

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **1.1 GARDU INDUK**

##### **1.1.1 Pengertian Umum Gardu Induk**

Gardu induk merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang di letakan pusatnya pada suatu tempat yang terdapat saluran transmisi, saluran distribusi, perlengkapan hubung bagi, perlengkapan trafo, alat pengaman, alat kontrol, dan ini merupakan komponen utama di dalam proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit kepada beban.

Pembangkit memiliki fungsi membangkitkan tenaga listrik dari generator yang akan diubah ke tegangan tinggi melalui transformator step up. Tenaga listrik yang bertegangan tinggi kemudian akan disalurkan melalui penghantar menuju gardu induk.

##### **1.1.2 Fungsi Gardu Induk**

Gardu Induk memiliki beberapa fungsi yaitu:

1. Mengubah listrik dengan tegangan tinggi ke tegangan tinggi yang lain atau ke tegangan menengah.
2. Pengawasan operasi, pengukuran, serta pengaturan keamanan sistem tenaga listrik.
3. Mengatur daya ke beberapa gardu Induk lain melalui tegangan tinggi dan beberapa gardu distribusi melalui gawai bertegangan menengah.

##### **1.1.3 Jenis Gardu Induk**

Gardu Induk yang ada di Indonesia dibedakan menjadi beberapa jenis gardu yaitu:

1. Berdasarkan besaran tegangan Gardu Induk yaitu:

- a. Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) berkisar 275 kV, 500 kV.
- b. Gardu Induk Tegangan Tinggi (GI) berkisar 70 kV, 150 kV

GITET dan GI memiliki perbedaan yaitu pada GITET memiliki trafo daya 1 fasa berjumlah tiga sedangkan GI memiliki satu trafo daya 3 fasa.

2. Gardu Berdasarkan Peralatan yang Dipasang

a. Gardu Induk Pasangan Dalam

Gardu induk ini hampir semua bagiannya dipasang didalam gedung. Bagian yang dipasang di dalam Gedung yaitu isolator, busbar, cubicle, komponen control, switchgear, komponen kendali dan lain-lain. Sedangkan trafo dayannya di pasang diluar Gedung. Gardu ini disebut juga Gas Insulated Substation (GIS).

GIS adalah bentuk Gardu Induk yang dikembangkan dan dibangun pada daerah padat pemukiman ataupun kota yang kurang lahan

b. Gardu Induk Pasangan Luar ( *Out Door Substation* )

GIPL adalah gardu yang tersusun dari trafo, peralatan hubung, peralatan control, dan switchboard. peralatan tegangan tinggi pasang luar, seperti transformator, peralatan penghubung yang terdapat peralatan kontrol pasang dalam, seperti meja penghubung.

c. Gardu Induk Sebagai Pasangan Luar

GISPL merupakan gardu induk yang beberapa peralatan bertegangan tinggi gardu dipasang di dalam gedung. Jenis gardu ini memiliki bermacam-macam bentuk yang mempertimbangkan keekonomisan dan cara mencegah kontaminasi garam.

d. Gardu Induk Pasangan Bawah Tanah

GIPBT merupakan gardu jenis pasang bawah tanah. Peralatan gardu ini hampir semua diletakkan di bawah tanah dalam bangunan. Alat pendingin dari gardu ini diletakkan di atas tanah.

e. Gardu Induk Mobil

GIM merupakan jenis gardu mobil, gardu ini peralatannya berada di atas kereta hela. Penggunaan gardu ini terjadi apabila terdapat gangguan yang muncul di gardu lainnya. Jika terjadi gangguan gardu ini dioperasikan untuk mencegah terjadi beban lebih dan gardu ini dioperasikan pada tempat pembangunan sistem tenaga listrik. Gardu ini bukan gardu utama tapi hanya sebagai gardu cadangan yang bisa dipindahkan.

3. Berdasarkan Isolasi yang digunakan.

a. Gardu Induk Isolasi Udara

GIU merupakan gardu induk yang memiliki isolasi udara untuk setiap peralatan instalasinya. Gardu ini membutuhkan lahan yang cukup luas karena peralatan instalasinya Sebagian besar dipasang di luar gedung dan Sebagian kecilnya berada di dalam gedung.

b. Gardu Induk Isolasi Gas

GIIS merupakan gardu induk yang peralatannya dipasang di dalam tabung dan di dalam gedung, sehingga peralatan switchgear nya diisolasikan oleh gas SF-6.

4. Menurut Fungsinya

a. Gardu induk sebagai tempat pengaturan pelayanan beban ke gardu distribusi atau ke gardu induk lain melalui tegangan tinggi, tegangan

tinggi ini kemudian melewati penyulang untuk proses penurunan tegangan.

b. Perubah daya listrik:

- Merubah tegangan 500 KV (Tegangan ekstra tinggi) ke tegangan 150 KV (tegangan tinggi).
- Tegangan tinggi 150 KV ke tegangan rendah 70 KV
- Tegangan 150 KV ke tegangan 20KV dan tegangan 70 KV ke tegangan 20 KV.
- Di Indonesia frekuensinya 50 Hertz.

c. Pengawasan operasi sistem tenaga listrik, pengukuran sistem tenaga listrik, dan pengamanan pada sistem.

d. Untuk SCADA yaitu sarana telekomunikasi.

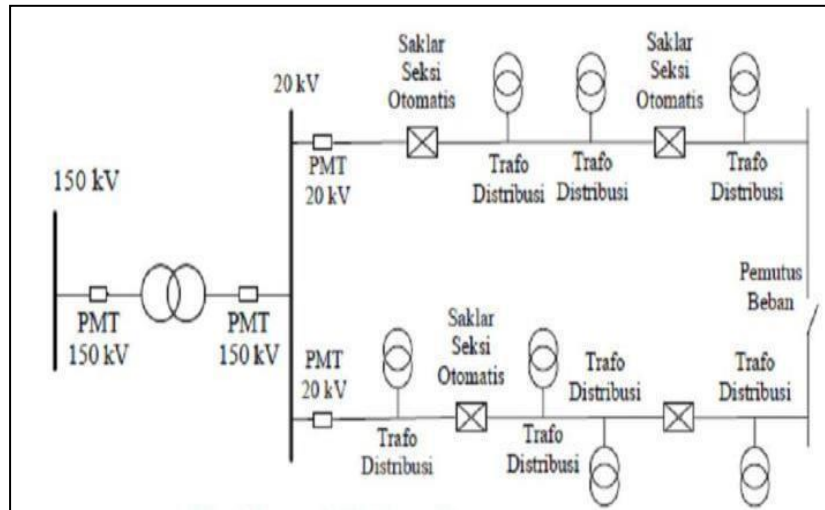
5. Berdasarkan Sistem Busbar

Busbar ini adalah titik pertemuan yang menghubungkan antara trafo daya dengan komponen yang lain, untuk menyalurkan tenaga listrik atau untuk menerima tenaga listrik.

Sistem ini dapat dibagi menjadi beberapa jenis, seperti:

a. Sistem Ring Busbar Gardu Induk

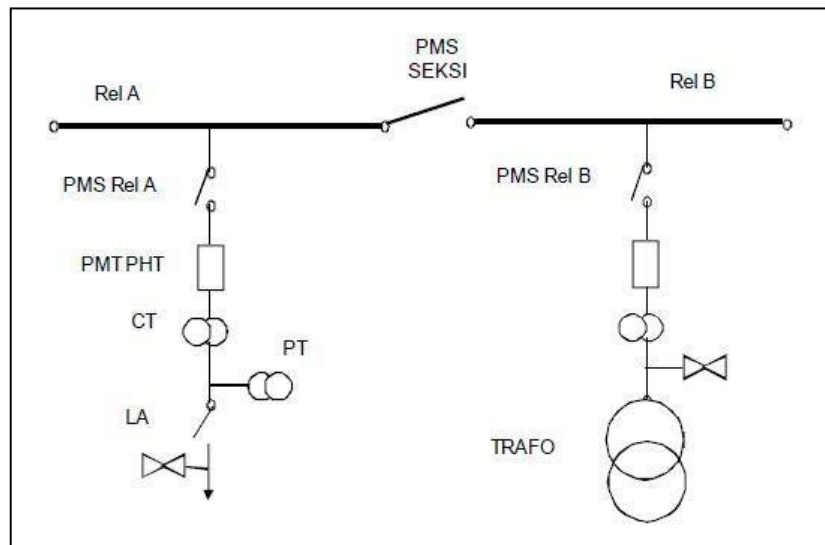
Gardu induk ini merupakan gardu yang memiliki bentuk ring pada busbar nya. Busbar (rel) pada gardu ini saling terhubung dan berbentuk ring.



Gambar 2.1 GI Ring Busbar

b. Sistem single busbar pada Gardu Induk

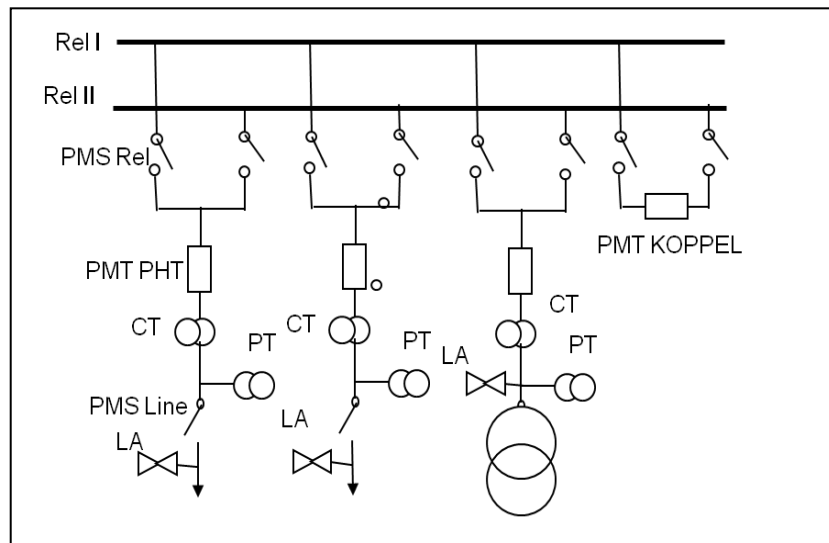
Gardu ini umumnya terdapat pada akhir suatu sistem tenaga listrik. Gardu ini memiliki satu busbar.



Gambar 2.2 Gardu Induk *Single Busbar*

c. Sistem Double Busbar pada Gardu Induk

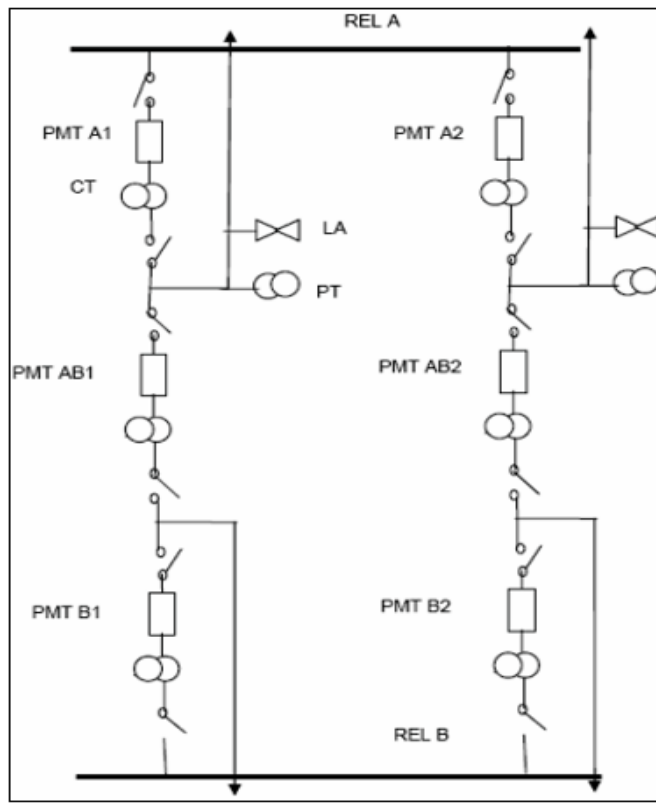
Gardu Induk ini dapat mengurangi terjadinya padam listrik Ketika terjadi perubahan terhadap sistem. Gardu ini memiliki jumlah busbar dua.



Gambar 2.3 Gardu Induk *Double Busbar*

d. Sistem Satu Setengah Busbar Gardu Induk

Gardu Induk busbar On Half ini merupakan gardu yang terpasang pada gardu induk yang memiliki pembangkit atau gardu induk yang memiliki kapasitas besar. Pada gardu ini terdapat dua busbar dan 3 PMT yang dipasang seri. Gardu ini dapat mengurangi pemadaman pada beban saat terjadi perubahan dalam sistem.



Gambar 2.4 Gardu Induk Sistem *On Half Busbar*

#### 1.1.4 Komponen Gardu Induk

Gardu induk memiliki komponen utama seperti:

##### 1) Switch Yard

Switch yard merupakan bagian dari gardu tempat komponen utama berada. Sedangkan switch gear merupakan tempat terbatas komponen utama dipasang. Tempat dipasangnya ini seperti di dalam gedung.

##### 2) Transformator Tenaga

Transformator tenaga merupakan suatu peralatan listrik yang termasuk kedalam klasifikasi mesin listrik statis, memiliki fungsi sebagai alat yang dapat merubah besar suatu tegangan tetapi frekuensi nya tidak berubah. Trafo ini memiliki trafo pentanahan yang memiliki fungsi menemukan titik netral dari trafo tenaga.

##### 3) *Neutral Grounding Resistance*

NGR merupakan alat (komponen) yang terpasang di antara pentanahan dengan titik netral trafo. Alat ini memiliki fungsi menyalurkan arus gangguan fasa pada sistem.

#### 4) Pemutus Tenaga

PMT atau bisa disebut juga circuit breaker merupakan alat pemutus yang dapat memutus rangkain listrik dengan keadaan di aliri arus. Pemutus ini dapat dioperasikan Ketika jaringan dalam kondisi terjadinya gangguan ataupun Ketika kondisi jaringan dalam keadaan normal. Pemutus tenaga ini dibagi menjadi 3 yaitu:

- Pemutus yang menggunakan udara untuk pemadam busur api.
- Pemutus yang menggunakan gas untuk pemadam busur api.
- Pemutus yang menggunakan minyak untuk pemadam busur api.

#### 5) Saklar Pemisah

PMS ini atau disebut juga Disconnecting Switch merupakan peralatan pemisah yang memiliki fungsi untuk memisahkan rangkain, namun pemisahan ini dilakukan dalam keadaan tidak berbeban hal ini dikarenakan saklar pemisah ini hanya dapat dioperasikan Ketika rangkaian listrik tidak di aliri arus listrik oleh sebab itu pemutus tenaga harus dioperasikan dahulu sebelum PMS dioperasikan.

Menurut kegunaanya pemisah dibagi menjadi 2:

- Pemisah Peralatan

Memiliki fungsi untuk mengamankan instalasi yang bertegangan saat sedang dihubungkan dan sebagai alat yang dapat melepaskan pemutus arus dalam keadaan tidak bereban.

- Pemisah Tanah



Memiliki fungsi untuk mengamankan peralatan setelah SUTT atau SUTM diputuskan dari sisa tegangan setelah dilakukan pemutusan.

6) *Lightning Arrester*

Penghantar listrik ini memiliki fungsi sebagai pelindung peralatan listrik yang ada di gardu dari sambaran petir beretegangan pada penghantar (kawat transmisi). Dalam keadaan terjadi gangguan LA ini akan dapat menyalurkan arus listrik atau bersifat konduktif, sedangkan dalam keadaan normal tanpa gangguan maka LA tidak dapat menyalurkan arus listrik atau bersifat konduktif.

7) Transformator Arus

Transformator arus atau disebut juga Current Transformator memiliki fungsi sebagai alat yang dapat memperkecil besaran arus listrik pada sistem tenaga menjadi arus untuk sistem proteksi dan pengukuran atau dapat merubah arus besar menjadi arus kecil.

Transformator arus ini dapat dibagi menurut tipe konstruksi yaitu:

- Tipe tangki minyak, Tipe cincin, Tipe cor-coran cast resin.

8) Transformator Tegangan

Potential Transformator (PT) atau trafo tegangan memiliki fungsi sebagai perubah besaran tegangan, yang dapat tegangan tinggi menjadi tegangan rendah. Trafo tegangan ini dapat memperkecil besaran tegangan listrik menjadi besaran tegangan untuk proteksi dan pengukuran pada sistem tenaga listrik. Penggunaan tegangan trafo tegangan sekunder ini pada:

- Proteksi seperti relai jarak, relai berarah, relai sinkron, relai frekuensi dan relai tegangan.
- Sebagai pengukuran seperti pada MVar meter, KV meter, KWh Meter dan MW meter.

Trafo tegangan ini memiliki prinsip kerja yaitu:

Trafo tegangan ini memiliki kumparan yang akan dialiri arus DC kemudian arus DC ini akan mengalir ke inti besi, inti besi ini akan berubah menjadi magnet dan Ketika magnet dikelilingi oleh suatu belitan maka akan terjadi beda tegangan di kedua ujung itu.

Trafo tegangan dapat dibedakan menjadi beberapa jenis menurut konstruksinya:

- Transformator tegangan 3 fasa dan 1 fasa.
- Transformator tegangan induktif atau di sebut juga inductive voltage transformer yang terdiri dari lilitan primer dan sekunder. Lilitan primer akan menginduksikan tegangan ke lilitan sekunder.
- Trafo kapasitif memiliki fungsi sebagai pembagi tegangan yang terdiri dari rangkaian kondensator.

#### 9) Transformator Pemakaian Sendiri

TPS merupakan trafo yang biasa digunakan untuk kebutuhan internal pada gardu induk seperti untuk penerangan pada halaman GI, Gedung control, sebagai alat pendingin, sebagai pompa air, dll. TPS ini menjadi sumber tegangan AC 3 Fasa 220 volt atau 380 volt.

#### 10) Gedung Kontrol

Gedung ini memiliki fungsi sebagai pusat aktifitas pengoperasian GI

#### 11) Rel Busbar

Rel busbar ini memiliki fungsi untuk menjadi titik hubung atau titik pertemuan antara SUTT SKTT, Trafo daya, maupun komponen listrik lainnya yang terdapat pada switch yard

## 12) Control Panel

Panel control ini memiliki fungsi sebagai pusat kendali dan untuk mengetahui kondisi dari GI. Di dalam panel control berisi indicator, beberapa tombol komando PMS, PMT dan alat ukur untuk mengukur besaran listrik serta saklar dan annunciator. Panel ini biasanya terdapat dalam 1 ruangan dengan tempat operator bekerja. Tempat ini merupakan gedung control.

Pada rel control terdapat beberapa indikator seperti: 400 V AC fault, 110 V DC charger, 24 V DC charger, low pressure, Distance protective trip, autorecloser, isolating witch on load control, breaker failure protection trip, apparatus motor fault 150 KV, Busbar protection fault dll.

## 13) Sumber DC Gardu Induk

Baterai memiliki fungsi sebagai alat untuk menggerakkan realay pengaman, motor penggerak, peralatan control, PMS, PMT dan lainnya. Baterai ini terhubung dengan rectifier.

Baterai dapat dibedakan menjadi 2 menurut bahan elektrolitnya:

- Baterai alkali merupakan baterai yang menggunakan larutan alkali.
- Baterai timah hitam yang menggunakan larutan asam belerang sebagai elektrolit.

## 14) Panel Proteksi

Panel ini memiliki fungsi sebagai alat proteksi yang melindungi sistem gardu induk saat terjadi kesalahan operasi ataupun saat terjadi gangguan. Pada pane ini berisi peralatan elektro yang presisi.

Relai dan panel proteksi ini memiliki nama menurut fungsi masing-masing.

## 15) Panel AC atau Panel DC

Pada panel ini dipasang fuse atau saklar kecil yang berfungsi membagi pengaman dan beban dari instalasi yang berada di GI. Panel ini berbentuk lemari.

#### 16) Sistem Proteksi

Sistem proteksi merupakan pengaman pada peralatan litrik, mengamankan gangguan yang disebabkan oleh gangguan alam, gangguan teknis, terjadi kesalahan operasional dan lain-lain. Terdapat beberapa komponen di GI yang membutuhkan penggunaan sistem proteksi seperti: trafo daya, rel busbar dan penghantar atau SUTT.

#### 17) Kubikel 20 kV

Kubikel merupakan switchgear untuk tegangan 20 kV (tegangan menengah) yang berasal dari keluaran trafo daya. Kemudian keluaran ini akan diteruskan kepada para konsumen melalui feeder (penyulang) yang dihubungkan dengan kubikel tersebut. Rangkaian pada kubikel yaitu: panel penghubung, PMT, CT, komponen proteksi dan pengukur, panel penghubung, bus section, penyulang.

## 1.2 Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

### 1. Faktor-faktor penyebab gangguan

Sistem tenaga listrik terdiri oleh banyak komponen yang sangat kompleks. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan terjadi gangguan pada sistem seperti:

#### - Faktor Manusia

Faktor ini terjadi karena kelalaian atau kesalahan yang dilakukan manusia dalam memperlakukan suatu sistem. Kesalahan ini seperti salah dalam melakukan kalibrasi pada pengaman, salah dalam menyambungkan suatu rangkain, dan lain-lain.

#### - Faktor *Internal*

Faktor ini menyangkut gangguan-gangguan yang berasal dari sistem itu sendiri. Misalnya usia pakai (ketuaan), keausan, dan sebagainya. Hal ini bias mengurangi sensitivitas relai pengaman, juga mengurangi daya isolasi peralatan listrik lainnya.

- Faktor *Eksternal*

Faktor ini meliputi gangguan- gangguan yang bersal dari lingkungan di sekitar sistem. Misalnya cuaca, gempa bumi, banjir, dan sambaran petir. Di samping itu ada kemungkinan gangguan dari binatang, misalnya gigitan tikus, burung, kelelawar, ular, dan sebagainya.

## 2. Jenis Gangguan

Jenis gangguan dapat dikelompokkan menurut sifat dan penyebabnya yaitu:

- Tegangan Lebih

Keadaan tegangan lebih adalah sebuah gangguan yang terjadi akibat pada sistem tenaga listrik muncul tegangan yang lebih besar dari pada tegangan operasional sistem.

### 1. Kondisi Internal

Kondisi internal ini terjadi karena terdapat suatu perubahan yang tiba-tiba pada rangkaian atau bisa juga karena terjad resonansi. Contohnya terjadi perubahan beban yang mendadak, terjadi operasi pelepasan PMT yang tiba-tiba dikarenakan hubung singkat pada jaringan dan lain-lain.

### 2. Kondisi External

Salah satu contoh kondisi ini terjadi apabila ada gangguan yang disebabkan oleh petir. Menara listrik seperti SUTT yang memiliki ukuran cukup tinggi kemungkinan akan terkena sambaran petir. Jika arus petir ini besar sedangkan tahanan pentanahan yang dimiliki Menara listrik kurang baik maka dapat menimbulkan tegangan tinggi pada Menara, SUTT, maupun penghantar. Keadaan ini mengakibatkan terjadi

loncatan muatan dari menara ke penghantar fasa. Pada penghantar fasa akan timbul gangguan tegangan dan gelombang tegangan tinggi petir yang dapat disebut surja petir. Surja petir akan mengalir menuju peralatan yang berada di GI.

- Hubung Singkat

Hubung singkat terjadi Ketika penghantar bertegangan dan tidak bertegangan terhubung secara langsung atau tidak melalui media seperti resistor sehingga muncul aliran arus yang sangat besar (tidak normal). Hubung singkat ini termasuk jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Pada komponen peralatan listrik tentu memiliki isolasi, namun karena usia pemakaian maupun keausan keketatan isolasi itu bisa kehilangan kemampuan dan hal ini dapat membuat hubung singkat terjadi.

Gangguan hubung singkat pada isolasi cair dan padat biasanya mengakibatkan busur api yang dapat menimbulkan kerusakan yang permanent. Pada isolasi udara di saluran udara tegangan menengah atau tegangan tinggi jika muncul busur api dan terjadi pemadaman namun pemadaman ini tidak menimbulkan kerusakan, maka gangguan ini disebut sebagai gangguan sementara (temporer). Ketika terjadi hubung singkat maka akan menimbulkan arus yang sangat besar dan dapat mengakibatkan kerusakan peralatan maka ketika terjadi hubung singkat perlu dilakukan pemutusan antara bagian terganggu dengan bagian tidak terganggu. Pemutusan dengan peralatan PMT atau CB.

Hubung singkat ini dapat terjadi pada sistem tenaga listrik seperti:

- satu fasa dengan tanah,
- fasa dengan fasa, 2 fasa dengan tanah,
- fasa dan fasa juga pada waktu bersamaan dari fasa tiga ke tanah
- 3 fasa dan tanah

- Hubung singkat 3 fasa.

- Beban Lebih

Gangguan beban lebih merupakan gangguan yang muncul Ketika konsumsi energi listrik lebih besar dari energi pembangkitan. Gangguan beban lebih atau yang disebut juga over load ini sering terjadi pada trafo daya dan generator. Beban lebih ini terlihat Ketika muncul arus lebih pada komponen yang dapat menimbulkan panas yang berlebihan sehingga menimbulkan kerusakan isolasi sistem. Pada trafo distribusi sekunder yang mengalirkan tenaga listrik pada konsumen akan melakukan pemutusan aliran listrik jika konsumen mengkonsumsi tenaga listrik melebihi kemampuan trafo. Pemutusan ini dilakukan oleh relai beban lebih.

- Gangguan Daya Balik

Gangguan ini terjadi Ketika terdapat perubahan fungsi generator menjadi beban (motor) pada pembangkit. Akibat perubahan fungsi generator ini akan membuat Sebagian generator berubah menjadi motor dan Sebagian berbeban lebih. Untuk mengatasi ganggua ini bisa dengan melepas daerah yang terjadi hubung singkat atau melepas generator yang mengalami gangguan. Cara menanggulangi gangguan ini dapat melengkapi generator dengan relai daya balik.

### 3. Kategori Gangguan pada Pengujian atau Pemeriksaan di bay penghantar.

Gangguan bay penghantar dapat dibedakan menjadi dua kategori yaitu:

#### a. Gangguan Sistem

Gangguan sistem adalah gangguan yang terjadi di sistem tenaga listrik (sisi primer) seperti pada generator, transformator, SUTT, SKTT dan lain sebagainya. Gangguan sistem dapat dikelompokkan sebagai gangguan temporer dan gangguan permanen.

Gangguan Temporer adalah gangguan yang hilang dengan sendirinya bila PMT terbuka, misalnya sambaran petir yang menyebabkan flash over pada isolator SUTT. Pada keadaan ini PMT dapat segera dimasukkan kembali, secara manual atau otomatis dengan Auto Recloser.

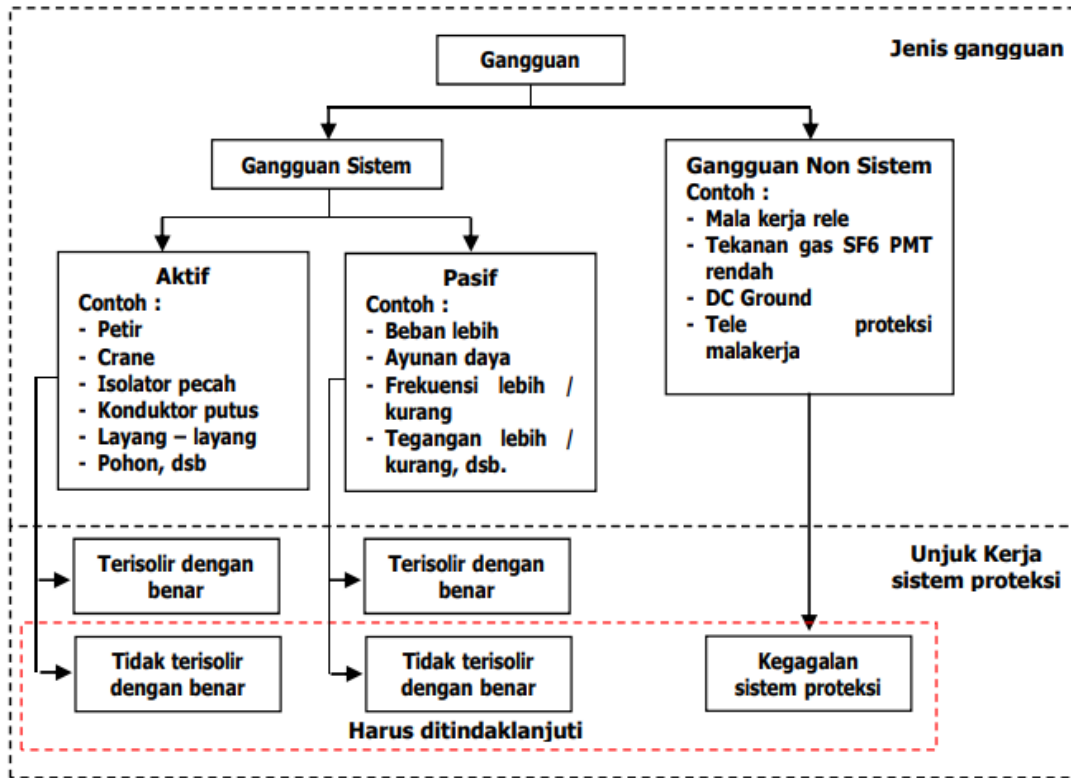
Gangguan Permanen adalah gangguan yang tidak hilang dengan sendirinya, sedangkan untuk pemulihan diperlukan perbaikan, misalnya kawat SUTT putus. Gangguan sistem dapat bersifat controllable (dalam pengendalian O&M) dan uncontrollable (diluar pengendalian O&M).

b. Gangguan Non Sistem

PMT terbuka tidak selalu disebabkan oleh terjadinya gangguan pada sistem, dapat saja PMT terbuka oleh karena relai yang bekerja sendiri atau kabel kontrol yang terluka atau oleh sebab interferensi dan lain sebagainya. Gangguan seperti ini disebut gangguan bukan pada sistem, selanjutnya disebut gangguan non–sistem (sisi sekunder). Jenis gangguan non-sistem antara lain:

- Kerusakan komponen relai
- Kabel control terhubung singkat
- Interferensi atau induksi pada kabel control



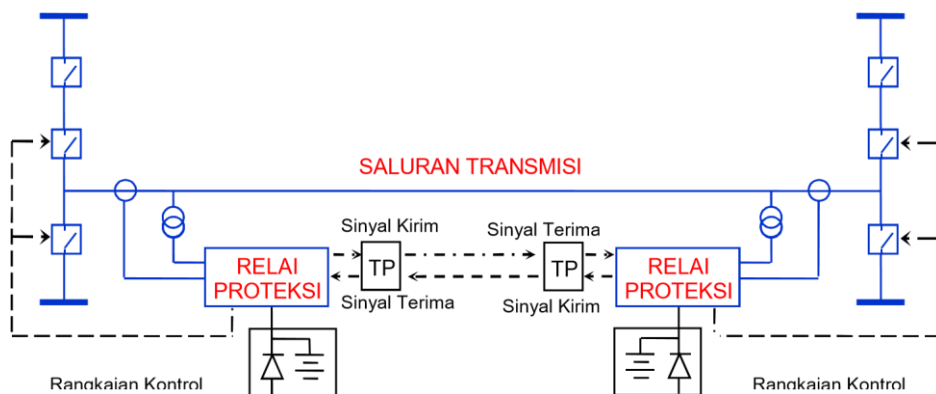


Gambar 2.5 Jenis Gangguan

## 2.3 Proteksi Penghantar

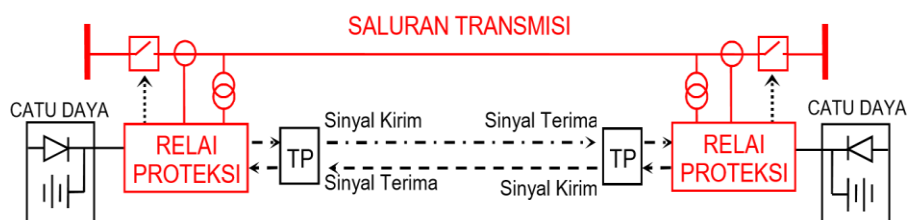
### 2.3.1 Pengertian Sistem Proteksi Bay Penghantar

Sistem proteksi bay penghantar merupakan sistem yang memiliki fungsi untuk melakukan pengamanan atau pemisahan penghantar seperti saluran udara (saluran kabel) tegangan ekstra tinggi maupun tegangan tinggi dari gangguan yang bersifat permanen dan bersifat temporer pada penghantar. Umumnya bagian sistem proteksi penghantar ini seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.6 Rangkaian Kontrol Sistem Proteksi

Sistem proteksi memiliki komponen berupa PT (Trafo tegangan), CT (trafo arus), PMT (pemutus tenaga), teleproteksi, dan wiring.



Gambar 2.7 Rangkaian Catu Daya Sistem Proteksi

Proteksi bay penghantar memiliki daerah kerja diantar dua atau lebih trafo arus gardu induk yang saling berhadapan atau bisa disebut juga sebagai unit proteksi penghantar.

### 2.3.2 Pola Proteksi Penghantar

Pola dari proteksi penghantar ini umumnya menggunakan skema proteksi relai jarak dan relai differensial saluran. Pola proteksi bay penghantar ini diklasifikasikan menjadi:

1. Pola Proteksi Penghantar 150 kV dan 70 kV

Tabel 2.1 Pola Proteksi Penghantar 150 kV dan 70 kV

Saluran yang Diproteksi	Proteksi Utama	Proteksi Cadangan	Saluran Telekomunikasi
SUTT 150 KV Saluran Pendek (SIR >4)	Teleproteksi CD	Cad 1: Z+DEF (DEF Optional) Cad 2: OCR + GFR	FO
SUTT 150 KV Saluran Sedang (0.5 ≤ SIR ≤ 4) dan Panjang (SIR < 0.5)	Teleproteksi Z+DEF (DEF Optional)	OCR + GFR	PLC / FO
SKTT 150 KV Saluran Pendek	Pilot wire CD	OCR + GFR	FO
SKTT 150 KV Saluran Sedang dan Panjang	Teleproteksi CD	OCR + GFR	Pilot wire / FO
SUTT 70 KV Pentanahan netral dengan tahanan tinggi	Alternatif 1: Fasa fasa: relay jarak (Reactance Relay) Fasa tanah: 64V + 50SG ( <i>Selective Ground Relay</i> ) atau Fasa tanah: 67G + 50G ( <i>Directional Selective Ground Relay</i> ) Alternatif 2: Fasa – fasa Teleproteksi Z Fasa – Netral Teleproteksi DEF	Alternatif 1: OCR + GFR  Alternatif 2: OCR + GFR	PLC / FO
SUTT 70 KV Pentanahan netral dengan tahanan rendah	Teleproteksi Z+DEF (DEF Optional)	OCR + GFR	PLC / FO
SKTT 70KV Pentanahan netral dengan tahanan tinggi dan tahanan rendah	Fasa fasa: Teleproteksi CD Fasa tanah: Teleproteksi CD	Relay Jarak OCR + GFR	Pilot wire / FO

### 2.3.3 Jenis Relai Penghantar

- 1) Relai Diferensial

Relai diferensial saluran atau *Line Differential Relay* adalah salah satu jenis proteksi utama pada penghantar yang bekerja berdasarkan pengukuran perbedaan parameter arus.

## 2) *Distance Relay*

*Distance relay* adalah salah satu jenis proteksi penghantar yang bekerja berdasarkan perbandingan nilai impedansi. *Distance relay* akan bekerja bila impedansi yang di ukur dari besaran arus CT dan tegangan PT/CVT lebih kecil dari impedansi setelan. Selain sebagai proteksi utama penghantar, relai ini juga berfungsi sebagai proteksi cadangan jauh terhadap proteksi utama penghantar di depannya. Terdapat beberapa zona proteksi yaitu:

### a. Proteksi Utama Zona 1

Proteksi utama pada *distance relay* adalah proteksi yang bekerja tanpa waktu tunda dengan jangkauan terbatas pada seksi (*section*) penghantar itu sendiri.

Dengan mempertimbangkan faktor kesalahan (*percentage error*) CT,PT/CVT, relai proteksi, faktor keamanan (*safety margin*) dan parameter jaringan, maka zona 1 disetelmenjangkau 80% - 85% dari impedansi saluran.

### b. Proteksi cadangan Jauh (Zona 2 dan Zona 3)

Proteksi cadangan jauh pada *distance relay* adalah proteksi yang dicadangkan untuk bekerja apabila proteksi utama seksi di depannya gagal bekerja.

Zona 2 umumnya disetel dengan jangkauan minimum mencapai impedansi saluran sampai dengan gardu induk di depannya (tetapi tidak melebihi impedansi terkecil trafo di GI depannya) dengan waktu tunda antara 300-800 milidetik. (tergantung jangkauan impedansi dan koordinasi dengan waktu dengan Zone 2 di depannya )

Zona 3 disetel dengan jangkauan mencapai impedansi saluran sampai dengan 2 (dua) gardu induk terjauh didepannya (terbesar secara impedansi, tetapi tidak melebihi impedansi terkecil trafo di GI didepannya) dengan waktu tunda maksimum 1600 milidetik. Proteksi cadangan jauh tidak disetel sampai memasuki daerah impedansi transformator didepannya.

c. Teleproteksi

Teleproteksi ini adalah rangkaian peralatan yang memiliki fungsi untuk menerima maupun mengirim sinyal dari suatu gardu induk menuju gardu induk lain di didepannya supaya memberikan perintah untuk melakukan trip. Teleproteksi memiliki pola yaitu:

- PUTT (Permissive Underreach Transfer Trip Scheme)

Pada pola PUTT peralatan teleproteksi mengirim sinyal ke peralatan teleproteksi pada GI yang berada di didepannya apabila terdeteksi suatu gangguan di zona 2. Pada GI yang menerima sinyal itu, jika relai jarak mendeteksi gangguan di zona 2 maka akan mengirimkan perintah trip di waktu zona tersebut.

- POTT (Permissive Overreach Transfer Trip)

Pada POTT ini peralatan teleproteksi mengirim sinyal menuju peralatan teleproteksi yang berada di GI hadapannya jika mendeteksi gangguan pada zona 2. Pada GI yang menerima sinyal, jika relai jarak mendeteksi adanya gangguan di zona 2 maka akan memberikan perintah trip pada waktu zona.

- *Blocking Scheme*

Pola blocking scheme peralatan teleproteksi mengirim sinyal menuju peralatan teleproteksi yang berada di GI depannya jika relai jarak mendeteksi munculnya gangguan di daerah belakang. Pada GI yang menerimal sinyanya jika relai jarak mendeteksi adanya gangguan di daerah depan zona dua maka relai memberikan suatu perintah blok. Jika relai tidak menerima sinyal namun mendeteksi gangguan di zona dua (pada daerah depannya) maka relai memberikan perintah untuk trip seketika.

d. *Power Swing Block*

PSB merupakan fitur yang ada pada relai jarak yang memiliki fungsi mencegah relai bekerja, memberikan perintah untuk melakukan trip Ketika terjadinya power swing dan impedansi sistem masuk ke zona impedansi relai.

- *Switch On To Fault*

*Switch On To Fault* (SOTF) atau Trip On Reclose (TOR) merupakan fitur dari relai jarak yang memiliki fungsi untuk membuat PMT melakukan trip seketika supaya meminimalisir relai jarak tidak siap Ketika terjadi gangguan saat pemberian tegangan ataupun saat menutup PMT dengan manual maupun ketika menggunakan autorecloser.

- DEF (Directional Earth Fault)

DEF merupakan relai arus lebih berarah yang dilengkapi deteksi arus  $3I_0$  dan referensi tegangan  $-3V_0$  yang bekerja mengamankan penghantar dari gangguan fasa ke tanah yang bersifat tahanan tinggi (*high resistance*) yang tidak terdeteksi oleh *distance relay*. Relai ini digunakan sebagai pelengkap *distance relay*.

- DEF Utama

Directional Earth Fault utama merupakan DEF yang dilengkapi teleproteksi. Cara kerja DEF ini adalah ketika menerima sinyal teleproteksi dari GI yang ada di depannya maka DEF akan bekerja seketika. Waktu kerja DEF utama ini memiliki waktu tunda sekitar 20 sampai 100 milidetik agar waktu kerja DEF dan proteksi utama berupa relai jarak berbeda.

- DEF *Back UP*

DEF ini memiliki waktu tunda untuk bekerja lebih lama daripada waktu tunda zona 3 relai jarak atau sekitar dua detik. Kerja DEF backup ini juga tidak memerlukan kiriman sinyal dari GI yang ada didepannya

3) OCR/GFR

OCR atau GFR merupakan relai yang digunakan untuk proteksi cadangan local pada proteksi penghantar dan relai ini termasuk sebagai relai arus lebih. OCR umumnya digunakan untuk melakukan pengamanan pada penghantar dari gangguan pada fasa ke fasa dan GFR berfungsi untuk melakukan pengamanan penghantar dari gangguan fasa ke tanah

4) Relai Cek Sinkron

Relai ini merupakan relai bantu bay penghantar dipasang pada sistem yang memiliki sumber lebih dari satu, memerlukan fungsi cek sinkron yang dapat memastikan kondisi antara kedua sisi dari penghantar dalam keadaan sinkron sebelum pemutus tutup. Relai ini dilengkapi dengan fungsi cek tegangan untuk kebutuhan operasional.

5) *Autorecloser Relay* (AR)

Relai penutup balik otomatis ini dipasang pada bay penghantar saluran udara seperti pada TET (tegangan ekstra tinggi) atau pada SUTT. Ini dikarenakan saluran udara merupakan salah satu bagian sistem penyaluran yang sering mengalami

gangguan. Penyebab dari gangguan yang terjadi kebanyakan merupakan gangguan yang bersifat temporer dan akan segera menghilang Ketika PMT trip berhasil dilakukan. Pengoperasian autorecloser dibutuhkan agar pasokan tenaga listrik tetap terjaga dan batas stabilitas tetap terpelihara.

Waktu durasi dead time (penutupan durasi) maksimal tergantung kemampuan stabilitas sistem dan minimalnya lebih lama dari kemampuan duty cycle PMT serta lebih lama dari waktu pemadaman busur api.

#### 6) Skema Khusus

Bay penghantar ini memiliki skema khusus pada kondisi tertentu untuk pengoperasian sistem. Dalam pengoperasian sistem maka relai bay penghantar ini dilengkapi dengan OLS dan voltage relai.

##### - *Under Voltage Relay* dan *Over Voltage Relay*

Relai tegangan kurang (UVR) merupakan relai yang bekerja Ketika mendeteksi adanya tegangan kurang pada bay penghantar. Relai tegangan lebih (OVR) merupakan relai yang bekerja dengan waktu tunda dan bekerja Ketika mendeteksi adanya tegangan lebih di bay penghantar.

##### - *OLS (Over Load Shedding)*

OLS merupakan relai arus lebih yang memiliki fungsi untuk melepas beban Ketika terjadi kenaikan arus beban yang mendadak. Kenaikan arus mendadak ini disebabkan oleh adanya pengalihan beban karena trip nya suatu penghantar.

##### - *Selector Switch*



Selektor ini merupakan saklar pilih untuk beberapa fungsi tertentu seperti sakelar Local ( supervisory/ remote), sakelar ON dan OFF, Sakelar A/R ( SPAR, SPAR+TPAR dan TPAR), sakelar sinkron.

- *Discrepancy Control Switch*

Peralatan yang berfungsi untuk merubah status PMT dan PMS. Pengoperasian switch ini dilakukan dengan menekan dan memutar. Switch ini dilengkapi dengan lampu indikator ketidaksesuaian status peralatan terkait.

- Meter

Peralatan yang berfungsi untuk memberikan informasi besaran arus (A), tegangan (kV), daya aktif (MW) dan daya reaktif (MVAR).

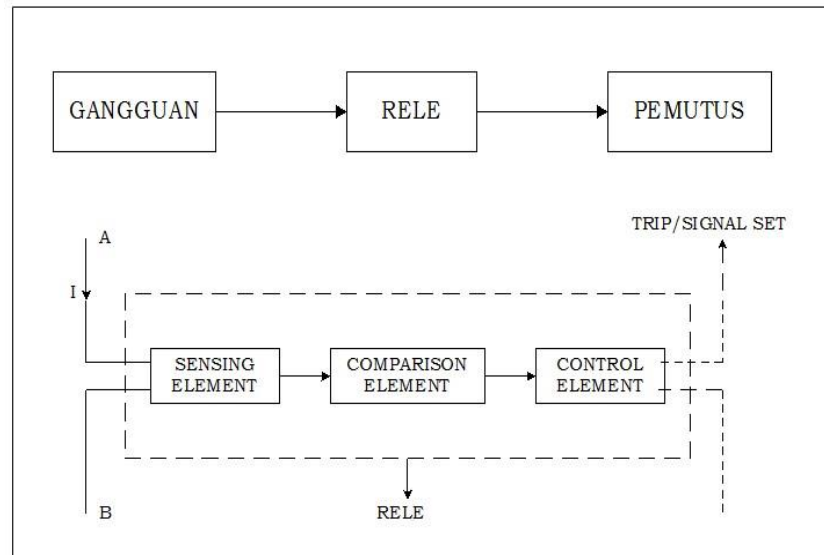
- *Trip Circuit Supervision (TCS)*

Peralatan yang berfungsi untuk memonitor kesiapan rangkaian trip. TCS akan memberikan informasi jika telah terjadi gangguan pada rangkaian Trip dari relai ke tripping coil PMT. Jika TCS bekerja maka PMT tidak dapat di masukkan karena rangkaian close PMT terpotong oleh TCS.

## **2.4 Persyaratan Sistem Proteksi**

Pada sistem tenaga listrik, sistem proteksi adalah perlindungan atau isolasi pada bagian yang memungkinkan akan terjadi gangguan atau bahaya. Tujuan utama proteksi adalah untuk mencegah terjadinya gangguan atau memadamkan gangguan yang telah terjadi dan melokalisirnya, dan membatasi pengaruhnya, biasanya dengan mengisolir bagian-bagian yang terganggu tanpa mengganggu bagian- bagian yang lain (Hutauruk, 1991).

Sistem proteksi ini mendeteksi kondisi abnormal dalam suatu rangkaian listrik dengan mengukur besaran- besaran listrik yang berbeda antara kondisi normal dengan kondisi abnormal.



Gambar 2.8 Alur Sistem Proteksi

Syarat-syarat agar peralatan proteksi dapat dikatakan bekerja dengan baik dan benar adalah: (Pandjaitan, 2012)

a. Kecepatan (*speed*)

Pada bagian yang mengalami gangguan harus dapat dipisahkan secepat mungkin dari bagian yang tidak mengalami gangguan agar dapat mengurangi dampak kerusakan. Waktu sejak munculnya jangguan sampai bagian yang mengalami gangguan terpisah dari sistem lainnya merupakan waktu total pembatasan antara sistem dan gangguan,

Kecepatan relai bekerja menangani gangguan itu penting karena dapat:

- Dapat menjaga sistem tetap stabil
- Mencegah terjadi kerusakan secara thermis pada peralatan yang dilewati oleh arus gangguan dan pada alat yang terganggu dapat dibatasi kerusakannya.

- Membatasi busur api yang terjadi akibat gangguan di saluran udara. Gangguan ini akan memperbesar kemungkinan terjadi reclosing pada PMT dan mempersingkat waktu antara buka dan tutupnya (dead time).

b. Selektif (*selectivity*)

Pengaman disebut pengaman yang selektif apa bila sistem proteksi ini mampu memisahkan bagian peralatan terganggu saja yang termasuk ke dalam Kawasan pengaman utama. Untuk mendapatkan nilai keandalan yang tinggi, maka relai pengaman harus memiliki kemampuan selektif yang baik. Apabila kemampuan selektif baik segala Tindakan relai nya akan tepat dan gangguan dapat diperkecil.

Relai harus memiliki kemampuan membedakan yaitu:

- Relai harus dapat bekerja cepat ketika gangguan berada di Kawasan pengaman utamanya.
- Relai tidak boleh bekerja sama sekali ketika gangguan terletak diluar daerah pengaman nya dan ketika tidak terjadi gangguan.
- Relai harus dapat bekerja dengan waktu tunda ketika relai sebagai pengaman cadangan atau tidak melakukan trip.

Jika relai berada dalam sistem terletak secara seri, maka dikoordinir dengan cara mengatur peningkatan waktu dan mengatur peningkatan setting arus atau dengan menggabungkan keduanya.

c. Kepekaan (*Sensitive*)

Relai harus mampu bekerja dengan sensitifitas tinggi terhadap gangguan yang terjadi di Kawasan pengamannya meskipun gangguan itu minimum dan kemudian dapat memberikan respon. Relai yang kurang peka pada pengaman gangguan tanah di SUTM akan menyebabkan banyak gangguan tanah yang berbentuk sentuhan dengan pohon tertiuip angin yang tidak dapat dideteksi dan mengakibatkan terjadinya busur

api. Busur api ini dapat terjadi cukup lama dan dapat menyambar ke fasa lain sehingga relai hubung singkat bekerja. Gangguan ini bisa terjadi berulang kali di tempat yang sama dan dapat menyebabkan terjadi putus pada kawat. Jika relai terlalu peka juga relai akan sering trip untuk gangguan yang sangat kecil yang mungkin dapat hilang sendiri atau juga resikonya dapat diabaikan dan dapat diterima.

d. Keandalan (*reability*)

Menurut SPLN 52-1:1984 keandalan adalah kemungkinan sebuah gawai akan bekerja tanpa kegagalan dalam suatu periode waktu atau sejumlah penggunaan tersebut.

Keandalan relai dihitung dengan jumlah relai bekerja / mengamankan daerahnya terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan relai dikatakan cukup baik bila mempunyai harga : 90 % sampai 99 %. Misal, dalam satu tahun terjadi gangguan sebanyak 25× dan relay dapat bekerja dengan sempurna sebanyak 23× , maka

$$keandalan\ relai = \frac{23}{25} \times 100\% = 92\%$$

Perhitungan menggunakan rumus:

a. Deskripsi persentase gangguan pada sistem proteksi bay penghantar di Gardu

Induk 150 kV Padalarang Baru:

$$DP = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (\text{Suharismi Arikunto.2006}) \quad (2.1)$$

Keterangan:

DP = Deskripsi persentase gangguan (%).

n = Frekuensi gangguam (kali).

N = Jumlah gangguan (kali).

b. Deskripsi persentase keandalan sistem proteksi bay penghantar di Gardu Induk

150 kV Padalarang Baru:

$$DP = \frac{n}{N} \times 100\% \quad (\text{Suharismi Arikunto.2006}) \quad (2.2)$$

Keterangan:

DP = Deskripsi persentase keandalan relai (%)

n = kinerja relai (kali)

N = Jumlah seharusnya relai bekerja (kali)

Keandalan ini dapat dibagi menjadi tiga:

- *Dependability*

Merupakan tingkat kepastian bekerjanya suatu relai atau kemampuan bekerjanya. Pengaman harus bisa mendeteksi bagian yang terganggu dan harus dapat melepaskan bagian yang terganggu serta tidak boleh gagal dalam bekerja.

- *Security*

Security ini merupakan tingkat kepastian untuk keandalan tidak salah kerja. Salah kerja mengakibatkan pemadaman yang tidak perlu terjadi. Jika lokasi gangguan berada diluar Kawasan pengamannya atau ketika tidak ada gangguan maka relai tidak boleh bekerja.

- *Availability*

Availability ini merupakan perbandingan antara pengaman dalam keadaan siap kerja dan waktu total operasinya. Sistem proteksi yang baik harus memiliki kemampuan mendeteksi terputusnya sirkuit trip, sirkuit sekunder tegangan dan sirkuit arus sekunder, dan dapat memberikan alarm sehingga dapat diperbaiki sebelum terjadi kegagalan proteksi yang terjadi sesungguhnya.