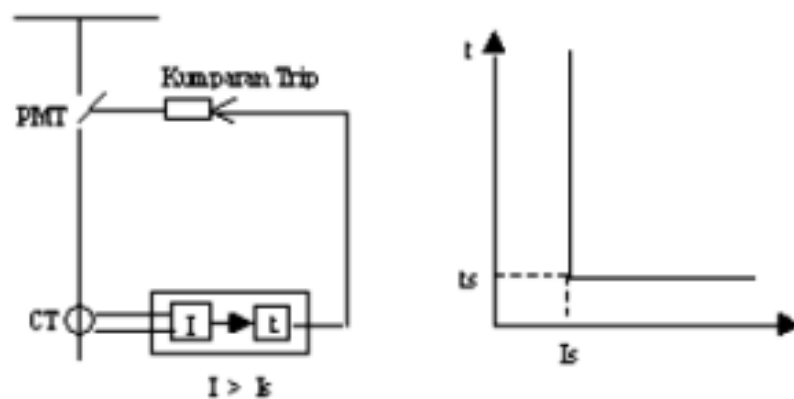


Gambar 2.17 Karakteristik Rele Waktu Seketika (*Instantaneous Relay*).^[4]

Relay ini jarang berdiri sendiri tetapi umumnya dikombinasikan dengan relay arus lebih dengan karakteristik yang lain.

2. Rele arus lebih waktu tertentu (*definite time relay*)

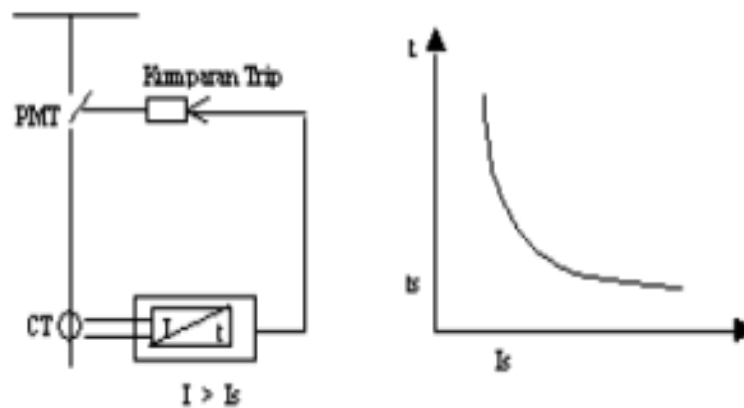
Rele ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (I_s), dan jangka waktu kerja Rele mulai *pick up* sampai kerja Rele diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan Rele, lihat gambar dibawah ini.^[4]



Gambar 2.18 Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu.^[4]3. Rele arus lebih waktu terbalik(*inverse time*),

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 :^[4]

- a. *Standar invers*
- b. *Very inverse*
- c. *Extreemely inverse*

Gambar 2.19. Karakteistik Relay Arus Lebih Waktu Terbalik (*Inverse Relay*).^[4]**2.7.4 Pengamanan Pada Rele Arus Lebih(Over Current Relay)**

Pada Rele arus lebih memiliki 2 jenis pengamanan yang berbeda antara lain:^[4]

1. Pengamanan hubung singkat fasa.

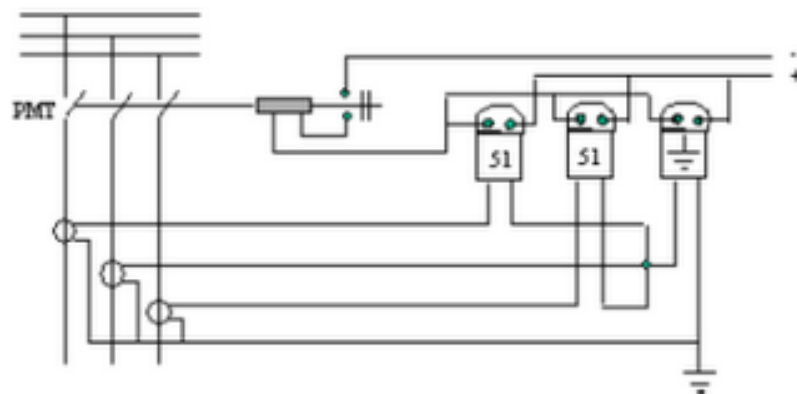
Rele mendeteksi arus fasa. Oleh karena itu, disebut pula “Rele fasa”. Karena pada Rele tersebut dialiri oleh arus fasa, maka settingnya (I_s) harus lebih besar dari arus beban maksimum. Ditetapkan $I_s = 1,2 \times I_n$ (I_n = arus nominal peralatan terlemah).^[4]

2. 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, Rele pengaman hubung singkat (Rele fasa) tidak dapat mendeteksi gangguan tanah tersebut. Supaya Rele sensitive terhadap gangguan tersebut dan tidak salah kerja oleh arus beban, maka Rele dipasang tidak pada kawat fasa melainkan kawat netral pada sekunder trafo arusnya. Dengan demikian rele 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).^[4]



Gambar 2.20 Sambungan Rele GFR dan 2 OCR.^[4]

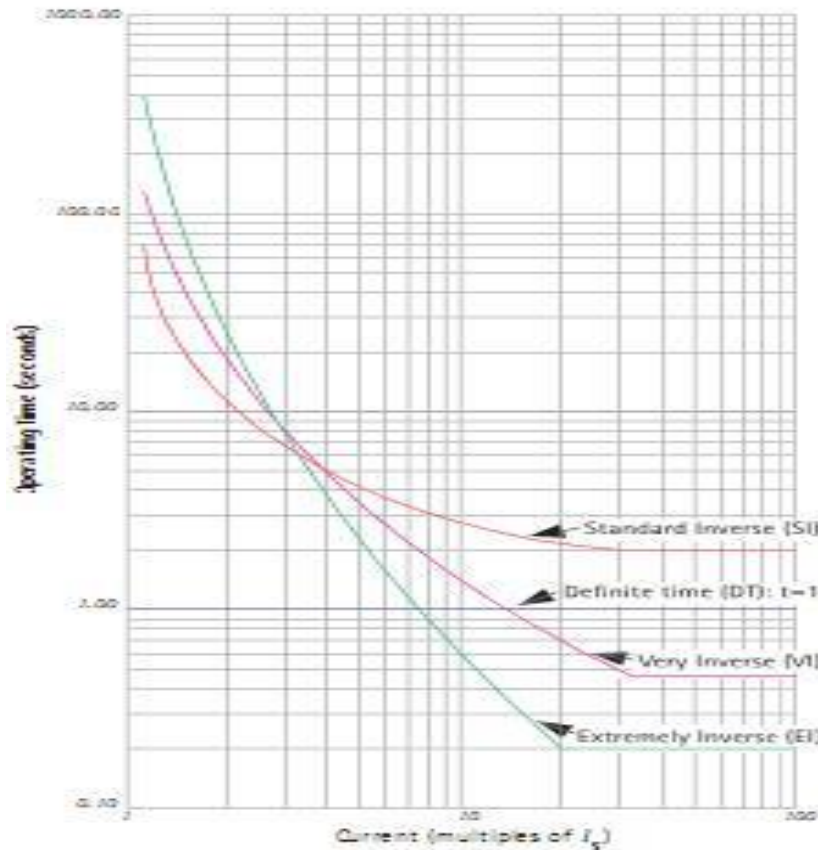
Aturan dasar yang benar untuk koordinasi rele secara umum yaitu:^[5]

- Bila memungkinkan gunakan rele dengan karakteristik yang sama dengan satu dan lainnya.
- Memastikan bahwa rele yang terjauh dari sumber memiliki pengaturan sama dengan atau kurang dari waktu rele sebelumnya. Artinya bahwa arus utama yang diperlukan untuk mengoperasikan rele didepan selalu sama dengan atau kurang dari arus utama yang diperlukan untuk mengoperasikannya.

2.7.5 Penyetelan Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)



Penyetelan rele dimaksudkan untuk memberikan batas minimum dari besaran ukur agar rele bekerja. Gambar 2.11 menunjukkan karakteristik rele OCR standar IEC 60255.^[10]



Gambar 2.21 Karakteristik Rele OCR standar IEC 60255^[10]

Berdasarkan karakteristik kerja arus – waktu, rele Arus lebih dibagi atas beberapa jenis, yaitu :^[10]

- *Invers* yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu terbalik.
- *Very Invers* yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu sangat terbalik.
- *Extremely Invers* yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu amat sangat terbalik.
- *Invers Definite Minimum (IDMT)* yaitu rele arus lebih dengan penundaan waktu tertentudan terbalik.



1. Perhitungan Koordinasi Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*)

Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, pada tahap selanjutnya dipergunakan untuk menentukan nilai setelan arus lebih, terutama nilai setelan Tms (*Time Multiple Setting*) dari Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*) dari jenis inverse.

Di samping itu setelah nilai setelan relai didapatkan, nilai-nilai arus gangguan hubung singkat pada setiap lokasi gangguan yang diasumsikan dipakai untuk memeriksa kerja Rele Arus Lebih (*Over Current Relay*) apakah masih dapat dinilai selektif atau nilai setelan harus diubah ke nilai lain yang memberikan kerja relai yang lebih selektif atau didapatkan kerja selektifitas yang optimum (relai bekerja tidak terlalu lama tetapi menghasilkan selektifitas yang baik)

Penentuan setting rele arus lebih pada generator dengan urutan :^[5]

- a. Menghitung arus hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah dengan rumus seperti yang tertulis pada subbab 2.1.
- b. Mencari nilai arus pick up rele dengan rumus :

$$I_{\text{pick up}} = \frac{I_f}{I_{\text{set primer}}} \dots\dots\dots (2.19)^{[5]}$$

- o Namun sebelumnya menentukan nilai arus nominal:

$$I_n = I_{\text{base}} = \frac{S_{\text{base}}}{\sqrt{3} V_{\text{base}}} \dots\dots\dots (2.20)^{[5]}$$

- o Kemudian menentukan setting arus sekunder :

$$I_{\text{set sekunder}} = I_{\text{set primer}} \times \frac{1}{\text{RATIO CT}} \dots\dots\dots (2.21)^{[5]}$$

- o Rasio CT ditentukan dari arus nominal peralatan atau dari kabel pada umumnya.

$$\text{RATIO CT} = \frac{\text{primer}}{\text{sekunder}} \dots\dots\dots (2.22)^{[5]}$$

- o Dan untuk menentukan Setting arus sekunder, setting OCR, If diambil arus gangguan 3 fasa atau 2 fasa terbesar dan Setting GFR, If diambil arus gangguan 1 fasa ketanah terkecil^[14]

1. Setting OCR, I set diambil 1,05 sd 1,3 dari I beban



2. Setting GFR, I set diambil 6 % sd 12 % dari If fasa terkecil
- c. Menentukan setting waktu sesuai dengan karakteristik rele arus lebih *normally inverse* yaitu terlihat pada Tabel 2.1 standarisasi PLN 2005.^[5]

Tabel 2.1 Konstanta Karakteristik rele arus lebih^[5]

No	Deskripsi	K	C	α
1	Definit time	-	0 - 100	-
2	Standart inverse	0,14	0	0,02
3	Very inverse	13,5	0	1
4	Extremely inverse	80	0	2
5	Long time inverse	120	0	1

Maka setting waktunya :^[14]

$$t = Tms \times \frac{k}{\left(\frac{I_{\text{fault}}}{I_{\text{set OCR}}}\right)^{0,02} - 1} \dots\dots\dots (2.23)^{[14]}$$

Keterangan :

t = waktu setelan *Over Current Relay* (OCR)

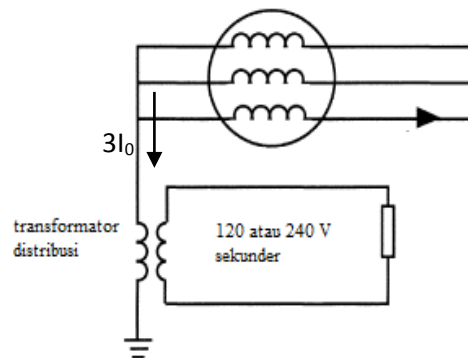
Tms =Setelan Waktu/*Time Multiple Setting*

$I_{\text{set OCR}}$ = Arus Setting OCR

K =Konstanta standar invers (0,14)

2. Koordinasi rele arus lebihGangguan tanah

Cara koordinasi relei arus lebih gangguan tanah, pada prinsipnya sama dengan cara koordinasi relai arus lebih fasa apakah dari jenis definit timie relay dan inverse time relay. tetapi perlu dipahami bagaimana mendeteksi arus gangguan tanah.^[14]



Gambar 2.22 Gangguan tanah

Sesuai dengan gambar dapat dijelaskan sebagai berikut :^[14]

- Arus gangguan tanah ($3I_0$) selalu masuk ke rele gangguan tanah (*Ground Fault*), baik yang diperoleh dari resultante ketiga arus fasa maupun dari current transformers (CT) netral.
- Besarnya nilai arus $3I_0$ tergantung pada tahanan pentanahan netral.
- Bila tahanan pentanahan mempunyai nilai yang besar kurva arus pada karakteristik inverse akan landai dan tidak memberikan waktu yang lebih cepat dan selektifitas mungkin dapat terganggu. Bila terdapat hal seperti ini setelan rele dipilih karakteristik invers yang sesuai dengan kurva arus tersebut (supaya lebih curam). Resultance ketiga arus fasa maupun dari *current transformer* (CT) netral.
- Besarnya nilai arus $3I_0$ tergantung pada pentanahan netral.
- Dengan pentanahan langsung, kurva arus gangguan menjadi curam sehingga selektifitas tidak terganggu, setelan rele dengan mempergunakan karakteristik inverse, dapat menekan komulasi waktu dan rele gangguan fasa dapat mengamankan gangguan tanah.