

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Fielman Lisi (2016) tentang “Analisa Gangguan Hubung Singkat Saluran Kabel Bawah Tanah Tegangan 20 kV Penyulang SL 3 GI Teling Manado”. Penelitian ini membahas tentang gangguan hubung singkat. Untuk menangani gangguan tersebut maka diperlukanlah sistem proteksi yang sesuai dengan standar sensitifitas, selektifitas, keandalan. Untuk memasang peralatan proteksi ada baiknya diketahui berapa besar arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada sebuah penyulang untuk mendapatkan pengaturan yang sesuai dengan keadaan penyulang. Oleh karena itu perhitungan arus gangguan hubung singkat pasti diperlukan dalam menentukan pengaturan OCR dan GFR pada sistem proteksi pada suatu penyulang.

Gassing (2012) tentang “Analisis Sistem Proteksi Petir (Lightning Performance) Pada Sutt 150 Kv Sistem Sulawesi Selatan”. Penelitian ini berfokus pada Perbaikan sistem proteksi petir melibatkan studi karakteristik petir tropis. Parameter sambaran petir tropis tersebut dapat digunakan untuk mengevaluasi *lightning performance* saluran udara eksisting dan kemudian menentukan perbaikan-perbaikan yang dapat dilakukan baik dengan metoda konvensional maupun metoda khusus. Perbaikan dengan metoda khusus dilakukan sistem konvensional yang digunakan sudah maksimal tetapi masih diperlukan proteksi yang lebih baik. Perbaikan dengan metoda khusus ini merupakan sistem proteksi tambahan berupa *extended mast* terminal (EMT). Pemasangan EMT diprioritaskan pada daerah dengan kerapatan sambaran tinggi dan pada beberapa menara menuju Gardu Induk.

Rhamandita Sudrajat (2014) tentang “Analisis Penalaan Relai Jarak Sebagai Proteksi Utama Pada Saluran Udara Tegangan Tinggi 150 Kv Bandung Selatan – Cigerelaing”. Penelitian ini mencakup tentang transmisi daya listrik pada saluran udara tegangan tinggi, Saluran tersebut sangat rentan terhadap gangguan karena jarak yang sangat jauh.

Untuk dapat memenuhi keandalan pada sistem proteksi, maka perlu untuk dilakukan penalaan relai jarak. Dalam kasus penelitian ini, maka diambil saluran transmisi yang menghubungkan Gardu Induk Bandung Selatan – Cigerelaing. Dalam penalaan relai jarak itu dibagi ke dalam 3 zona proteksi. Dari hasil perhitungan, penalaan relai jarak untuk Zone 1 sebesar  $0,205 \angle 69,39^\circ$  Ohm yang dimana waktu operasi trip 0 detik, Zone 2 sebesar  $1,201 \angle 70,76^\circ$  Ohm dengan waktu operasi trip 0,4 detik, dan Zone 3 sebesar  $2,175 \angle 70,804^\circ$  Ohm dengan waktu operasi trip 1,6 detik.

Rize Taufiq Ramadhan (2014) tentang “Studi Koordinasi Sistem Pengaman Penyulang Transformator Iv Di Gardu Induk Waru” penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ressetting pada penyulungan platinum dan pagesangan dengan pengaturan kelambatan waktu 0,3 detik, untuk sisi incoming 0,7 detik. Koordinasi pengaturan pengaman relai arus lebih (OCR) dan relai hubung tanah (GFR) arus hubung singkat minimum dan maksimum, juga selain itu memberikan waktu tunda ( $\Delta t$ ) dalam koordinasinya yang sesuai dengan urutan grading time.

Tofan Aryanto (2013) tentang “Frekuensi Gangguan Terhadap Kinerja Sistem Proteksi di Gardu Induk 150 KV Jepara”. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa kuantitas gangguan dan juga keandalan sistem proteksi pada area transformator tenaga di Gardu Induk 150 KV Jepara dari tahun 2007 sampai tahun 2012. Manfaat yang sangat diharapkan pada penelitian ini adalah dapat memberikan suatu informasi ilmiah sebagai bahan pertimbangan untuk menyikapi gangguan dan kinerja sistem proteksi pada area transformator tenaga di Gardu Induk 150 KV Jepara. Hasil dari penelitian diketahui, persentase gangguan yang mempengaruhi sistem proteksi pada area transformator tenaga 1 di Gardu Induk 150 KV Jepara ialah berupa gangguan nonteknis sebesar 50% dan gangguan yang tidak diketahui sebabnya sebesar 50%. Persentase gangguan yang sering mempengaruhi sistem proteksi area transformator tenaga 2 di Gardu Induk 150 KV Jepara ialah berupa gangguan teknis sebesar 50% dan gangguan yang tidak dapat diketahui penyebabnya sebesar 50%.

## 2.2. Landasan Teori

Pada penyusunan tugas akhir ini memiliki landasan teori yang dijadikan sebagai acuan dalam melakukan penelitian dimana data yang dimaksud merupakan data awal dari berbagai sumber, sehingga dalam pelaksanaannya penulis dapat menjadikannya sebagai referensi. Berikut merupakan landasan teori pada penelitian Analisis Gangguan Terhadap Sistem Proteksi Pada Gardu Induk, antara lain :

### a. Gardu Induk



Gambar 2.1 Gardu Induk 150 kV Kentungan

Gambar 2.1 diatas adalah Gardu Induk 150 kV Kentungan. Gardu Induk adalah salah satu instalasi yang terdiri atas peralatan peralatan listrik yang merupakan pusat beban dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik. Fungsi utama dari Gardu Induk adalah mentransformasikan tegangan tinggi ke tegangan tinggi, tegangan tinggi ke tegangan menengah, tegangan tinggi ke tegangan rendah. Pada pengukuran pengawasan dari operasi juga pengamanan sistem tenaga listrik, pelayanan beban dari Gardu Induk melalui tegan tinggi menuju gardu distribusi, setelah adanya proses penurunan tegangan melewati penyulang-penyulang (feeder- feeder) tegangan menengah pada Gardu Induk. Pada PLN kita sering mengenal SCADA atau sarana komunikasi internal PLN. Dirahapkan dengan

sistem SCADA ini dapat memantau dan mencatat kerja sistem setiap saat pada kondisi normal maupun abnormal.

Mengingat meningkatnya kebutuhan tenaga listrik ke beban (konsumen) dalam kehidupan sehari-hari diantaranya pabrik, industri kecil maupun dengan skala besar, dari hal tersebut maka kualitas dan kuantitas penyaluran (transmisi) tenaga listrik semakin di tingkatkan untuk menghindari seringnya terjadi gangguan pada peralatan dan komponen sistem tenaga listrik, maka sistem kerja proteksi di tingkatkan lebih baik untuk menghindari kekecewaan dari konsumen. Sistem proteksi menimalisir gangguan dan rusaknya komponen yang terjadi dari faktor internal maupun eksternal pada komponen sistem tenaga listrik baik itu yang bersifat sementara maupun permanen.

Agar Gardu Induk tersebut dapat menjalankan tujuan dan fungsinya, oleh karena itu gardu dilengkapi dengan peralatan serta fasilitas. Secara garis besar, peralatan-peralatan pada Gardu Induk tersebut adalah sebagai berikut :

#### 1. Transformator Daya



Gambar 2.2 Transformator Daya Gardu Induk 150 kV Kentungan

Gambar 2.2 diatas adalah tranformator daya pada Gardu Induk 150 kV Kentungan. Transformator Daya berfungsi juga untuk mentransformasikan daya listrik dengan cara frekuensi yang tetap dan merubah besaran tegangannya. Transformator daya juga berguna sebagai pengatur tegangan. Untuk mendapatkan titik netral pada transformator daya maka dilengkapi dengan memakai transformator pentanahan.

## 2. *Neutral Grounding Resistance (NGR)*



Gambar 2.3 Neutral Grounding Resistance

Gambar 2.3 diatas adalah gambaran bentuk dari *Neutral Grounding Resistance*. *Neutral Grounding Resistance (NGR)* ialah komponen yang dipasang pada titik netral transformator pentanahan. *Neutral Grounding Resistance (NGR)* juga berfungsi untuk memperkecil arus gangguan yang terjadi.

### 3. *Current Transformer (CT)*



Gambar 2.4 *Current Transformer*

*Current Transformer (CT)* berfungsi untuk merubah besaran arus, dari arus yang sangat besar ke arus paling kecil. Atau juga memperkecil besaran arus listrik pada sistem tenaga listrik, berubah menjadi arus untuk sistem proteksi dan pengukuran.

### 4. *Potential Transformer (PT)*



Gambar 2.5 *Potential Transformer*

Gambar 2.5 diatas adalah bentuk dari *Potential Transformer*, yang dimana *Potential Transformer (PT)* berguna juga untuk merubah besaran tegangan tinggi ke tegangan yang rendah atau bisa disebut memperkecil besaran tegangan listrik

pada sistem tenaga listrik, agar dapat menjadi besaran tegangan untuk proteksi dan pengukuran.

#### 5. Alat Pengubah Fasa

Alat pengubah fasa dapat dipakai dalam mengatur jatuh tegangan pada saluran atau transformator dengan cara mengatur daya reaktif, atau untuk menurunkan rugi daya dengan cara memperbaiki faktor daya. Alat tersebut ada yang berjenis berputar dan ada juga yang *stationer*.

Yang berputar ialah *kondensator sinkron* dan *kondensator asinkron*. Sedangkan untuk alat *stationer* ialah kondensator statis dan reaktor shunt. Yang berputar dapat dipakai untuk fasa terdahulu (*leading*) atau terbelakang (*lagging*) yang dimana dapat diatur secara terus-menerus. Tetapi alat ini harganya sangat mahal dan juga pemeliharaannya rumit.

Banyak alat yang *stationer* sekarang ini dipakai untuk menggantikan alat yang berputar, sebabnya teknik pembuatan telah sangat banyak mengalami kemajuan pesat, tegangannya dapat diatur tanpa perlu kesulitan dengan penyetelan daya reaktif secara bertingkat dalam mengikuti sistem tenaga listrik.

#### 6. Pemutus Tenaga (PMT)



Gambar 2.6 Pemutus Tenaga

Pemutus tenaga juga berfungsi untuk memutuskan hubungan tenaga listrik dalam kondisi gangguan maupun dalam kondisi berbeban juga proses ini harus dilakukan sangat cepat. Pemutus tenaga listrik dalam kondisi gangguan akan menimbulkan dampak yaitu arus yang relatif besar, juga pada saat tersebut pemutus

beban bekerja lebih berat. Bila keadaan peralatan pemutus tenaga menurun karena alasan kurangnya pemeliharaan, sehingga tidak dapat sesuai lagi kemampuan dengan daya yang diputuskannya, maka pemutus tenaga akan berakibatkan rusak atau meledak.

#### 7. Pemisah (PMS)



Gambar 2.7 Disconnect Switch

Pemilihan jenis pemisah (disconnect switch) ditentukan oleh lokasi, tata bangunan luar (outdoor structure) dan sebagainya. Pada umumnya pemisah tidak dapat memutuskan arus. Meskipun ia dapat memutuskan arus yang kecil, misalnya arus pembangkit Transformator, tetapi pada pembukaan atau penutupannya harus dilakukan setelah pemutus pada tenaga lebih dahulu dibuka.

Untuk menjamin adanya kesalahan urutan operasi yang tidak terjadi, maka harus ada keadaan yang saling mengunci (*interlock*), pada pemisah dengan pemutus bebannya. Sesuai dengan fungsi dan kegunaannya, maka dari itu PMS dibagi jadi 2 macam yaitu : Pemisah Tanah, berfungsi untuk proteksi peralatan dari sisi tegangan yang sering timbul sesudah SUTT / SUTM pada diputuskan. Pemisah Peralatan berguna untuk mengisolasi peralatan peraltan listrik dari peralatan yang ada tegangan. Pemisah tersebut dioperasikan tanpa adanya beban.

## 8. Panel Hubung

Panel hubung (meja, *switch board*) adalah pusat syaraf sebagai suatu GI. Pada panel hubung inilah operator mendapatkan mengamatan keadaan peralatan, melakukan operasi peralatan juga pengukuran-pengukuran pada tegangan dan arus, daya lain sebagainya. Bila adanya gangguan, panel hubung ini akan membuka pemutus beban secara otomatis lewat relai pengaman dan memisahkan bagian yang terganggu. Karena pada tegangan dan arus yang tidak dapat diukur langsung ke sisi tegangan tinggi, maka transformator ukur (*instrument*) dapat mengubahnya menjadi tegangan dan arus rendah, sekaligus juga dapat memisahkan alat-alat tadi dari sisi yang bertegangan tinggi. Adapun beberapa jenis transformator ukur yaitu transformator arus, transformator tegangan, serta transformator tegangan dan arus.

## 9. Baterai



Gambar 2.8 Baterai Gardu Induk

Baterai merupakan sumber tenaga ke sistem kontrol dan proteksi yang selalu mempunyai keandalan dan stabilitas yang amat tinggi, maka baterai dipakai untuk sumber tenaga kontrol dan pengaman pada Gardu Induk. Peranan dari baterai amat penting karena pada saat adanya gangguan yang terjadi, baterai sebagai sumber tenaga yang berguna menggerakkan alat-alat kontrol dan juga proteksi.

## 10. Alat Pelindung

Alat - alat pelindung (*protective device*) atau dalam arti luas, disamping pemutus beban dan juga relai pengaman sebagai berikut:

- a) *Arrester* berfungsi sebagai mengamankan peralatan Gardu Induk pada tegangan lebih abnormal yang dimana bersifat kejutan, contohnya petir.
- b) Beberapa peralatan netral yang seringkali dipakai dititik netral transformator untuk pengamanan pada waktu terjadinya kondisi gangguan tanah.
- c) Bila sedang terjadinya gangguan (hubung – singkat) tanah atau gangguan petir, potensial tanah yang dari Gardu Induk mungkin naik abnormal sehingga dapat membahayakan orang dan binatang yang berada didekatnya atau menyebabkan rusaknya alat tersebut. Untuk menghindari resiko tersebut, maka ditanamlah penghantar pentanahan dengan tahanan tanah sangat kecil.

## 11. Peralatan Pendukung lainnya

Selain itu juga ada peralatan bantu (*auxiliary tool*), yaitu : alat pendingin, pencuci isolator, baterai, pengisi daya baterai, kompresor, sumber tenaga, dan alat penerangan sebagainya. Gardu – gardu yang tua kebanyakan dilengkapi dengan beberapa peralatan yang diperlukan untuk pemeliharaan, yaitu: Ruang bongkar transformator, fasilitas pada bagian pemindahan transformator, bengkel dan lain sebagainya.

### b. Persyaratan Proteksi Gardu Induk

Pada suatu sistem tenaga listrik, sistem proteksi ialah perlindungan atau isolasi pada bagian yang dimana memungkinkan sekali akan terjadi gangguan maupun bahaya. Tujuan utama dari proteksi adalah untuk mencegah adanya gangguan atau memadamkan gangguan yang telah terjadi, dan membatasi dampak pengaruh-pengaruhnya, biasanya dengan mengisolir pada bagian-bagian yang terganggu tanpa harus mengganggu bagian- bagian lain (Hutauruk, 1991). Sistem proteksi ini juga mendeteksi kondisi abnormal pada suatu rangkaian listrik dengan cara mengukur besaran- besaran listrik yang berbeda terhadap kondisi normal dengan kondisi abnormal. Ada beberapa kriteria yang perlu diketahui untuk pemasangan suatu sistem proteksi pada rangkaian sistem tenaga listrik yaitu :

### 1. Kepekaan (sensitifitas)

Sensitifitas adalah kepekaan pada relai proteksi terhadap segala macam adanya gangguan dengan tepat yakni gangguan yang terjadi di daerah sekitar perlindungannya. Kepekaan pada suatu sistem proteksi ini ditentukan oleh nilai nilai terkecil dari besaran penggerak saat peralatan proteksi tersebut mulai beroperasi. Nilai terkecil dari besaran penggerak itu berhubungan dekat dengan nilai minimum arus gangguan yang ada dalam daerah yang disekitar perlindungannya.

### 2. Kecepatan

Pada sistem proteksi ini perlu memiliki tingkat kecepatan sebagaimana ditentukan sehingga meningkatkan mutu pelayanan, keamanan manusia, peralatan dan stabilitas operasi. Mengingat suatu sistem tenaga mempunyai batas-batas stabilitas serta kadang-kadang gangguan sistem bersifat sementara, maka relai yang semestinya bereaksi dengan cepat kerjanya perlu diperlambat (*time delay*), seperti yang ditunjukkan persamaan :  $t_{op} = t_p + t_{cb}$

### 3. Selektifitas dan Diskriminatif

Selektif yaitu suatu sistem yang dimana proteksinya harus dapat memilih bagian dari sistem yang harus diisolir apabila relai proteksi mendeteksi adanya gangguan. Bagian yang dapat dipisahkan dari sistem yang sehat sebisanya adalah bagian bagian yang adanya gangguan saja. Diskriminatif yaitu suatu sistem proteksi yang harus mampu membedakan dimana kondisi normal dan kondisi abnormal.

Ataupun juga dapat membedakan apakah kondisi abnormal dapat terjadi di dalam atau di luar daerah proteksinya. Dengan demikian, segala tindakannya pun akan tepat dan akibatnya gangguan yang terjadi dapat dieliminir menjadi sekecil kecilnya.

### 4. Keandalan ( *Reability* )

Suatu sistem proteksi dapat dikatakan handal apabila selalu berguna sebagaimana yang telah diharapkan. Sistem proteksi disebut tidak andal apabila adanya kegagalan bekerja pada saat dibutuhkan dan bekerja waktu saat proteksi itu seharusnya tidak bekerja. Keandalan relai dikatakan cukup baik apabila mempunyai persentase 90-99 %. Keandalan tersebut dapat di bagi 2 macam sebagai berikut :

- a) *Dependability* dimana relai harus bekerja dengan tingkat kepastian yang tinggi dan memiliki tingkat keandalan dalam menangani gangguan.
- b) *Security* dimana tidak boleh salah kerja / tidak boleh bekerja yang bukan waktunya bekerja. Peralatan proteksi harus memiliki tingkat keamanan dan pengamanan yang cukup tinggi. Persamaan Deskriptif presentase gangguan pada trafo pada gardu induk adalah sebagai berikut :

$$DP = \frac{n}{N} \times 100\%$$

Keterangan :

DP : Dekriptif Persentase Gangguan (%)

$n$  : Frekuensi gangguan (kali)

$N$  : Jumlah gangguan (kali)

#### 5. Ekonomis

Suatu perencanaan teknik yang baik tidak akan terlepas dari pertimbangan nilai ekonomisnya. Suatu relai proteksi yang akan digunakan hendaknya seekonomis mungkin dengan tidak menghilangkan fungsi dan keandalannya. Ada dua tipe proteksi kategori yang dikenal adalah proteksi utama (*main protection*) dan proteksi pembantu (*back up protection*). Proteksi utama ialah pertahanan utama yang akan membebaskan gangguan pada bagian yang akan diproteksi dengan secepat mungkin. Mengingat keandalan 100 % tidak hanya pada perlindungan itu sendiri tetapi juga dari transformator arus, transformator tegangan dan pemutus rangkaian yang kemungkinan besar tidak dapat dijamin, oleh karena itu diperlukan perlindungan pembantu (*auxiliary protection*) pada alat pengaman tersebut.

Proteksi pembantu bekerja apabila relai utama gagal dan tidak hanya itu juga dapat melindungi daerah berikutnya dengan cara memperlambat waktu yang lebih lama dari pada relai utamanya.

#### c. Faktor Penyebab Gangguan

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang melibatkan banyak komponen dan sangat kompleks. Gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik sangatlah beragam jenisnya. Gangguan pada sistem tenaga listrik merupakan keadaan tidak normal yang dapat berakibatkan terganggunya pelayanan tenaga

listrik. Oleh karena itu, ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, antara lain sebagai berikut :

#### 1. Faktor Manusia

Faktor utama ini menyangkut pada kesalahan atau kelalaian manusia dalam memberikan perlakuan pada sistem. Misalnya adalah salah menyambung rangkaian atau keliru dalam hal mengkalibrasi suatu piranti pengaman, pemasangan yang kurang baik, dan lain sebagainya.

#### 2. Faktor *Internal*

Faktor ini menyangkut pada gangguan-gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri. Misalnya pada tegangan dan arus abnormal , kesalahan mekanis karena umur pemakaian, beban lebih , atau bias juga kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus dan lain sebagainya. Hal ini biasanya mengurangi sensitivitas relai pengaman dan juga mengurangi daya isolasi terhadap peralatan listrik lainnya.

#### 3. Faktor *External*

Faktor ini juga meliputi gangguan- gangguan yang berasal dari lingkungan yang di sekitar sistem. Misalnya adalah cuaca, gempa bumi, banjir, sambaran petir dan lain sebagainya. Di samping itu ada kemungkinan gangguan dari makhluk hidup seperti gangguan mekanis karena adanya pekerjaan galian, dan juga kecerobohan pekerjaan lainnya.

#### d. Macam- Macam Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Dalam sistem tenaga listrik banyak gangguan yang terjadi akibatnya pelayanan tegangan listrik terganggu kepada konsumen. Pada suatu sistem merasakan gangguan dalam waktu yang singkat ataupun waktu yang lama , maka dari itu gangguan- gangguan pada sistem transmisi tenaga listrik terdiri dari :

##### 1. Gangguan Sistem

Gangguan sistem terjadi pada sistem tenaga listrik di antaranya transformator, busbar, kapasitor, reaktor, busbar, SUTET, SKIT, SUTT. Pada gangguan pada sistem dapat di kelompokkan menjadi 2 macam gangguan yaitu gangguan temporer dan gangguan permanen. Gangguan yang bersifat *temporer* ini dapat hilang dengan sendirinya atau dengan cara pemutusan dalam jangka waktu pendek di bagian sumber tegangan. Akan tetapi gangguan sementara ini jika

dibiarkan larut dalam waktu yang lama dapat berakibat fatal menjadi gangguan permanen. Selain itu gangguan permanen dimana untuk membebaskan gangguan ini dapat dilakukan tindakan perbaikan atau menghilangkan penyebab gangguan yang sedang terjadi. Untuk gangguan *temporer* misalnya karena terbukanya *Circuit Breaker* oleh rele proteksi peralatan atau jaringan yang terganggu dapat dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen agar dapat dioperasikan kembali apabila bagian kerusakan yang disebabkan oleh gangguan sudah diperbaiki atau diganti.

## 2. Gangguan Non Sistem

Gangguan non sistem adalah gangguan yang berasal dari luar sistem diantaranya adalah kerusakan pada relai dan peralatan di luar sistem lainnya. Pada gangguan ini pada sistem proteksi terdiri dari :

### a) Gangguan Fasa

Gangguan yang terjadi antara dua fasa, tiga fasa secara langsung ataupun tidak langsung. Ditandai dengan naiknya arus dalam waktu singkat dan menurunnya tegangan sistem jaringan. Seperti gangguan beban lebih atau disebut juga dengan *overload* apabila gangguan ini biarkan larut dalam waktu panjang dapat berakibat merusak peralatan listrik yang dialiri arus atau beban tersebut. Selain itu juga ada gangguan hubung singkat, gangguan ini terbagi 2 yaitu gangguan singkat simetri dan gangguan hubung singkat asimetri. Yang termasuk pada gangguan hubung singkat simetri adalah gangguan gangguan hubung singkat tiga fasa dan selain dari gangguan ini bisal dibilang termasuk dalam gangguan asimetri. Akibat dari gangguan hubung singkat ini adalah rusaknya peralatan listrik yang ada di sekitar gangguan disebabkan oleh adanya arus arus besar, arus tak seimbang maupun tegangan rendah.

### b) Gangguan Tanah

Gangguan yang terjadi karena dua fasa, tiga fasa yang terhubung ke tanah secara langsung ataupun tidak langsung. Gangguan tanah di antaranya adalah pada tiang, timah pada kabel, badan transformator. Secara garis besar gangguan tersebut di klasifikasikan menjadi dua faktor gangguan tersebut di antaranya adalah :

#### 1) Gangguan Hubung Singkat

Hubung singkat adalah terjadinya hubungan penghantar bertegangan atau penghantar tidak bertegangan secara langsung tidak melalui media (resistor/ beban) yang semestinya sehingga terjadi aliran arus yang tidak normal (sangat besar). Hubung singkat merupakan jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik, terutama pada saluran udara 3 fasa. Meskipun semua komponen peralatan listrik selalu diisolasi dengan isolasi padat, cair (minyak), udara, gas, dan sebagainya. Namun karena usia pemakaian, keausan, tekanan mekanis, dan sebab-sebab lainnya, maka kekuatan isolasi pada peralatan listrik bisa berkurang atau bahkan hilang sama sekali. Hal ini akan mudah menimbulkan hubung singkat.

Pada beban isolasi padat atau cair, gangguan hubung singkat bisanya mengakibatkan busur api sehingga menimbulkan kerusakan yang tetap dan gangguan ini disebut gangguan permanent (tetap). Pada isolasi udara yang biasanya terjadi pada saluran udara tegangan menengah atau tinggi, jika terjadi busur api dan setelah padam tidak menimbulkan kerusakan, maka gangguan ini disebut gangguan *temporer* (sementara). Arus hubung singkat yang begitu besar sangat membahayakan peralatan, sehingga untuk mengamankan peralatan dari kerusakan akibat arus hubung singkat maka hubungan kelistrikan pada seksi yang terganggu perlu diputuskan dengan peralatan pemutus tenaga atau *circuit breaker* (CB).

## 2) Gangguan Tegangan Lebih

Tegangan lebih merupakan suatu gangguan akibat tegangan pada sistem tenaga listrik lebih besar dari seharusnya. Gangguan tegangan lebih dapat terjadi karena kondisi *external* dan *internal*. Kondisi internal terutama karena isolasi akibat perubahan yang mendadak dari kondisi rangkaian atau karena resonansi.

Misalnya operasi hubung pada saluran tanpa beban, perubahan beban yang mendadak, operasi pelepasan pemutus tenaga yang mendadak akibat hubungan singkat pada jaringan, kegagalan isolasi, dan sebagainya. Kondisi external terutama akibat adanya sambaran petir. Petir terjadi disebabkan oleh terkumpulnya muatan listrik, yang mengakibatkan bertemunya muatan positif dan negatif. Pertemuan ini berakibat terjadinya beda tegangan antara awan bermuatan positif dengan muatan negatif, atau awan bermuatan positif atau negatif dengan tanah. Bila beda tegangan

ini cukup tinggi maka akan terjadi loncatan muatan listrik dari awan ke awan atau dari awan ke tanah.

Jika ada tiang listrik yang cukup tinggi maka awan bermuatan yang menuju ke bumi ada kemungkinan akan menyambar menara atau kawat tanah dari saluran transmisi dan mengalir ke tanah melalui menara- dan tahanan pentanahan menara. Bila arus petir ini besar, sedangkan tahanan tanah menara kurang baik maka akan timbul tegangan tinggi pada menaranya. Keadaan ini akan berakibat dapat terjadinya loncatan muatan dari menara ke penghantar fasa. Pada penghantar fasa ini akan terjadi tegangan tinggi dan gelombang tegangan tinggi petir yang sering disebut surja petir. Surja petir ini akan merambat atau mengalir menuju ke peralatan yang ada di Gardu Induk.

### 3) Gangguan Kurangnya Daya

Gangguan kurangnya daya penyebabnya adalah tripnya pada pembangkit di sistem tenaga listrik yang berakibat kerja relai dan circuit breaker terputus dari pusat jaringan. Jika tingkat pembebanan pusat atau unit pembangkit hilang dan melampaui *spinning reserve system* maka pusat pembangkit yang ada akan mengalami beban lebih atau frekuensi yang kian merosot. Akibat dari gangguan kurangnya daya adalah runtuhnya sistem (*collapse*) atau pemadaman total yang berakibat merugikan konsumen.

### 4) Gangguan Ketidakstabilan

Gangguan ketidakstabilan disebabkan karena berkurangnya unit pembangkit karena tripnya pembangkit atau terpisahnya sistem. Kehilangan pembangkit dapat menyebabkan lepas *sinkron* unit- unit pembangkit, hal tersebut dapat menyebabkan gangguan yang lebih luas. *Power swing* menyebabkan relay proteksi salah kerja dan dapat berakibat meluasnya gangguan juga dapat runtuhnya sistem atau pemadaman total.

### e. Mengatasi Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Dalam sistem tenaga listrik gangguan pada peralatan menyebabkan tersumbatnya aliran tenaga listrik kepada konsumen dan menyebabkan peralatan sistem tenaga listrik menjadi rusak. Dari hal tersebut untuk mengatasipasi hal tersebut dilakukan dengan cara :

1. Peralatan sistem tenaga listrik akan melalui jalur tes untuk membuktikan keandalannya, karena peralatan yang di bawah standar adalah sumber gangguan.
2. Pemasangan yang benar sesuai prosedur dan spesifikasi yang di berikan oleh pabrik sehingga semua peralatan tahan dan andal dalam keadaan normal maupun dalam keadaan abnormal atau adanya gangguan baik secara elektris, secara thermis maupun mekanis.
3. Menentukan jenis dan koordinasi isolasi yang tepat.
4. Pemasangan yang sesuai dengan desain benar, spesifikasi dan petunjuk dari pabrik pengambilan komponen.
5. Menggunakan *Circuit Breaker* dan Relai pengaman paa sistem jika terjadi gangguan maka secara otomatis akan terlepas dari peralatan yang terjadi gangguan.
6. Menggunakan perlatan yang mampu menanggulangi terjadinya hubung singkat.
7. Penebangan pohon pohon yang berdekatan dengan kawat fasa SUTT atau SUTM harus dilakukan secara terjadwal. Hal yang diperhatikan adalah bukan hanya jarak ketika tidak adanya angin juga dalam keadaan pohon pohon tersebut tertiuap angin.
8. Penggunaan kawat tanah yang baik pada SUTT menghindari tersambar petir.
9. Membuat sistem cadangan jika sistem uatama terjadi gangguan misalnya tersambar petir maka sistem utama memindahkan ke sistem cadangan supaya tidak mengganggu penyaluran beban ke konsumen.
10. Pemasangan penangkal petir (*Lightning Arester*) pada peralatan sistem tenaga listik agar tidak tersambar petir.
11. Membuat prosedur tata cara pemeliharaan agar tidak menghindari dari kesalahan agar tidak terjadi gangguan.
12. Operasi dan pemeliharaan yang baik dan terjadwal.
13. Menghilangkan atau mengurangi penyebab gangguan keruskan melalui penyelidikan yang teliti.

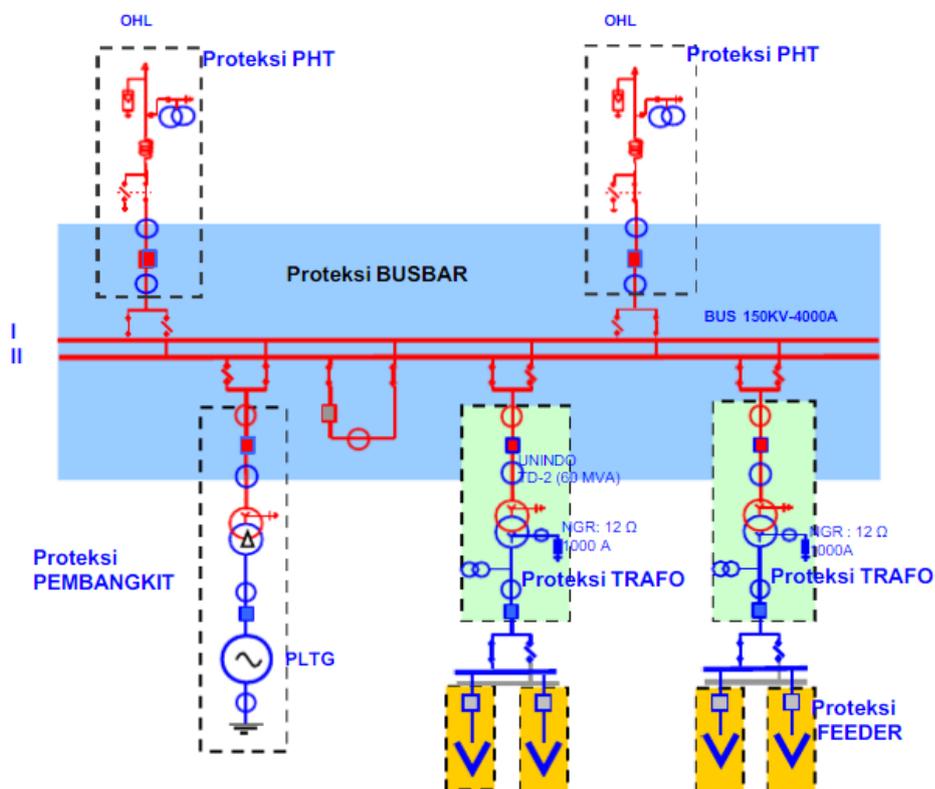
14. Menghindari hubung singkat dengan impedansi untuk membatasi arus, pemasangan reaktansi pada sistem pertahanan agar gangguan fase ke tanah sangatlah terbatas.

f. Proteksi dan Gangguan Pada Transformator di Gardu Induk

Sistem proteksi merupakan bagian yang sangat penting dalam suatu instalasi tenaga listrik, selain untuk melindungi peralatan utama bila terjadi gangguan hubung singkat, sistem proteksi juga harus dapat mengeliminir daerah yang terganggu dan memisahkan daerah yang tidak terganggu, sehingga gangguan tidak meluas dan kerugian yang timbul akibat gangguan tersebut dapat di minimalisasi.

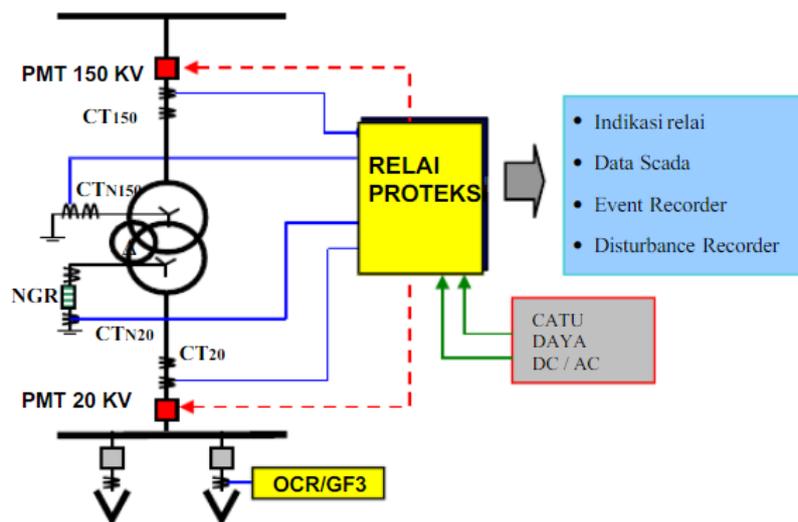
Relai proteksi gardu induk seperti yang terlihat pada gambar 2.9 terdiri dari :

- 1) Relai proteksi Trafo Tenaga
- 2) Relai proteksi busbar atau kopel
- 3) Relai proteksi PMT
- 4) Relai proteksi kapasitor dan reaktor



Gambar 2.9 Diagram Proteksi Gardu Induk

Peralatan proteksi transformator tenaga terdiri dari relai proteksi, transformator arus (CT), transformator tegangan (PT/ CVT), PMT, catu daya AC/ DC yang terintegrasi dalam suatu rangkaian, sehingga satu sama lainnya saling keterkaitan.



Gambar 2.10 Peralatan sistem proteksi trafo tenaga 150/20 Kv

Fungsi peralatan proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih sehat serta sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar.

#### 1. Gangguan Pada Transformator Tenaga

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

- a) Kebocoran minyak.
- b) Gangguan pada tap changer.
- c) Ketidaktahanan terhadap arus gangguan.
- d) Gangguan pada bushing.
- e) Gangguan pada sistem pendingin.
- f) Kegagalan isolasi pada belitan, lempengan inti atau baut pengikat inti atau penurunan nilai isolasi minyak yang dapat disebabkan oleh kualitas minyak

buruk, tercemar uap air dan adanya dekomposisi karena *overheating*, oksidasi akibat sambungan listrik yang buruk.

## 2. Fungsi Proteksi Transformator Tenaga Pada Gangguan

Untuk memperoleh *efektifitas* dan *efisien* dalam menentukan sistem proteksi transformator tenaga, maka setiap peralatan proteksi yang dipasang harus disesuaikan dengan kebutuhan dan prediksi gangguan yang akan terjadi yang mengancam ketahanan transformator itu sendiri. Tujuan dari adanya proteksi transformator tenaga pada gangguan adalah

- a) Mencegah kerusakan transformator karena adanya gangguan atau keadaan tidak normal pada transformator.
- b) Mendeteksi keadaan tidak normal yang dapat membahayakan transformator dan peralatan disekitar gangguan.
- c) Melepaskan bagian sistem yang terkena gangguan agar kerusakan instalasi yang terganggu dapat diminimalisir dari sistem lainnya yang sedang beroperasi.
- d) Memberikan pengaman atau proteksi cadangan bagian instalasi lainnya.
- e) Mengamankan manusia terhadap bahaya yang ditimbulkan oleh adanya gangguan listrik.

## 3. Cara Kerja Transformator Tenaga

Transformator bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Ketika Kumputan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik pada kumputan primer menimbulkan perubahan medan magnet. Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi. Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumputan, sehingga fluks magnet yang ditimbulkan akan mengalir ke kumputan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumputan sekunder akan timbul ggl induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik (*mutual inductance*). Bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaiannya beban) maka akan mengalir arus pada kumputan sekunder. Jika efisiensi sempurna (100%), semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder.

Jika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan AC (dialiri arus listrik AC), besi lunak akan menjadi elektromagnet. Karena arus yang mengalir tersebut adalah arus AC, garis-garis gaya elektromagnet selalu berubah-ubah. Oleh karena itu, garis-garis gaya yang dilingkupi oleh kumparan sekunder juga berubah-ubah. Perubahan garis gaya itu menimbulkan GGL induksi pada kumparan sekunder. Hal itu menyebabkan pada kumparan sekunder mengalir arus AC (arus induksi).

#### 4. Proteksi Utama Transformator Tenaga

Proteksi utama adalah suatu sistem proteksi yang diharapkan sebagai prioritas untuk mengamankan gangguan atau menghilangkan kondisi tidak normal pada transformator tenaga. Proteksi tersebut biasanya dimaksudkan untuk memprakarsainya saat terjadinya gangguan dalam kawasan yang harus dilindungi (IEC 15-05-025). Ciri-ciri pengaman utama :

- a) Waktu kerjanya sangat cepat seketika (*instanteneoues*).
- b) Tidak bisa dikoordinasikan dengan relai proteksi lainnya.
- c) Tidak tergantung dari proteksi lainnya.
- d) Daerah pengamanannya dibatasi oleh pasangan transformator arus, dimana relai differensial dipasang.

Relai yang biasa digunakan pada sebuah transformator daya pengaman pada saat terjadi nya gangguan adalah sebagai berikut:

- a) Relay Bhucollz



Gambar 2.11 Relay Bhucollz

Relay bucholz dipasang pada pipa dari maintank ke konservator ataupun dari OLTC ke konservator tergantung *design* transformatornya apakah dikedua pipa tersebut dipasang relai bucholz. Relai bucholz berfungsi untuk mendeteksi dan mengamankan gangguan di dalam transformator yang menimbulkan gas. Selama transformator beroperasi normal, relai akan terisi penuh dengan minyak. Pelampung akan berada pada posisi awal.

Bila terjadi gangguan yang kecil didalam tangki transformator, misalnya hubung singkat dalam kumparan, maka akan menimbulkan gas. Gas yang terbentuk akan berkumpul dalam relai pada saat perjalanan menuju tangki konservator, sehingga level minyak dalam relai turun dan akan mengerjakan kontak alarm (kontak pelampung atas). Bila level minyak transformator turun secara perlahan-lahan akibat dari suatu kebocoran, maka pelampung atas akan memberikan sinyal alarm dan bila penurunan minyak tersebut terus berlanjut, maka pelampung bawah akan memberikan sinyal trip. Bila terjadi busur api yang besar, kerusakan minyak akan terjadi dengan cepat dan timbul surja tekanan pada minyak yang bergerak melalui pipa menuju ke relai Bucholz.

b) Relai Jansen

*Tap changer* adalah alat yang terpasang pada transformator yang berfungsi untuk mengatur tegangan keluaran (sekunder) akibat beban maupun variasi tegangan pada sistem masukannya (*input*). *Tap changer* umumnya dipasang pada ruang terpisah dengan ruang untuk tempat kumparan, dimaksudkan agar minyak *tap changer* tidak bercampur dengan minyak tangki utama. Untuk mengamankan ruang *diverter switch* apabila terjadi gangguan pada sistem *tap changer*, digunakan pengaman yang biasa disebut rele jansen (*buchholtnya tap changer*). Rele jansen dipasang antara tangki tap changer dengan konservator minyak tap changer.

c) Relai Sudden Pressure

Relai tekanan lebih berfungsi hampir sama seperti relai buchollz yaitu mengamankan transformator dari gangguan internal. Bedanya relai ini hanya bekerja apabila terjadi kenaikan tekanan gas tiba-tiba yang disebabkan oleh hubung singkat

d) Over Current Relay

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

e) Relai Tanki Tanah

Berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap hubung singkat antara fasa dengan tangki transformator dan titik netral transformator yang ditanahkan. Relai yang terpasang, mendeteksi arus gangguan dari tangki transformator ketanah, kalau terjadi kebocoran isolasi dari belitan transformator ke tangki, arus yang mengalir ketanah akan dideteksi relai arus lebih melalui CT. Relai akan mentripkan PMT di kedua sisi (TT dan TM). Jadi arus gangguan kembali kesistem melalui pembumian transformator.

f) Diferential Relay

Relai diferensial berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan hubung singkat yang terjadi di dalam daerah pengaman transformator. Relai ini merupakan pengaman utama (*main protection*) yang sangat selektif dan cepat sehingga tidak perlu dikoordinir dengan relai lain dan tidak memerlukan *time delay*. Prinsip dari relai ini yaitu membandingkan arus yang masuk keperalatan dengan arus yang keluar dari peralatan tersebut.

## 5. Proteksi Cadangan Transformator Tenaga

Proteksi cadangan adalah suatu sistem proteksi (pengaman) yang dirancang untuk bekerja saat terjadi gangguan pada sistem tetapi tidak dapat diamankan oleh proteksi utama, karena kerusakan atau ketidak mampuan proteksi utama untuk mengamankan peralatan yang terganggu. Proteksi cadangan ini dipasang untuk bekerja sebagai pengganti apabila proteksi utama pada waktu proteksi utama gagal atau tidak dapat bekerja sebagaimana diharapkan. Ciri-ciri proteksi cadangan :

- a) Waktu kerjanya lebih lama dari proteksi utama atau waktu tunda (*time delay*), untuk memberi kesempatan kepada pengaman utama bekerja lebih dahulu.
  - b) Secara sistem, proteksi (pengaman) cadangan terpisah dari pengaman utama.
  - c) Relai proteksi (pengaman) cadangan harus dikoordinasikan dengan relai proteksi cadangan lainnya di sisi lain.
- g. Pola Proteksi Transformator Berdasarkan SPLN 52 – 1

Untuk meningkatkan keandalan penyediaan energi listrik, kebutuhan sistem proteksi yang memadai tidak dapat dihindarkan. Sistem proteksi terdiri dari peralatan CT, PT, PMT, Catu daya dc/ac, relai proteksi, teleproteksi yang diintegrasikan dalam suatu rangkaian wiring.

Disamping itu diperlukan juga peralatan pendukung untuk kemudahan operasi dan *evaluasi* seperti sistem *recorder*, sistem *scada* dan indikasi relai. Transformator adalah jantung dari sistem penyaluran tenaga listrik, diharapkan transformator memberikan kinerja yang maksimal mengingat kebutuhan tenaga listrik kepada konsumen yang terus meningkat. Dari hal tersebut dibutuhkan sistem proteksi yang handal untuk menunjang kebutuhan. Menurut Standar Perusahaan Umum Listrik Negara ( SPLN ) 52-1 : 1983 pola pengamanan transformator 150/66 kV, 150/20 kV dan 66/20 kV adalah sebagai berikut :

1. Transformator pada Gardu Induk harus menggunakan sistem proteksi untuk menjaga transformator dari gangguan di antaranya relai arus lebih, relai suhu, relai arus lebih, relai tekanan mendadak, relai arus hubung tanah, relai bucholz.
2. Transformator 150/20 kV dan 66/20 kV berkapasitas 10 MVA terpasang saklar pemutus beban pada sisi primer.
3. Relai termis harus terpasang pada transformator berkapasitas melebihi 10 MVA.
4. Relai differensial dan relai gangguan tanah terbatas harus terpasang pada transformator kapasitas 30 MVA.

Fungsi peralatan proteksi adalah untuk mengidentifikasi gangguan dan memisahkan bagian jaringan yang terganggu dari bagian lain yang masih sehat serta sekaligus mengamankan bagian yang masih sehat dari kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Sistem Proteksi harus memenuhi syarat sebagai berikut :

- a) Sensitif yaitu mampu merasakan gangguan sekecil apapun
- b) Andal yaitu akan bekerja bila diperlukan (*dependability*) dan tidak akan bekerja bila tidak diperlukan (*security*).
- c) Selektif yaitu mampu memisahkan jaringan yang terganggu saja.
- d) Cepat yaitu mampu bekerja secepat-cepatnya.

Jika proteksi bekerja sebagaimana mestinya, maka kerusakan yang parah akibat gangguan mestinya dapat dihindari/dicegah sama sekali, atau kalau gangguan itu disebabkan karena sudah adanya kerusakan (*insulation break down* di dalam peralatan), maka kerusakan itu dapat dibatasi sekecilnya. Selain itu bagian sistem/ peralatan yang dilalui arus gangguan dapat dihindari dan kestabilannya dapat terjaga. Dan pada tabel 2.1 berikut ini menunjukkan tentang kriteria sistem proteksi sesuai dengan standar SPLN 52-1.

Tabel 2.1 Kriteria Sistem proteksi Sesuai SPLN 52-1

No	Jenis Proteksi	Kapasitas		
		$\leq 10$	$10 < \div < 30$	$\geq 30$
1	Relai suhu	+	+	+
2	Relai bulcholz	+	+	+
3	Relai jansen	+	+	+
4	Relai tekanan lebih	+	+	+
5	Relai differensial	-	-	+
6	Relai Tangka Tanah	+	+	+

No	Jenis Proteksi	Kapasitas		
		$\leq 10$	$10 < \div < 30$	$\geq 30$
7	Relai Hubung Tanah Terbatas	+	+	+
8	Relai Beban Lebih ( OLR )	+	+	+
9	Relai arus lebih (OCR)	+	+	+
10	Relai hubung tanah (GFR)	+	+	+
11	Pelebur (Fuse)	+	-	-