



---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Dasar-Dasar Sistem Proteksi

Sistem proteksi atau pengaman suatu tenaga listrik yang membantu suatu pola pengaman tidak hanya rele pengaman saja tetapi juga Trafo Arus (*Current Transformer*) dan Trafo Tegangan (*Voltage Transformer*) yang merupakan sumber informasi dari rele pengaman. Sumber daya (*DC Supply*) yang merupakan sumber untuk mengoperasikan rele pengaman dan pemutus tenaga (*Circuit Breaker*) yang akan menerima perintah akhir dari rele pengaman.

Sistem proteksi atau pengaman tenaga listrik adalah suatu kesatuan antara komponen yang saling berhubungan dan bekerja sama-sama untuk tujuan dalam mengatasi permasalahan yang terjadi yang disebabkan oleh gangguan-gangguan yang terjadi dalam sistem operasi komponen peralatan pengaman.

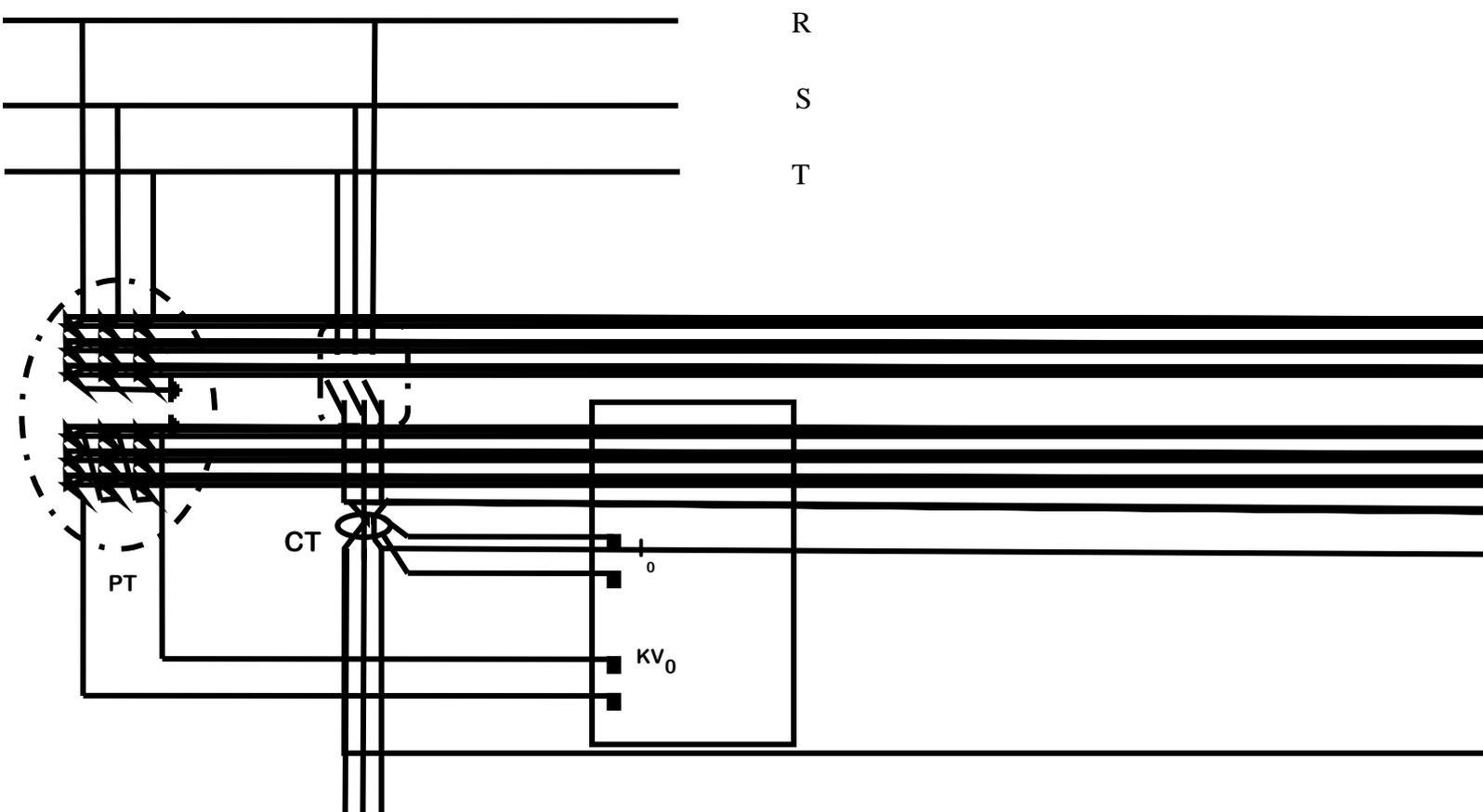
#### 2.2 Rele Proteksi

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

Rele proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan ataupun mengukur adanya gangguan atau merasakan adanya ketidaknormalan pada peralatan atau bagian sistem tenaga listrik dan secara otomatis memberi perintah untuk membuat pemutus tenaga untuk memisahkan peralatan atau bagian dari sistem yang terganggu dan memberi syarat berupa lampu dan bel. Rele proteksi dapat merasakan atau melihat adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang



diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya. Dengan besaran yang telah ditentukan 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 lainnya tetap dapat beroperasi secara normal.



## Beban

Gambar 2.1. Rele Proteksi<sup>[1]</sup>

### 2.2.1 Fungsi Rele Proteksi

Rele proteksi berfungsi menunjukkan lokasi dan macam gangguannya. Dengan data tersebut memudahkan analisa dari gangguannya. Dalam beberapa hal rele hanya memberi tanda adanya gangguan atau kerusakan, jika dipandang dari gangguan atau kerusakan tersebut yang tidak membahayakan maka rele proteksi pada sistem tenaga listrik berfungsi untuk :

- 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 lain yang tidak terganggu didalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- c. Memperkecil bahaya bagi manusia.<sup>[2]</sup>

### 2.2.2 Syarat-Syarat Rele Proteksi

Adapun syarat-syarat rele proteksi yang harus dipenuhi yaitu :

#### a. Kepekaan (*sensitivity*)

Padaprinsipnyareleharuscukupkasehinggadapatmendeteksigangguan dikawasan pengamanannyameskipun dalam kondisi yang memberikan rangsangan yang minimum. Rangsangan minimum ini, biasanya terjadi saat penghantar

---

[<sup>1</sup>] PT. PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur. *Triping Relei Incoming Akibat Kerlambatan Sistem Proteksi Pada Penyulang*. (<http://dc225.4shared.com/doc/nMOGiqY9/preview.html>). Diakses 13 mei.

[<sup>2</sup>] Hazairin Samaulan, 2004, *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Unsri. (hal 2-4)



udara tersentuh pohon (karena tahanan pohon besar). Bila 1 fasa (fasa R) tersentuh pohon, arus gangguan 1 fasa ketanah dapat menjadi kecil (lebih kecil dari penghantar udara langsung terkena tanah).

**b. Keandalan (*reliability*)**

Ada 3 aspek dalam keandalan (*reliability*) yaitu :

**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 bekerja. Dengan lain perkataan *dependability*-nya harus tinggi.

**2. *Security***

Yaitu tingkat kepastian untuk tidak salah kerja (keandalan untuk tidak salah kerja). Salah kerja adalah kerja yang semestinya tidak harus kerja, misalnya kar enalokasi gangguan diluar kawasan pengamanannya atau samasekali tidak ada gangguan, atau kerja yang terlalu cepat atau terlalu lambat.

**3. *Availability***

Yaitu perbandingan antara waktu dimana pengaman dalam keadaan siap kerja (*actually in service*) dan waktu total operasinya.

**c. Selektifitas (*selectivity*)**

Pengaman harus dapat memisahkan bagian sistem yang terganggu sekecil mungkin yaitu hanya seksi yang terganggu saja yang menjadi kawasan pengamanan utamanya. Pengaman sedemikian disebut pengaman yang selektif. Jadi rele harus dapat membedakan apakah gangguan terletak dikawasan pengamanan utamanya di mana ia harus bekerja cepat atau terletak di seksi berikutnya di mana ia harus bekerja dengan waktu tunda atau harus tidak bekerja sama sekali karena



gangguannya diluar daerah pengamanannya atau sama sekali tidak ada gangguan.

#### d. Kecepatan (*speed*)

Untuk memperkecil kerugian atau kerusakan akibat gangguan, maka bagian yang terganggu harus dipisahkan secepat mungkin dari bagian sistem lainnya. Untuk menciptakan selektivitas yang baik, maka kita sajikan suatu pengamanan terpaksa diberi waktu tunda (*time delay*). Antara pengamanan yang terpasang namun waktu tunda itu harus secepat mungkin, setelah waktu minimum yang diset ke rele untuk menghindari *thermal stress*.<sup>[3]</sup>

### 2.2.3 Jenis-Jenis Rele Proteksi

a. Berdasarkan besaran input :

1. Arus (I) : Rele arus lebih (OCR)
2. Rele arus lebih (UCR)
3. Tegangan (U) : Rele tegangan lebih (OVR)
4. Rele tegangan kurang (UVR)
5. Frekuensi (f) : Rele frekuensi lebih (OFR)
6. Rele frekuensi kurang (UFR)
7. Daya (P; Q): Rele daya max/min
8. Rele arah/ *Direction*
9. Impedansi (Z) : Rele jarak (*Distance*)

<sup>[3]</sup> Wahyudi sarimun. 2012. *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Bekasi : Garamond (hal 10-12)



10. Beda arus : Rele diferensial

11. Rele gangguan tanah (GFR)

b. Berdasarkan karakteristik waktu kerja

1. Seketika (*instant* atau *Moment* atau *high speed*), rele arus lebih yang tidak mempunyai waktu tunda atau waktu kerja sesaat. Rele bekerja pada gangguan yang paling dekat dengan lokasi dimana rele terpasang atau dibedakan berdasarkan level gangguan secara lokasi sistem.

2. Penundaan waktu (*time delay*) : *Definite time relay*, adalah rele dimana waktu tundanya tetap, tidak tergantung pada besarnya gangguan telah melebihi arus settingannya berapa besarnya arus gangguan rele akan bekerja dengan waktu yang telah tetap.

3. *Inverse time relay*, adalah rele dimana waktu tundanya mempunyai karakteristik tergantung pada besarnya arus gangguan. Jadi semakin besar arus gangguan maka waktu kerja rele semakin cepat, arus gangguan berbanding terbalik dengan waktu kerja rele.

4. Kombinasi instant dengan tunda waktu.

c. Berdasarkan jenis kontak

1. Rele dengan kontak dalam keadaan normal terbuka (*normally open contact*).

2. Rele dengan kontak dalam keadaan normal tertutup (*normally closed contact*).

d. Berdasarkan prinsip kerja

### **Tipe Elektromekanis**

1. Tarikan magnet

a. *Tipe Plunger* apabila kumparan diberi arus melebihi nilai *pick upnya*, maka plunger akan bergerak keatas dan terjadi penutupan



kontak. Gaya yang ditimbulkan sebanding dengan kwadrat arus pada kumparan. Rele ini mempunyai waktu kerja yang cepat sehingga banyak digunakan sebagai *rele instantaneos*.

b. *Tipe hinged*

*armature* bila kumparan diberi arus, maka lengan akan tertari sehingga ujung lengan yang lain akan menggerakkan kontak. gaya elektromagnetik juga sebanding dengan kwadrat arus kumparan. Tipe ini banyak digunakan sebagai rele bantu, karena mempunyai kontak yang banyak dan kontakannya mempunyai kapasitas pemutusan arus yang lebih besar.

c. *Tipe tuas* seimbang tipe ini terdiri dari dua kumparan yaitu kumparan kerja dan penahan. Dalam keadaan seimbang dimana

gaya pegas diabaikan maka  $\frac{I_1}{I_2} = k$  (Konstanta) bila  $\frac{I_1}{I_2}$  lebih besar dari k maka rele akan buka kontak tipe ini banyak digunakan sebagai rele diferensial dan rele jarak.

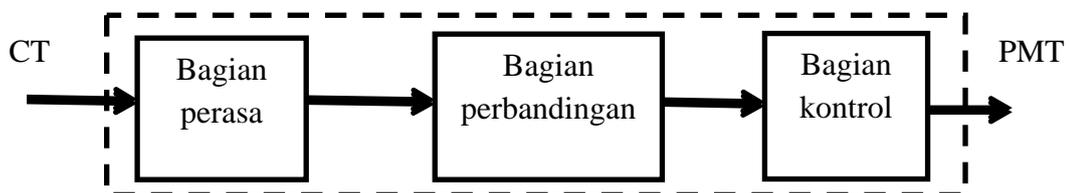
2. Indikasi

1. Tipe *shaded pole* terjadi beda sudut fasa antara fluk (2) dengan fluk (1) kedua fluk ini akan menginduksikan arus pusar pada piringan interaksi antara kedua fluk tersebut akan menimbulkan torsi dan menggerakkan piringan karena kontak gerak dipasang pada poros maka kontak akan menutup.
2. Tipe *kilowatt-hour* (KWH) interaksi antara fluk u terhadap fluk yang diperoleh dari arus pusar yang diinduksikan pada piringan akan menggerakkan piringan untuk berputar putaran ini akan menutup kontak umumnya karakteristik tunda waktunya adalah *inverse*.

3. Tipe mangkok (*induction Cup*) mempunyai prinsip yang sama seperti motor induksi. Terdapat rotor aluminium berbentuk silinder tersebut dapat berputar pada silinder dipasang kontak gerak dan dapat menutup kontak ke kiri atau ke kanan.<sup>[4]</sup>

#### 2.2.4 Bagian Umum Rele Proteksi

Rele proteksi umumnya terdiri dari tiga bagian yaitu :



Gambar 2.2 Bagian umum dari sistem proteksi<sup>[5]</sup>

Keterangan :

1. Bagian perasa (*sensing element*)

Pada bagian ini, perubahan dari besaran ukur yang diraskan selanjutnya diteruskan kebagian pembanding.

2. Bagian pembanding (*comparing element*)

Yang akan membandingkan dan menentukan apakah besaran ukur itu masih dalam keadaan normal atau tidak.

3. Bagian *control*

Pada bagian ini pembukaan *circuit breaker* (PMT) atau pemberi tanda atau signal diatur dan dilaksanakan.<sup>[6]</sup>

<sup>[4]</sup> Sutrisno, 2013. *Relay Gangguan Tanah*, (<http://sutris0790.blogspot.com/>, diakses 15 mei 2014).

<sup>[5]</sup> Hazairin Samaulan, 2004, *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri. hal 70.

<sup>[6]</sup> Hazairin Samaulan, 2004, *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri. hal 70.



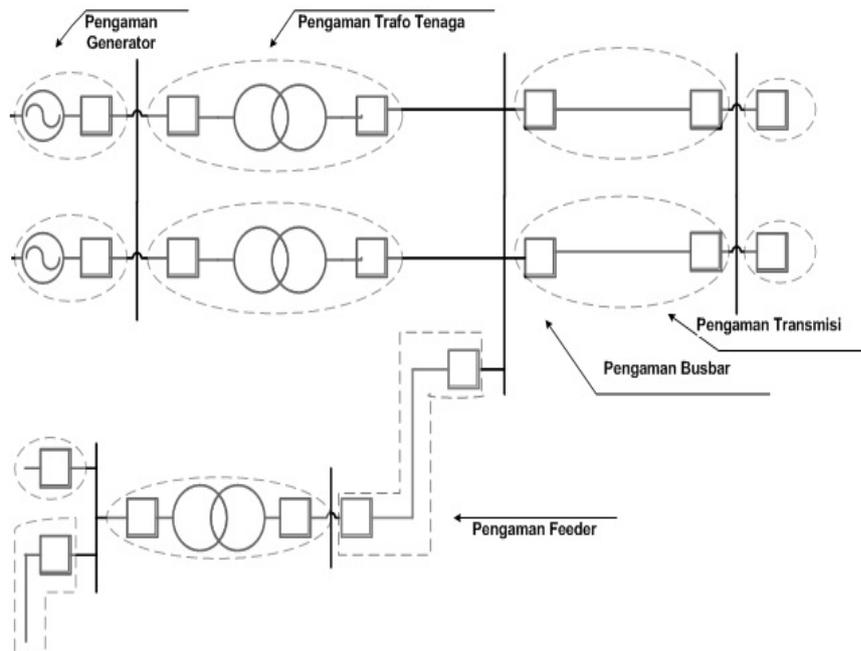
### 2.3 Daerah Pengaman (*Protection Zone*)

Untuk mendapatkan daerah pengaman yang cukup baik di dalam sistem tenaga listrik dibagi di dalam suatu daerah pengaman yang cukup dengan pemutusan subsistem seminim mungkin.

Sistem tenaga listrik yang dibagi dalam daerah pengaman adalah :

1. Generator
2. Transformator Daya
3. Transmisi
4. Distribusi

Pembagian daerah pengaman dilaksanakan saling meliputi daerah pengaman didekatnya (*overlapping*). Sebagai contoh sistem tenaga listrik dan daerah pengaman dapat ditunjukkan pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Daerah pengaman sistem tenaga listrik<sup>[7]</sup>

Daerah pengaman yang ditunjukkan gambar diatas adalah daerah jangkauan dari rele pengaman utama, yang berarti rele pengaman utama yang mendeteksi adanya gangguan hubung singkat dan meneruskan sinyalnya untuk memutuskan rangkaian dengan pemutus beban (*circuit breaker*). Bila rele pengaman utama gagal melaksanakan tugasnya, maka harus ada rele pengaman kedua untuk menggantikan atau meneruskan fungsi pengamanan. Rele pengaman kedua itu disebut *back up relays*. Rele pengaman kedua tersebut dapat dipasang pada suatu titik lokasi dengan rele pengaman utama atau dapat juga dengan relepengaman yang terletak di sisi selanjutnya yang berdampingan (ditempatkan pada lokasi atau stasiun yang berlainan).

<sup>[7]</sup> Hazairin Samaulan, 2004, *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri. hal 12



Sebagai contoh dari penempatan suatu tempat dari rele pengaman utama dan *back up relays* ini adalah pada *pilot relay*, sedangkan untuk hal kedua pada *distance* rele untuk SUTT. Sehingga *back up relays* mempunyai daerah jangkauan yang saling meliputi.<sup>[8]</sup>

### 2.3.1 Pengaman Generator

Bagian hulu dari sistem tenaga listrik adalah generator yang terdapat dipusat listrik dan digerakan oleh mesin penggerak mula (*primamover*). Mesin penggerak dalam Pusat Listrik berkaitan erat dengan instalasi mekanis dan instalasi listrik dari Pusat Listrik. Generator sebagai sumber energi listrik dalam sistem perlu diamankan jangan sampai mengalami kerusakan.

Pengaman generator secara garis besar terdiri dari :

1. Pengaman terhadap gangguan diluar generator, yaitu gangguan dalam sistem yang dihubungkan dengan generator.
2. Pengaman terhadap gangguan yang terjadi didalam generator.
3. Pengaman terhadap gangguan dalam mesin penggerak yang memerlukan pelepasan pemutus tenaga (PMT) generator.<sup>[9]</sup>

### 2.3.2 Pengaman Transformator Tenaga

Pengaman transformator terdiri dari :

- a. Pengaman terhadap gangguan diluar transformator.
- b. Pengaman terhadap gangguan di dalam transformator.

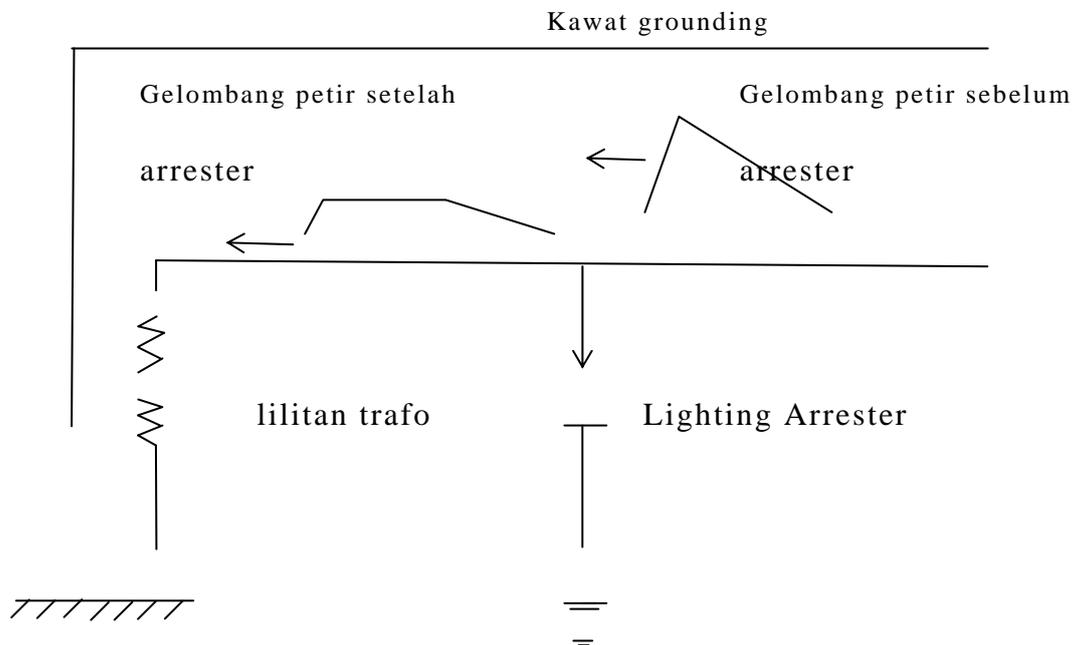
Transformator digardu induk pada umumnya berhubungan dengan rel dan relang yang berhubungan dengan saluran transmisi sedangkan saluran transmisi kebanyakan adalah saluran udara yang jumlah gangguannya tinggi maka kemungkinan bahwa transformator mendapat gangguan karena gangguan disalurkankan transmisi adalah lebih besar daripada

<sup>[8]</sup> Hazairin Samaulan, 2004, *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri. hal 11-14)

<sup>[9]</sup> Marsudi, djiteng, 1990, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta Selatan : Balai Penerbitan & Humas ISTN. hal 324-325

agenerator. Petir yang banyak menyambar saluran udara setelah menjalar di saluran udara kemudian menuju transformator tetapi terlebih dahulu akan di “potong” oleh *lightning arrester*.

Walaupun gelombang petir telah di “potong” oleh *lightning arrester* dan isolasi transformator telah diperhitungkan terhadap gelombang petir yang terpotong, namun hal ini tetap menimbulkan “*stress*” di dalam isolasi transformator. Apabila pemotongan gelombang ini oleh *lightning arrester* kurang sempurna maka gelombang petir ini bisa lebih besar yang sampai di transformator dan dapat menjebolkan isolasi lilitan transformator dan akhirnya menimbulkan gangguan pada transformator. Gangguan ini merupakan gangguan di dalam transformator yaitu apabila disebabkan hubungan singkat tuse sesungguhnya disebabkan gangguan luar (petir) yang mengalir ke dalam transformator. Proses ini mungkin juga tidak bersifat seketika artinya tidak seketika ada petir yang menyambar saluran udara lalu transformator yang arrester nya kurang baik langsung jebol isolasinya. Hal ini tentu saja tergantung kepada seberapa jauh arrester berkerja “kurang baik”.

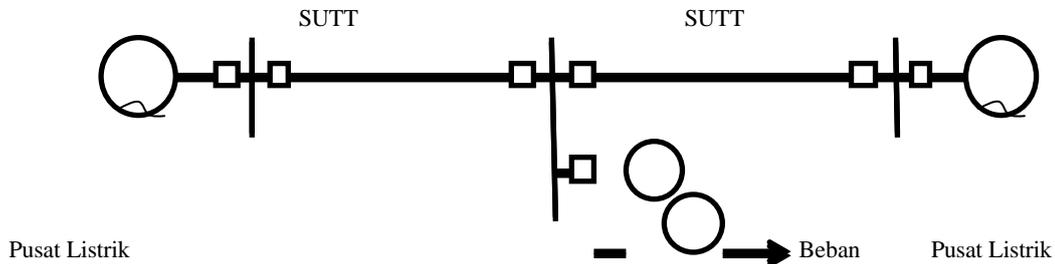


Gambar 2.4 Gelombang petir dipotong oleh *Lighting Arrester* [10]

[10] Marsudi, djiteng, 1990, *Operasi Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta Selatan : Balai Penerbitan & Humas ISTN. Hal 331.

### 2.3.3 Pengaman Transmisi

Saluran udara tegangan tinggi (SUTT) adalah bagian dari sistem yang paling banyak mengalami gangguan. Hal ini menyebabkan masalah pengamanan SUTT merupakan masalah yang paling sulit dalam pengamanan sistem tenaga listrik. Gangguan pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) lebih dari 90% bersifat temporer dan pada umumnya masalah koordinasi pengamanan (selektivitas) merupakan persoalan yang menonjol dalam masalah pengamanan SUTT. Pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) radial dalam sistem yang sederhana pengamanan dapat dilakukan dengan menggunakan rele arus lebih saja, tetapi jika sistem berkembang lebih besar maka penggunaan rele arus lebih saja akan menemui kesulitan karena timbulnya akumulasi waktu.



Gambar 2.5 SUTT dengan sumber daya di kedua ujungnya.<sup>[11]</sup>

Kelemahan ini dapat dikurangi apabila dipakai *power directional relay* (relai daya terarah) yang hanya bekerja apabila gangguan terjadi di depan pemutus tenaga (PMT). Penggunaan *power directional relay* ini dapat mengurangi jumlah rele yang

<sup>[11]</sup>Marsudi, djiteng. 1990. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan : Balai Penerbitan & Humas ISTN. Hal 333.



---

tidak perlu berkerja apabila terjadi gangguan pada salah satu seksi saluran udara tegangan tinggi (SUTT), namun belum bisa menjamin bahwa pemutus tenaga (PMT) bagian yang terganggu yang berkerja.[<sup>12</sup>]

#### 2.3.4 Pengaman Distribusi

Sistem pengaman (*protection system*) bertujuan untuk mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan beserta peralatannya, dan keselamatan umum yang disebabkan karena gangguan dan meningkatkan kelangsungan pelayanan pada konsumen.

Cara, macam dan tingkat pengamanan yang diterapkan tergantung pada banyak faktor, dan merupakan komposisi praktis yang memungkinkan untuk cukup memenuhi kebutuhan dan yang sebanding dengan biayanya. Macam dan karakteristik beban sangat mempengaruhi perencanaan “pengamanan” dan macam dan karakteristik beban pulalah yang banyak menentukan perencanaan suatu sistem distribusi. Untuk daerah padat beban dipusat perkantoran misalnya, jaringan yang dibutuhkan adalah kabel tanah dengan sistem tertutup, dan dengan demikian layak untuk dipergunakan pengamanan yang lebih tinggi tingkatnya dan lebih mahal, sebaliknya untuk daerah luar kota pada umumnya yang kepadatan bebannya rendah, jaringan yang diperlukan cukup saluran udara radial, dengan pengamanan yang lebih sederhana dan murah, sesuai tingkat keandalan yang masih dapat diterima pemakaiannya. Jadi, perencanaan suatu sistem pengamanan pada hakekatnya tidak dapat dipisahkan, melainkan harus sudah terpadu (*integrated*) dalam perencanaan sistem distribusinya.

Pelaksanaan dari tugas pengamanan, bila diperinci lebih lanjut adalah sebagai berikut :

1. Melakukan kordinasi dengan sisi tegangan tinggi (Gardu induk, Transmisi dan Pembangkit).
2. Mengamankan peralatan dari kerusakan karena arus lebih.

---

[<sup>12</sup> ] Marsudi, djiteng. 1990. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan : Balai Penerbitan & Humas ISTN. Hal 333-334.



3. Secepatnya membebaskan pemadamam karena gangguan.
4. Membatasi daerah yang mengalami pemadaman.
5. Mengurangi frekuensi pemutusan tetap karena gangguan.

### 2.3.5 Macam-Macam Alat Pengaman

1. Pengaman lebur (*Fuse*)

Merupakan pengaman bagian dari saluran dan peralatan dari gangguan hubungan singkat antar fasa. (dapat pula sebagai pengaman hubungan tanah bagi sistem yang ditanahkan langsung dan bagian peralatan pada sistem dengan tahanan rendah).

2. Rele arus lebih (OCR)

Merupakan pengaman utama sistem terhadap gangguan hubung singkat antar fasa (dan hubungan tanah bagi sistem yang ditanahkan langsung).

3. Rele gangguan tanah (GFR)

Pengamanan utama terhadap gangguan hubung tanah bagi sistem yang ditanahkan langsung dan ditanahkan dengan tahanan rendah maupun tahanan tinggi

4. *Recloser*

Pengaman pelengkap untuk membebaskan gangguan yang bersifat temporer.

5. Pemisah manual

Alat pemutus untuk alat pemutus untuk mengurangi daerah yang padam karena gangguan dan mengurangi lamanya pemadaman.



6. AS (*Automatic Sectionalizer*)

Alat pemutus otomatis untuk mengurangi atau membatasi daerah yang padam karena gangguan.

7. Indikator gangguan merupakan untuk mempercepat lokalisasi gangguan.<sup>[13]</sup>

Peralatan bantu untuk pengaman , terdiri dari :

1. Transformator arus merupakan pengaman sistem dari gangguan dan meneruskan arus dari sirkit sistem tenaga listrik ke sirkit rele.
2. Rele pengaman merupakan sebagai elemen perasa yang *signal* nya diperoleh dari trafo arus.
3. Pemutus tenaga merupakan sebagai pemutus arus untuk mengisolir sirkit terganggu.
4. Baterai atau *accumulator* merupakan sebagai sumber tenaga untuk memutuskan pemutus tenaga (PMT).<sup>[14]</sup>

#### 2.4 Dasar-Dasar Kegagalan Pada Sistem Proteksi

Penyetelan yang memenuhi semua kriteria diatas adakalanya sulit dicapai, yaitu terutama antara selektif dan cepat sehingga adakalanya harus diadakan kordinasi. Sistem proteksi tidak dapat sempurna walaupun sudah diusahakan pemilihan jenis rele yang baik dan penyetelan yang baik. Tetapi adakalanya masih gagal bekerja. Hal yang menimbulkan kegagalan pengaman dapat dikelompokan sebagai berikut :

1. Kegagalan rele itu sendiri

<sup>[13]</sup>Hazairin Samaulan, 2004, *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri hal : 93-116.

<sup>[14]</sup>Wahyudi Sarimun, 2012, *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Bekasi : Garamol, hal 13-28.



- 
2. Kegagalan pada rangkaian suplai dari trafo arus atau tegangan ke rele tersebut terbuka atau terhubung singkat.
  3. Kegagalan sistem suplai arus searah untuk tripping pemutus tenaga. Hal ini dapat disebabkan baterai lemah karena kurang perawatan.
  4. Kegagalan pada pemutusan tenaga . kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan elektromagnetik tidak menerima suplai, kerusakan mekanis ataupun kegagalan pemutusan arus karena besarnya arus hubung singkat melampaui kemampuan dari pemutus tenaga.

Dengan demikian pengamanan menurut fungsinya dapat dikelompokkan menjadi :

1. Pengaman utama yang pada umumnya selektif dan cepat dan pengaman jenis tertentu mempunyai sifat selektif mutlak misalnya rele diferensial.
2. Pengaman cadangan umumnya mempunyai perlambatan waktu hal ini untuk memberikan kesempatan pada pengaman utama gagal, baru pengaman cadangan bekerja dan rele ini tidak seselektif pengaman utama.

Pada pengaman cadangan dapat dikelompokkan menjadi dua macam yaitu :

1. Pengaman cadangan setempat yang berfungsi menginformasikan adanya gangguan tersebut kepada seluruh pemutus tenaga (PMT) yang terkait dengan kegagalan sistem proteksi sehingga pemutus tenaganya tidak terbuka.
2. Pengaman cadangan

Dalam hal ini bila terdapat suatu kegagalan pada pengaman maka pengaman disisi hulunya harus dapat mendeteksi dan kemudian bekerja dengan suatu perlambatan waktu. Disamping hal diatas pada sistem pengamanan kita kenal disebut daerah pengamanan (*Protection Zone*) dalam hal ini semua komponen peralatan dalam sistem tenaga listrik harus termasuk didalam daerah pengamanan sehingga tidak ada daerah yang mati. Dalam



menentukan kaidah penyetelan rele kesemua hal diatas menjadi suatu pertimbangan. Mengingat pada sistem distribusi pengamananya hanyalah rele arus lebih maka setiap rele berfungsi pengaman utama di daerahnya dan sebagai pengaman utama didaerahnya dan sebagai pengaman cadangan di seksi berikutnya sehingga jangkuan rele ini harus dapat mencapai satu seksi berikutnya dalam keadaan gangguan yang minimum.

Kekeliruan dalam perencanaan sistem pengaman pada sebagai sistem sedikit banyak akan mempengaruhi kinerja dari sistem. Hal-hal yang menentukan dalam perencanaan dan operasi guna menghindari gangguan adalah :

1. Kekuatan isolasi yang cukup.
2. Tahanan isolasi dengan kemampuan *lighting arrester*.
3. Menggunakan pelindung penghantar tanah (*ground wire*) dan tahanan kontak ke tanah dari menara ya terendah.
4. Merencanakan kekuatan mekanis.
5. Operasi dan perawatan yang sesuai.

#### **2.4.1 Perencanaan Rele Pengaman**

Perencanaan rele pengaman adalah salah satu dari perencanaan sistem untuk memperkecil kerusakan peralatan dan interupsi penyaluran bila gangguan terjadi. Bila kita menyebutkan rele pengaman, berarti melibatkan peralatan lain untuk membantu memperkecil kerusakan dan memperbaiki pelayanan. Oleh sebab itu kemampuan dan pemakaian yang memerlukan peralatan rele pengaman harus dipertimbangkan bersama-sama dengan hal lainnya.

##### **A. Perencanaan untuk mengurangi pengaruh gangguan listrik**

1. Merencanakan untuk membatasi arus hubungan singkat.



1. Dengan menghindari konsentrasi pembangkitan yang besar.
  2. Dengan menggunakan impedansi pembatas arus.
2. Merencanakan kemampuan tekanan mekanis dan pemanasan karena hubung singkat.
  3. Waktu tegangan pada peralatan *under voltage* di pemutus beban untuk menghindari lepasnya beban karena kedip tegangan sesaat.
- B. Perencanaan pengamanan peralatan dari gangguan.
1. Rele pengaman.
  2. Pemutus beban dengan kapasitas pemutus yang cukup.
  3. *Fuse*.
  4. *Recloser*
- C. Perencanaan untuk mengurangi pengaruh pemutusan peralatan yang terganggu.
1. Saluran alternatif.
  2. Cadangan kapasitansi generator dan transformator tenaga.
  3. Penutupan stabilitas dari generator.
- D. Perencanaan operasi untuk mempertahankan tegangan dan stabilitas selama keadaan abnormal.
1. Pengaturan tegangan secara otomatis.
  2. Karakteristik stabilitas dari generator.
- E. Peralatan untuk mengamati secara efektif.
1. *Oscillograph* otomatis



---

2. Pengaman manusia yang efisien dan *recording*.

F. Penelitian keadaan sistem yang berubah atau diperluas apakah masih cukup atau memadai.<sup>[15]</sup>

## 2.4.2 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

### A. Gangguan beban lebih

Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus-menerus berlangsung dapat merusak peralatan listrik yang dialiri oleh arus tersebut. Hal ini disebabkan karena arus yang mengalir melebihi dari kemampuan hantar arus dari peralatan listrik, dimana pengaman listrik (*relay*, *miniature circuit breaker* (MCB), atau *fuse*) yang terpasang arus pengenalnya atau penyetelannya melebihi kemampuan hantar arus peralatan listrik. Beban lebih dapat terjadi karena peningkatan beban pada generator, trafo tegangan atau penghantar listrik.

### B. Gangguan hubung singkat

Gangguan hubung singkat, dapat terjadi antara lain:

1. Gangguan hubung singkat 3 fasa
2. Gangguan hubung singkat 2 fasa
3. Gangguan hubung singkat 1 fasa-ket tanah
4. Gangguan hubung singkat 2 fasa-ket tanah

Adapun sifat gangguan hubungan singkat yaitu :

1. Gangguan permanen

---

<sup>[15]</sup> Hazairin Samaulan, 2004, *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri, hal : 8-10.



Gangguan hubung singkat permanen, bisa terjadi pada kabel dan pada belitan trafo tegangan yang disebabkan karena gangguan hubung singkat antar fasa atau fasa-tanah, sehingga penghantar menjadi panas yang berpengaruh pada isolasi tembus.

## 2. Gangguan temporer

Gangguan ini biasanya terjadi pada saluran udara tegangan menengah yang tidak mempergunakan isolasi, antara lain :

1. Disebabkan karena adanya sambaran petir pada penghantar listrik yang tergelar di udara (saluran udara tegangan menengah) yang menyebabkan *flashover* antara penghantar melalui isolator.
2. Penghantar tertiuap anging atau menyentuh pohon dapat menimbulkan gangguan fasa ke tanah.

## C. Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih terjadi akibat adanya kelainan pada sistem tenaga listrik, antara lain :

1. Tegangan lebih dengan *power frekuensi*. Misalkan apabila pembangkit kehilangan beban yang diakibatkan adanya gangguan pada sisi jaringan, sehingga *overload* pada generator. Tegangan lebih ini dapat juga terjadi adanya gangguan pada pengatur tegangan secara otomatis yang terpasang pada generator (*Automatic Voltage Regulator*)
2. Tegangan lebih *transient* karena adanya sambaran petir yang mengenai peralatan listrik disebut surja petir atau saat pemutus tenaga (PMT) terbuka karena adanya gangguan listrik yang menimbulkan kenaikan tegangan.

## D. Gangguan ketidak stabilan

Gangguan ketidak stabilan sistem disebabkan karena adanya gangguan hubung singkat yang terjadi pada sistem tenaga listrik, dapat menimbulkan ayunan



---

daya (*power swing*) atau menyebabkan unit-unit pembangkit lepas sinkron, ayunan dapat menyebabkan salah kerja rele.

Atau dapat juga karena gangguan listrik pada pasokan listrik ke beban yang memutuskan pengaman yang terpasang di penghantar, sehingga generator mengalami kenaikan putaran sehingga dapat menaikkan tegangan dan frekwensi bila governor tidak merespon dengan dapat untuk menutup bahan bakar, maka *over voltage rele* atau *over frekwensi* yang terpasang di generator bekerja.

## 2.5 Sistem Pentanahan

Gangguan satu fasa ke tanah sangat tergantung dari jenis pentanahan dan sistemnya. Gangguan satu fasa umumnya bukan merupakan hubungan secara metalik tetapi melalui tahanan gangguan, sehingga arus gangguan yang sudah dibatasi, dengan adanya tahanan gangguan menjadi semakin kecil. Dengan demikian rele gangguan antar fasa tidak berfungsi. Oleh karena itu harus dipasang rele gangguan tanah secara khusus dan disesuaikan dengan sistem pentanahannya. Misalnya gangguan satu fasa ketanah karena pohon atau petir. Dalam hal gangguan ini karena pohon yang bersentuhan langsung dengan penghantar dapat menyebabkan tahanan tinggi, dengan demikian arus gangguannya menjadi kecil. Supaya rele gangguan tanah ini dapat peka maka penyetelannya harus sekecil mungkin. Tetapi kita ketahui bahwa pada saat terjadinya gangguan satu fasa ketanah pada penyulang yang tidak terganggu juga akan mengalir arus kapasitansi ketanah yang tergantung panjang serta jenis jaringannya. Arus kapasitansi inilah yang membatasi penyetelannya, terutama pada pengaman yang hanya menggunakan rele gangguan tanah saja, yaitu pada sistem dengan pentanahan tahanan rendah. Tinjauan *setting rele* gangguan tanah terutama ditunjukkan pada sistem distribusi tegangan menengah.

### 2.5.1 Sistem Pentanahan Mengambang

Pada sistem ini besarnya arus gangguan suatu fasa ketanah relatif sangat



kecil tetapi terjadi kenaikan tegangan. Bila sistemnya menggunakan rele tegangan urutan nol, rele ini tidak boleh bekerja bila terjadi pergeseran tegangan pada keadaan normal.

### 2.5.2 Sistem Pentanahan Dengan Tahanan Tinggi

Pada sistem ini arus gangguan satu fasa ketanah resistif bila gangguannya membalik sedangkan kenyataan gangguan satu fasa ketanah selalu melalui tanahan sehingga arus ganggunya dapat jauh lebih kecil, dengan demikian arus gangguannya dapat tidak jauh berbeda besarnya dengan arus kapasitansi ke tanah. Artinya arus kapasitansi ketanah tidak dapat diabaikan terhadap arus resistif dan arus gangguannya masih sangat digunakan hanya rele gangguan tanah. Adapun rele yang digunakan ialah rele gangguan tanah berarah. Rele ini merupakan rele berarah yang sangat sensitif dengan karakteristik waktu tertentu. Setting minimum rele gangguan tanah ini adalah 1A di sisi primer, jadi sangat sensitif. Jika arus gangguan  $I_f$  minimum yang masih bisa menyebabkan rele gangguan tanah dapat bekerja adalah 0,06 sampai dengan  $0,1 \times I_{set}$  maka tahanan  $R_f$  maksimum yang masih menyebabkan rele bekerja adalah kira-kira 8500 ohm.

### 2.5.3 Sistem Pentanahan Dengan Tahanan Rendah

Untuk Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) dimana arus kapasitansinya cukup besar, maka digunakan tahanan pentanahan 12 ohm atau arus resistifnya kira-kira 1000 A.

#### 1. Pengaman gangguan tanah pada SUTM

Arus gangguan tanah pada umumnya lebih kecil dari apa yang dinyatakan diatas, hal ini karena gangguan tanah praktik tidak metalik tetapi melalui tahanan tanah gangguan. Untuk dapat menampung adanya tahanan maka penyetelan rele ini ialah :



$$I_{set} = 10\% \times I_{ct} \dots\dots\dots(2.1)[^{16}]$$

Dimana :

$$I_{ct} = \text{Arus kapasitif (A)}$$

## 2. Pengaman gangguan tanah pada SKTM

Pada jaringan SKTM saat terjadi gangguan satu fasa ketanah akan mengalir arus kapasitif yang cukup besar, termasuk pada penyulang yang tidak terganggu. Sehingga pada saat menentukan penyetelan sebagai batasan penyetelan terendah ialah rele harus tidak bekerja pada saluran yang tidak terganggu. Dengan demikian penyetelan relenya ialah :

$$I_{set} = K_s \times I_{3ce} \dots\dots\dots(2.2)[^{17}]$$

Dimana :

$$I_{set} = \text{penyetelan arus gangguan tanah (A)}$$

$$K_s = \text{Faktor keamanan diambil 1,2-1,5}$$

$$I_{3ce} = \text{Arus kapasitif saluran yang terpanjang operasinya (A)}$$

### 2.5.4 Sistem Pentanahan Langsung

Penyetelan untuk pengaman gangguan tanah menggunakan rele gangguan tanah (GFR) pada sistem ini sama dengan pada sistem pentanahan dengan tahanan rendah, tetapi untuk sistem 4 kawat harus dipertimbangkan adanya arus penyetelan rele ini ialah :

[<sup>16</sup>] Hazairin Samaulan, 2004, *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri, hal : 73.

[<sup>17</sup>] Hazairin Samaulan, 2004, *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri, hal : 74.



$$I_{set} = K_s \times I_{ub} \dots\dots\dots(2.3)^{[18]}$$

Dimana :

$I_{set}$  = penyetelan arus gangguan tanah (A)

$I_{ub}$  = arus tidak seimbang yang mungkin timbul (A)

$K_s$  = faktor keamanan diambil 1,2-1,5

Pada jaringan pentanahan langsung arus gangguan cukup besar, maka kriteria penyetelan sama dengan rele gangguan antar fasa, tetapi batas minimum dapat lebih kecil dari arus beban nominal.

### 2.5.5 Sistem Pentanahan Titik Netral Transformator

#### 1. Titik netral ditanahkan melalui tahanan

Dalam pentanahan ini harga tahanan mempunyai harga ohm yang tinggi dibandingkan dengan reaktansi sistem sehingga arus *line to ground fault* dibatasi atau sistem kabel, arus kapasitif yang terjadi adalah kecil dibandingkan dengan arus resistif dan dapat diabaikan. Tetapi apabila terjadi *line to ground fault* terjadi kerugian tenaga yang besar pada resistor. Besarnya nilai ohm dari grounding resistor tergantung pada besarnya tegangan sistem dan kapasitasi sistem.

#### 2. Titik netral ditanahkan langsung (*solid grounding*)

Pentanahan ini ialah apabila titik netral dari trafo kita hubungkan langsung ketanah. Sistem ini apabila terjagi gangguan kawat tanah akan mengakibatkan terganggunya kawat (*line out age*) dan gangguan ini harus diisolasi dengan membuka pemutus daya. Salah satu tujuan untuk mentanahkan titik netral secara langsung adalah untuk membatasi kenaikan tegangan dari fasa-fasa yang tidak terganggu, bila terjadi gangguan kawat tanah.

<sup>[18]</sup> Hazairin Samaulan, 2004, *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri, hal : 76.



### 3. Titik netral ditanahkan melalui reaktansi

Sistem pentanahan ini ialah menggunakan suatu reaktansi. Harga reaktansi pentanahan ini antara  $X_0$  sampai tak terhingga. Untuk sistem ini persamaan dari pentanahan langsung juga berlaku pada pentanahan ini. Pentanahan reaktansi adalah pentanahan diluar efektif yaitu bila  $X_0$ ,  $3X_1$  dan tegangan yang tidak terganggu tidak melebihi  $1,73 E_{ph}$  kecuali harga  $X_0$  mempunyai harga negatif.

Keuntungan antara sistem pentanahan melalui reaktansi ini adalah :

1. Arus hubung singkat diperkecil
2. Tegangan fasa-fasa yang tak terganggu terbatas naiknya.
3. *Arcing grounding* tak membahayakan.

Dari beberapa pentanahan sistem di atas ada juga yang kita kenal dengan pentanahan secara efektif yaitu pentanahan dimana memenuhi persamaan :

$$\frac{X_0}{X_1} \leq 3 \text{ dan } \frac{R_0}{x_1} \leq 1 \dots\dots\dots(2.4)[$$

<sup>19]</sup>

Jaringan ini bisa termasuk pentanahan tanpa impedansi dan pentanahan dengan reaktansi yang rendah.

### 4. Pentanahan dengan *Peterson coil*

Pentanahan dengan *Peterson coil* ialah suatu pentanahan yang menggunakan suatu belitan induktif yang dapat diatur. Prinsip *Peterson coil* ialah sebagai berikut :

<sup>[19]</sup> Hazairin Samaulan, 2004, *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri, hal : 78.



Bila pada suatu sistem yang tidak ditanahkan tergantung oleh hubung singkat kawat tanah maka arus gangguan kapasitif tersebut akan kembali kesistem melalui titik gangguan itu. Suatu keadaan istimewa apabila dua macam arus gangguan yang sama besarnya tetapi berlawanan arahnya terjadi pada gangguan tersebut sehingga menghilangkan. Hal ini terjadi bila pada arus gangguan yang kapasitif itu ditambahkan arus yang induktif yang tertentu besarnya.

Adapun keuntungan dan kerugian *Peterson coil* yaitu :

a. Keuntungannya

1. Arus gangguan satu fasa ke tanah dapat dibuat kecuali sekali sehingga tidak berbahaya terhadap sistem dan dapat hilang sendiri tanpa operasi dari pemutusan daya.
2. Gejala *arcing ground* yang dapat berbahaya terhadap sistem (karena menghasilkan tegangan lebih) dapat dihilangkan sehingga kerusakan peralatan sistem dapat dihindari terutama pada titik gangguan.
3. Kontinuitas daya tak terganggu atau sistem dapat beroperasi terus dalam keadaan gangguan.
4. Dapat mengurangi arus *transient* dan *voltage*
5. Efek-efek terhadap sistem komunikasi dapat diperkecil.

b. Kerugiannya

Adapun kerugian dari *peterson coil* yaitu :

1. *Peterson coil* tidak dapat menghilangkan gangguan satu fasa yang menetap pada sistem.
2. *Peterson coil* tidak dapat mengkompensasi rugi-rugi daya dari sistem dan harmonisa-harmonisa sehingga pemakaiannya terbatas

pada sistem dengan tegangan menengah, karena pada sistem yang mempunyai tegangan sangat tinggi kerugiannya besar sekali.

3. *Peterson coil* tak dapat mencegah tegangan lebih secara menyeluruh tetapi hanya membatasi sampai keadaan tertentu sehingga memerlukan peralatan yang mampu mengatasi tegangan lebih ini.<sup>[20]</sup>

## 2.6 Rele Gangguan Tanah

Rele gangguan tanah (*Ground Fault Relays*) adalah merupakan pengaman utama terhadap gangguan hubung singkat fasa ke tanah untuk sistem yang ditanahkan langsung atau melalui tahanan rendah. Rele Gangguan Tanah bekerja apabila dilalui arus yang melebihi settingannya. Arus lebih yang dideteksi rele ini berasal dari gangguan fasa ketanah.

Arus gangguan satu fasa ke tanah sangat bergantung pada jenis pentanahannya. Pada umumnya gangguan satu fasa melampaui tahanan gangguan, sehingga menjadi semakin kecil. Oleh karena itu dipasang rele gangguan tanah secara khusus dan disesuaikan dengan sistem pentanahan.

Pemilihan rele gangguan tanah untuk pengaman sistem 20 kv diatur sebagai berikut:

- a. Untuk sistem pentanahan dengan tahanan tinggi, digunakan rele yang memiliki sensitivitas tinggi yaitu rele gangguan tanah berarah dengan karakteristik waktu tertentu.
- b. Untuk sistem pentanahan dengan tahanan rendah dimana besaran arus gangguan berlawanan dengan letak gangguan landa maka rele akan sulit dikordinasikan dengan peningkatan arus, sehingga rele yang digunakan sebaiknya rele arus lebih karakt

---

<sup>[20]</sup> Hazairin Samaulan, 2004, *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*, Unsri, hal : 71-81.



---

eristik waktu tertentu. Demikian juga untuk gangguan tanah pada saluran kontruksi tegangan menengah (SKTM) dengan sistem *Spindel*.

### Gangguan Tanah

Rele gangguan tanah, pada prinsipnya sama dengan cara koordinasi rele arus lebih fasa. Tetapi perlu dipahami bagaimana mendeteksi arus gangguan tanah. Adapun ciri-ciri dari adanya gangguan tanah yaitu :

1. Arus gangguan tanah ( $3I_0$ ) selalu masuk ke rele gangguan tanah (GFR), baik yang diperoleh dari resultante ketiga arus fasa maupun dari *current transformers* (CT) netral
2. Besarnya nilai arus  $3I_0$  tergantung pada tahanan pentanahan netral.
3. Bila tahanan pentanahan mempunyai nilai yang benar kurva arus pada karakteristik *invers* akan landai dan tidak memberikan waktu yang lebih cepat. Bila terdapat hal seperti ini setelah rele dipilih karakteristik *invers* yang sesuai dengan kurva arus tersebut (supaya lebih curam). Resultante ketiga arus fasa maupun dari *current transformers* (CT) netral.
4. Besarnya nilai arus  $3I_0$  tergantung pada tahanan pentanahan netral.
5. Bila tahanan pentanahan mempunyai nilai yang besar kurva arus pada karakteristik *invers* akan landai dan tidak memberikan waktu yang lebih cepat. Bila terdapat hal seperti ini setelah rele dipilih karakteristik *invers* yang sesuai dengan kurva arus tersebut (supaya lebih aman)
6. Dengan pentanahan langsung, kurva arus gangguan menjadi curam, setelah rele dengan mempergerakkan karakteristik *invers* dapat menekan komulasi waktu dan rele gangguan tanah (GFR) dapat mengamankan untuk gangguan tanah<sup>[21]</sup>

---

<sup>21</sup>[21]Hendra. 2010. *Proteksi Gangguan Fasa Ketanah Pada Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Rele Gangguan Tanah IL 5880*. Pendidikan Diploma III . Laporan Akhir Teknik Elektro Program Studi Teknik Listrik. Politeknik Negeri Sriwijaya Palembang..Tidak diterbitkan



## 2.7 Penyetelan Rele Gangguan Tanah (GFR) Pada JTM 20 KV Gardu Induk Talang Ratu.

Penyetelan rele gangguan tanah (GFR) sangat penting didalam keandalan sistem tenaga listrik, jika terjadi gangguan di salah satu *outgoing feeder* 20 kv tidak menyebabkan bekerjanya pengaman pada *incoming feeder* 20 Kv. Ketelitian penyetelan rele gangguan tanah (GFR) sangat diperlukan jika penyetelan rele kurang baik juga dapat menyebabkan pemadaman atau bekerjanya rele *incoming feeder* 20 KV atau kadang kadang menyebabkan bekerjanya pengaman trafo. Penyebab ketidakwajaran tersebut adalah karena adanya kesalahan, kelemahan atau penyimpangan lain nya, disingkat penyimpangan adapun bentuk penyimpangan dan penyebabnya dapat salah kerja sebabnya bermacam-macam, dapat berupa :

- Salah setting (terlalu sensitif atau terlalu cepat)
- Kerusakan rele atau rele bantu
- Koordinasi yang kurang tepat
- Trafo arus yang terlalu jenuh
- Karakteristik rele yang tidak cocok satu sama lain (misalnya antara definite time dan inverse time rele).
- Dan sebagainya

Penyetelan rele gangguan tanah (GFR) biasanya dikoordinasi dengan rele arus lebih (OCR). Koordinasi dilakukan dengan penyetelan arus tiap *feeder* dan *incoming* berdasarkan arus bebannya masing-masing dan penyetelan waktu kerja rele, dimana dengan rele inverse harus dengan menghitung arus gangguan di *feeder*. Arus gangguan dihitung dengan mengetahui :

- *Short circuit level* di bus HV
- Impedansi, *ratio* trafo P.S.



- Impedansi *feeder*

Didalam penyetelan rele gangguan tanah (GFR) perlu dilakukan beberapa perhitungan. Untuk mendapatkan setelan rele gangguan tanah (GFR) sesuai dengan yang diinginkan dan sesuai persyaratan peralatan pengaman dalam sistem pengaman.

Beberapa perhitungan yang akan dilakukan sebagai berikut :

1. Perhitungan impedansi sumber
2. Perhitungan reaktansi trafo tenaga
3. Perhitungan impedansi *feeder* 20 kv
4. Perhitungan impedansi ekivalen
5. Perhitungan arus gangguan satu fas ke tanah
6. Perhitungan *setting rele* gangguan tanah (GFR) *outgoing* 20 kv

### 2.7.1 Perhitungan Impedansi Sumber

Perhitungan Impedansi sumber merupakan perhitungan impedansi dasar, ada 2 jenis perhitungan impedansi sumber yaitu :

1. Perhitungan impedansi sumber untuk sisi primer (urutan nol)

$$Z_{S0} = \frac{KV_1^2}{MVA_{sc}} \dots \dots \dots (2.5)^{[22]}$$

2. Perhitungan Impedansi sumber untuk sisi sekunder (urutan positif dan negatif)

**Daya di sisi primer = Daya di sisi sekunder**

$$MVA_{150KV} = MVA_{20KV}$$

---

[<sup>22</sup>] Sarimun, wahyudi. 2012. Proteksi sistem distribusi tenaga listrik. Depok : Geramond. Hal : 164



$$\frac{KV_1^2}{Z_{S0}} = \frac{KV_2^2}{Z_{S1}} \dots\dots\dots(2.6)^{[23]}$$

Dimana :

$Z_{S0}$  = Impedansi sumber urutan nol (ohm)

$Z_{S1}$  = Impedansi sumber urutan positif (ohm)

$KV_1$  = Tegangan sisi primer (KV)

$KV_2$  = Tegangan sisi sekunder (KV)

$MVA_{SC}$  = Daya hubung singkat (MVA)

## 2.7.2 Perhitungan Reaktansi Transformator Daya

Perhitungan reaktansi trafo tenaga ada 2 jenis :

1. Perhitungan reaktansi trafo urutan positif dan negatif

$$X_{T1} = X_{T2}$$

$$Z_T$$

$$= \frac{KV^2}{MVA} \dots\dots\dots(2.7)^{[24]}$$

$$X_{T1} = X_{T1} (\%) \times Z_T \dots\dots\dots(2.8)^{[25]}$$

Pada perhitungan  $X_{T1}$  persentasi perhitungan sesuai dengan persentase impedansi pada trafo, berdasarkan data Impedansi trafo Gardu Induk Talang Ratu.

<sup>[23]</sup> Sarimun, wahyudi. 2012. Proteksi sistem distribusi tenaga listrik. Depok : Geramond. Hal : 165

<sup>[24]</sup> Sarimun, wahyudi. 2012. Proteksi sistem distribusi tenaga listrik. Depok : Geramond. Hal : 183

<sup>[25]</sup> Sarimun, wahyudi. 2012. Proteksi sistem distribusi tenaga listrik. Depok : Geramond. Hal : 183



## 2. Perhitungan reaktansi trafo urutan nol

Dalam perhitungan reaktansi trafo urutan nol trafo, harus memperhatikan ada tidak nya belitan delta. Dimana dengan memperhatikan belitan delta pada trafo urutan nol, yaitu :

1. Kapasitas delta sama dengan kapsitas bintang nilai  $X_{T0} = X_{T1}$  berlaku pada trafo unit.
2. Trafo tenaga dengan hubungan  $Yy$  biasanya punya belitan delta dengan kapasitas sepertiga x kapasitas primer (sekunder)

$$\text{Nilai } X_{T0} = 3 \times X_{T1} \dots\dots\dots(2.9)^{[26]}$$

3. Trafo tenaga dengan belitan  $Yy$  yang tidak punya belitan delta didalamnya.

$$\text{Nilai } X_{T0} = \text{Berkisar antara 9 sampai dengan } 14 \times X_{T1}$$

Dengan memperhatikan ketentuan diatas, diketahui berdasarkan data Gardu Induk Talang Ratu Bahwa trafo tenaga belitan  $Yy$  yang tidak mempunyai belitan delta didalamnya, maka reaktansi trafo urutan nol Gardu Induk Talang Ratu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$X_{T0} = 9 \times X_{T1} \dots\dots\dots(2.10)^{[27]}$$

Dimana :

$Z_T$  = Impedansi dasar pada trafo sebenarnya (100%) untuk sisi  
20 KV (ohm)

$X_{T1}$  =Reaktansi trafo untuk urutan positif / urutan negatif (ohm)

$X_{T0}$  = Reaktansi trafo untuk urutan nol (ohm)

<sup>[26]</sup> Sarimun, wahyudi. 2012. Proteksi sistem distribusi tenaga listrik. Depok : Geramond. Hal : 158

<sup>[27]</sup> Sarimun, wahyudi. 2012. Proteksi sistem distribusi tenaga listrik. Depok : Geramond. Hal : 189



### 2.7.3 Perhitungan Impedansi Feeder 20 KV

Impedansi *feeder* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Z_F = L \times Z/KM \quad \dots\dots\dots(2.11)^{[28]}$$

Ada 2 jenis perhitungan impedansi *feeder* 20 KV (Penyulang) yaitu :

1. Perhitungan impedansi *feeder* urutan positif dan urutan negatif

$$Z_{F1} = \text{lokasi (\%)} \times L \times Z_1/KM \quad \dots\dots\dots(2.12)^{[29]}$$

2. Perhitungan impedansi *feeder* urutan nol

$$Z_{F0} = \text{lokasi (\%)} \times L \times Z_0/KM \quad \dots\dots\dots(2.13)^{[30]}$$

Dimana :

$Z_{F1}$  = Impedansi *feeder* urutan positif (Ohm)

$Z_{F0}$  = Impedansi *feeder* urutan nol (Ohm)

Lokasi = Titik penentuan berdasarkan panjang jaringan (%)

L = Panjang jaringan (km)

$Z_1/KM$  = Impedansi *feeder* urutan positif (Ohm)

$Z_0/KM$  = Impedansi *feeder* urutan negatif (Ohm)

### 2.7.4 Perhitungan Impedansi Ekuivalen

<sup>[28]</sup> Sarimun, wahyudi. 2012. Proteksi sistem distribusi tenaga listrik. Depok : Geramond. Hal : 167

<sup>[29]</sup> Sarimun, wahyudi. 2012. Proteksi sistem distribusi tenaga listrik. Depok : Geramond. Hal : 167

<sup>[30]</sup> Sarimun, wahyudi. 2012. Proteksi sistem distribusi tenaga listrik. Depok : Geramond. Hal : 167



Impedansi ekivalen *feeder* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Z_{eki} = Z_{S1} + Z_{T1} + Z_{Feeder} \dots\dots\dots(2.14)^{[31]}$$

Ada 2 jenis perhitungan impedansi ekivalen yaitu :

1. Perhitungan impedansi ekivalen urutan positif dan negatif

$$Z_{1 eki} = Z_{2 eki}$$

$$Z_{T1} = j X_{T1}$$

$$Z_{1 eki} = Z_{S1} + Z_{T1} + Z_{1 feeder} \dots\dots\dots(2.15)^{[32]}$$

2. Perhitungan impedansi ekivalen urutan nol

$$X_{T0} = 9 X_{T1}$$

$$Z_{T0} = j X_{T0}$$

$$3 R_N = 3 \times 40$$

$$Z_0 eki = \text{lokasi} \times \text{panjang} \times Z_0 \text{ total}$$

Perhitungan  $Z_0$  ekivalen :

$$Z_0 eki = Z_{T0} + 3 R_N + Z_0 feeder \dots\dots\dots(2.16)^{[33]}$$

Dimana :

$$Z_{1 eki} = \text{Impedansi ekivalen urutan positif (Ohm)}$$

$$Z_0 eki = \text{Impedansi ekivalen urutan nol (Ohm)}$$

$$Z_{S1} = \text{Impedansi sumber urutan positif (Ohm)}$$

<sup>[31]</sup> Sarimun, wahyudi. 2012. Proteksi sistem distribusi tenaga listrik. Depok : Geramond. Hal :155

<sup>[32]</sup> Pribadi K & Wahyudi SN. *Proteksi Distribusi*. Pusat Pendidikan dan Pelatihan, PT. PLN (Persero). Hal : 27.

<sup>[33]</sup> Pribadi K & Wahyudi SN. *Proteksi Distribusi*. Pusat Pendidikan dan Pelatihan, PT. PLN (Persero). Hal : 27.



$Z_{T1}$  = Impedansi trafo urutan positif (Ohm)

$Z_1$  feeder = Impedansi ekivalen urutan positif (Ohm)

$Z_0$  feeder = Impedansi feeder urutan nol (Ohm)

$R_N$  = Tahanan netral (Ohm)

### 2.7.5 Perhitungan Hubung Singkat Satu Fasa-KetanaH

Perhitungan arus hubung singkat satu fasa ketanaH digunakan untuk keperluan menanggulangi penyetelan relay gangguan fasa ketanaH. Rumus yang dipakai dalam perhitungan arus gangguan hubung singkat gangguan fasa ketanaH, pada jaring antegangan menengah secara umum adalah sebagai berikut dibawah ini.

$$I_{f \text{ 1 fasa-tanah}} = \frac{3 \cdot E_{f \text{ fasa}}}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

.....(2.17)<sup>[34]</sup>

Dimana :

$I_{f \text{ 1 fasa-tanah}}$  : besar arus gangguan 1 fasa (Amper).

$E_f$  : Besar tegangan fasa terhadap netral (Volt).

$Z_0$  : Impedansi ekivalen urutan nol (Ohm)

$Z_1$  : Impedansi ekivalen urutan positif (Ohm)

$Z_2$  : Impedansi ekivalen urutan negative (Ohm)

### 2.7.6 Perhitungan Setting Rele

Perhitungan setting rele, merupakan intidaripenyetelan rele gangguan tanah (GFR). Karenadarihasilperhitunganakankitaperolehbesar setelan arus rele baik pada sisi prim eratausekundernyadan juga akandiperoleh setelan waktunya. Perhitungan *outgoing* 20k V dilakukan mulaidarirele paling hilirdifeeder (penyulang) 20kV. Untuk setting GFR dia mbildari arus gangguan hubung singkat 1 fasa ketanaH yang terkecil pada 100% panjang jaringan

<sup>[34]</sup> A. Arismunandar & S. Kuwahara. *Teknik Teknik Listrik Jilid II*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita. Hal : 75.



(agar diperoleh kesesuaian antara Kuat Hantar Arus (KHA) penghantar dan arus gangguan yang mengalir penghantar sehingga pengamanan lebih terjamin). Untuk mengantisipasi faktor i tahan yang tinggi yang diakibatkan penghantar fasabersentuhan dengan benda lain yang menimbulkan tahanan tinggi, yang akan menyebabkan arus gangguan hubung singkat menjadi kecil, maka arus setting primer dikalikan dengan konstanta 0,06s/d0,1, maka persamaa setelan arus pada sisi primer diperoleh berdasarkan hasil perhitungan 10% (0,1) dari arus gangguan satu fasak tanah (terkecil) dan setelan arus pada sisi sekunder yang diperoleh berdasarkan hasil perhitungan setelan arus pada sisi primer yang berbanding terbalik adaterhadap rasio C.T nya. Akan tetapi untuk setelan waktunya (tms) dihitung dengan menggunakan perhitungan menggunakan besaran arus setelan pada sisi primer yang akan waktu kerjanya berdasarkan setting dari relay pada feeder atau penyulang yang sudah ditentukan waktunya. Setting relay outgoing 20kV dihitung berdasarkan arus gangguan satu fasak tanah terkecil.

Perhitungan setting relay outgoing 20kV dihitung dengan menggunakan rumus:

$$I_{SET \text{ primer}} = 10\% \times I_f \text{ 1fasa-tanah} \quad \dots\dots\dots(2.18)^{[35]}$$

$$I_{SET \text{ sekunder}} = I_{SET \text{ primer}} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \quad \dots\dots\dots(2.19)^{[36]}$$

$$Tms = \frac{t \times \left[ \left( \frac{I_{\text{fault}}}{I_{SET}} \right)^{0,02} - 1 \right]}{0,14} \quad \dots\dots\dots(2.20)^{[37]}$$

Dimana :

[<sup>35</sup>] Sarimun, wahyudi. 2012. Proteksi sistem distribusi tenaga listrik. Depok : Geramond. Hal : 200

[<sup>36</sup>] Sarimun, wahyudi. 2012. Proteksi sistem distribusi tenaga listrik. Depok : Geramond. Hal : 200

[<sup>37</sup>] Sarimun, wahyudi. 2012. Proteksi sistem distribusi tenaga listrik. Depok : Geramond. Hal : 20



$I_{SET}$  = Arus setelan (Primer) (A)

$I_{FAULT}$  = Arus gangguan (A)

$t$  = Setting waktu kerja (s)

$T_{ms}$  = Setelan waktu