

BAB II

TINJAUAN UMUM

2.1. Tinjauan Pustaka

Desy Amalia Dani melakukan penelitian mengenai analisis sistem proteksi trafo daya 150 KV pada gardu GIS Tanah Tinggi. Sistem proteksi adalah koordinasi antara saklar pemutus tenaga (PMT) dan peralatan proteksi (*relay*) dalam mengamati dan melindungi trafo daya di GIS. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa apabila rele tidak bekerja secara normal untuk mengamankan trafo daya maka PMT akan mengamankan trfo daya secara otomatis dari gangguan dengan membuka hubung pada rel/bus.

Gery Baldi dan Harun Al Rasyid (2104) melakukan penelitian mengenai tegangan sentuh dan tegangan langkah di gardu induk konvensional dan berisolasi gas (GIS). Kajian dilakukan dengan membandingkan antara tegangan *mesh* dan tegangan langkah maksimum dengan tegangan sentuh dan tegangan langkah yang diizinkan. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa nilai tegangan *mesh* dan tegangan langkah maksimum pada Gardu Induk (GI) Gambir Lama sebesar 450 volt dan 182 volt, sedangkan pada *Gas Insulated Substation* (GIS) Senayan Baru sebesar 774 volt dan 443 volt.

Yusnan Badruzzaman dan Farikha Himawati (2014) melakukan penelitian mengenai Keandalan Rele Differential sebagai Pengaman Utama Transformator terhadap Gangguan Arus Hubung Singkat di GIS Randugarut. Gangguan internal pada transformator dapat menyebabkan kerusakan parah pada transformator seperti yang terjadi pada GIS Randugarut. Kerusakan pada transformator tersebut disebabkan adanya gangguan eksternal dengan arus besar yang menyebabkan kerusakan internal transformator sehingga keseluruhan sistem proteksi transformator bekerja termasuk *differential relay*. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa *differential relay* bekerja sesuai dengan settingnya yaitu sebesar 0,3 Ampere dan setting waktu instant. Keandalan *differential relay* sebagai pengaman utama transformator dapat ditambah dengan mengaktifkan *setting high set* sebesar 8 kali I dif yang mengerjakan rele pada arus gangguan yang besar.

Antonov Bachtiar dan Tony Sudaryanto (2016) melakukan penelitian mengenai evaluasi keandalan peralatan GIS Simpang Haru Padang. Untuk menentukan tingkat unjuk kerja GIS dapat digunakan metode *condition assessment*. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa GIS Simpang Haru masih memiliki peralatan yang dapat dikategorikan handal. Saat ini, kondisi kebanyakan GIS telah mengalami banyak gangguan dan kerusakan serta ditambah lagi dengan rata-rata usianya yang telah lebih dari 10 tahun.

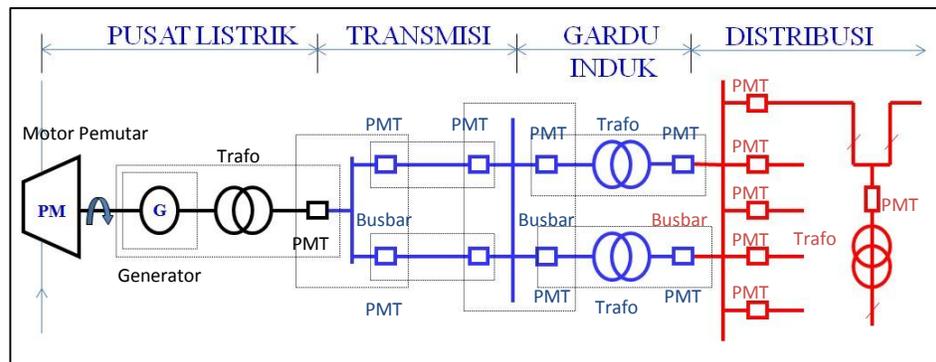
Yulistiawan , Bachtiar Hasan dan Hasbullah (2012) melakukan penelitian mengenai penggunaan gas SF₆ pada pemutus tenaga (PMT) di GI Cigereleng Bandung. Analisis yang dilakukan adalah untuk mengetahui besarnya arus gangguan yang dapat terjadi pada Gardu Induk. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa besarnya arus gangguan pada sisi 20 kV dengan gangguan 3 Fasa, 2 Fasa dan 1 Fasa ke tanah dengan jarak 25% dari panjang penyulang adalah sebesar 13.641,8 Ampere, 3.936,1 Ampere dan 884,9 Ampere. Kemudian menunjukkan bahwa semakin besar tekanan gas SF₆ maka semakin turun laju kecepatan busur api yang terjadi pada waktu pemutusan.

Tofan Aryanto (2013) melakukan penelitian mengenai frekuensi gangguan terhadap kinerja sistem proteksi pada gardu induk 150 KV Jepara. Hasil observasi tentang gangguan yang terjadi diklasifikasikan menjadi 3 jenis gangguan yaitu gangguan teknis (kerusakan pada alat), gangguan nonteknis (sambaran petir, angin, tertimpa pohon, dan lain- lain), dan gangguan yang tidak diketahui penyebabnya. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa Sistem proteksi pada area trafo tenaga 1 dan 2 dari tahun 2007 sampai 2012 memiliki keandalan dengan predikat cukup baik dalam mengatasi kuantitas gangguan.

Alvian Novia Rizki Ahmad dan Sri Sartono melakukan penelitian mengenai Perbaikan Tegangan Sisi Sekunder Transformator Daya 150/20 KV di Gardu Induk Ungaran. Untuk mempertahankan tegangan keluaran pada sisi sekunder transformator agar tetap konstan pada harga 21 KV, maka digunakan pengubah sadapan (*tap changer*) berbeban yang dipasang pada transformator daya 150/20 KV dan bekerja secara otomatis terhadap setiap perubahan tegangannya yang disebabkan oleh jatuh tegangan karena adanya perubahan beban dan rugi hantaran. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa persentase jatuh tegangan pada transformator III di bawah standar SPLN 72 : 1987 maksimal sebesar 5%. Transformator III dilengkapi dengan OLTC merk MR yang berguna untuk menstabilkan tegangan sisi sekunder yang diakibatkan oleh jatuh tegangan pada transformator III karena adanya pembebanan yang bervariasi. Dari hasil perhitungan beban rata-rata pada bulan april 2014 penyulang 04 dan 02 masih dibawah standar SPLN 72 : 1987 yaitu maksimal jatuh tegangan sebesar 5% dari tegangan nominal. Penyulang 01 terjadi perbaikan prosentase jatuh tegangan setelah perubahan tegangan nominal keluaran transformator III dari 5,06% pada tegangan 20KV menjadi 4,82% pada tegangan 21KV.

2.2. Landasan Teori

1. Pengertian Umum Gardu Induk



Gambar 2.1. Sistem Tenaga Listrik

Pembangkitan mempunyai tugas membangkitkan tenaga listrik melalui generator kemudian diubah ke tegangan tinggi melalui *step up transformer*. Tenaga listrik dengan tegangan tinggi tersebut kemudian disalurkan atau ditransmisikan melalui kawat-kawat transmisi ke gardu induk.

Gardu induk adalah bagian dari suatu sistem tenaga yang dipusatkan pada suatu tempat berisi saluran transmisi atau distribusi, perlengkapan hubung bagi, trafo, peralatan pengaman, peralatan kontrol, dan merupakan komponen utama dalam suatu proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit kepada konsumen (beban). Fungsi utama dari gardu induk adalah sebagai pentransformasi tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ke tegangan tinggi yang lainnya atau ke tegangan menengah dan sebagai pengukuran, pengawasan operasi serta pengaturan pengaman dari sistem tenaga listrik.

2. Jenis dan Fungsi Gardu Induk

Gardu Induk yang terpasang di Indonesia bisa dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu :

1. Berdasarkan Besaran Tegangannya, terdiri dari :

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

Dilihat dari jenis komponen yang digunakan, secara umum antara GITET dengan GI mempunyai banyak kesamaan. Perbedaan mendasar adalah pada GITET trafo daya yang digunakan berupa 3 buah transformator daya masing- masing 1 fasa (*bank tranformer*) dan dilengkapi peralatan rekator yang berfungsi mengkompensasikan daya rekatif jaringan. Sedangkan pada GI menggunakan trafo daya 3 fasa dan tidak ada peralatan reaktor.

2. Berdasarkan Pemasangan Peralatan

- a. Gardu Induk Pasangan Dalam (*In Door Substation*).

GIPD adalah gardu induk yang hampir semua komponennya (*switchgear, busbar, isolator, komponen kontrol, komponen kendali, cubicle, dan lain-lain*) dipasang di dalam gedung.

Kecuali trafo daya, pada umumnya dipasang di luar gedung. Gardu Induk semacam ini biasa disebut *Gas Insulated Substation* (GIS). GIS merupakan bentuk pengembangan Gardu Induk, yang pada umumnya dibangun di daerah perkotaan atau padat pemukiman yang sulit untuk mendapatkan lahan.

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

GIPL adalah gardu induk yang terdiri dari peralatan tegangan tinggi pasang luar, misalnya trafo, peralatan penghubung (*switch gear*) yang mempunyai peralatan kontrol pasang dalam seperti meja penghubung (*switch board*). Pada umumnya, gardu induk untuk transmisi yang mempunyai kondensator pasangan dalam dan sisi tersier trafo utama dan trafo pasangan dalam disebut juga sebagai pasangan luar. Jenis gardu ini memerlukan tanah yang luas akan tetapi biaya konstruksinya murah dan pendinginnya mudah. Oleh karena itu biasanya gardu induk jenis ini dipasang dipinggiran kota.

c. Gardu Induk Sebagian Pasangan Luar (*Combined Out Door Substation*).

GISPL adalah gardu induk yang sebagian dari peralatan tegangan tingginya terpasang dalam gedung. Gardu ini juga dapat dikatakan sebagai jenis setengah pasang dalam.

Biasanya jenis gardu ini bermacam-macam bentuknya dengan berbagai pertimbangan yang sangat ekonomis serta pencegahan kontaminasi garam.

d. Gardu Induk Pasangan Bawah Tanah (*Under Ground Substation*).

GIPBT adalah gardu induk jenis pasang bawah tanah dimana hampir semua peralatan terpasang dalam bangunan bawah tanah. Biasanya alat pendinginnya terletak diatas tanah terletak dipusat kota seperti dijalan-jalan kota yang ramai dimana kebanyakan gardu induk ini dibangun dibawah jalan raya.

e. Gardu Induk Mobil (*Mobile Substation*).

GIM adalah gardu induk jenis mobil yang dilengkapi dengan peralatan diatas kereta hela (*trailer*). Gardu ini biasa digunakan jika ada gangguan disuatu gardu lain maka digunakan gardu jenis ini guna pencegahan beban lebih yang terjadi secara berkala dan juga biasa digunakan pada pemakaian sementara dilokasi pembangunan tenaga listrik. Maka dapat dikatakan bahwa gardu ini tidak dijadikan sebagai gardu utama melainkan sebagai gardu induk cadangan (sebagai penghubung yang dapat berpindah-pindah).

3. Berdasarkan Isolasi yang digunakan

a. Gardu Induk Isolasi Udara (*Konvensional*).

GIIU adalah gardu induk yang peralatan instalasinya berisolasi udara bebas, karena sebagian besar peralatannya terpasang diluar gedung (*switch yard*) dan sebagian kecil di dalam gedung, sehingga memerlukan area tanah yang relative luas.

b. Gardu Induk Isolasi Gas (*Gas Insulated Switchgear*).

GIIS adalah suatu gardu induk yang semua peralatan switchgearnya berisolasi gas SF-6 , karena sebagian besar peralatannya terpasang di dalam gedung dan dikemas dalam tabung.

3. Gardu Induk Konvensional

Gardu induk konvensional adalah gardu induk yang peralatan instalasinya berisolasi udara bebas karena sebagian besar peralatannya terpasang diluar gedung (*switch yard*) dan memerlukan area tanah yang cukup luas. Peralatan-peralatan yang dipasang diluar ruang diantaranya seperti trafo tenaga, LA, CT, PT, CB, PMS, peralatan SCADA dan lain-lain.

Gardu induk ini dilengkapi komponen utama sebagai fasilitas yang diperlukan sesuai dengan tujuannya serta mempunyai fasilitas untuk operasi dan pemeliharaan, komponen-komponen tersebut antara lain :

1. Trafo Tenaga

Trafo tenaga adalah suatu peralatan listrik yang termasuk dalam klasifikasi mesin listrik statis yang berfungsi sebagai pentransformasi harga arus dan tegangan pada harga daya dan frekuensi tetap (sama).



Gambar 2.2. Trafo Tenaga.

2. Trafo Ukur (*Trafo Instrument*)

Trafo ukur didisain secara khusus untuk pengukuran dalam sistem daya. Trafo ini banyak digunakan dalam sistem daya karena mempunyai keuntungan dalam memberikan isolasi elektrik bagi sistem daya, tahan terhadap beban untuk berbagai tingkatan, tingkat keandalan yang tinggi, secara fisik lebih sederhana bentuknya, dan secara ekonomi lebih murah. Trafo Pengukuran terdiri dari :

a Trafo Tegangan { *Voltage Trafo* (VT) atau *Potential Trafo* (PT)}.



Gambar 2.3. Trafo Tegangan.

Trafo tegangan disebut juga potensial trafo adalah trafo yang berfungsi menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan menengah dan tegangan rendah, untuk sumber tegangan alat-alat ukur dan alat-alat proteksi.

1. Fungsi trafo tegangan (*potensial transformer*) :
 - a. Memperkecil besaran tegangan pada sistem tenaga listrik menjadi besaran tegangan untuk sistem pengukuran atau proteksi.
 - b. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer.
 - c. Memungkinkan standarisasi rating tegangan untuk peralatan sisi sekunder.

2. Penggunaan atau pemakaian tegangan sekunder *potensial transformer* antara lain:
 - a. Matering atau pengukuran : KV meter, MW meter, MVar meter, dan KWH meter.
 - b. Proteksi atau pengaman :
 1. Rele jarak (*distance relay*).
 2. Rele sinkron (*synchron relay*).
 3. Rele berarah (*directionalrelay*).
 4. Rele frekuensi (*frequencyrelay*).

3. Prinsip kerja trafo tegangan :

Hampir sama dengan trafo-trafo pada umumnya memiliki kumparan yang dialiri arus bolak-balik kemudian mengalir mengelilingi suatu inti besi, maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka kedua ujung tersebut akan terjadi beda tegangan yang membedakan hanya dalam trafo tegangan, arus, dan daya nya kecil.

b Trafo Arus { *Current Transformer (CT)* }.

Berfungsi untuk menurunkan arus besar pada tegangan tinggi menjadi arus kecil pada tegangan rendah untuk keperluan pengukuran dan pengaman.

Menurut tipe konstruksinya :

1. Tipe Cincin (*ring/ window tipe*).
2. Tipe Tangki Minyak.
3. Tipe cor- coran *cast resin (mounded cast resin tipe)*.



Gambar 2.4. Trafo Arus { *Current Transformer (CT)* }.

c Trafo Bantu (*Auxilliary Trafo*).

Trafo bantu adalah trafo yang digunakan untuk membantu beroperasinya secara keseluruhan gardu induk tersebut. Jadi merupakan pasokan utama untuk alat- alat bantu seperti motor 3 fasa untuk motor pompa sirkulasi minyak trafo beserta motor-motor kipas pendingin. Yang paling penting adalah sebagai pasokan sumber tenaga cadangan seperti sumber DC yang merupakan sumber utama jika terjadi gangguan dan sebagai pasokan tenaga untuk proteksi sehingga proteksi tetap bekerja walaupun tidak ada pasokan arus AC.

Trafo bantu sering disebut sebagai trafo pemakaian sendiri sebab selain fungsi utama sebagai pemasuk alat-alat bantu dan sumber/ penyimpan arus DC juga digunakan untuk penerangan, sumber untuk sistim sirkulasi pada ruang baterai, sumber penggerak mesin pendingin. Beberapa proteksi yang menggunakan elektronika/ digital diperlukan temperatur ruangan dengan temperatur antara 20°C sampai 28°C.

Untuk mengoptimalkan pembagian sumber tenaga dari trafo bantu adalah pembagian beban yang masing- masing mempunyai proteksi sesuai dengan kapasitasnya. Diperlukan juga pembagi sumber DC untuk kesetiap fungsi dan bay yang menggunakan sumber DC sebagai penggerak utamanya. Untuk itu disetiap gardu induk tersedia panel distribusi AC dan DC.

3.Sakelar Pemisah (PMS) {*Disconnecting Switch (DS)*}



Gambar 2.5. Sakelar Pemisah (PMS) {*Disconnecting Switch (DS)*}.

Sakelar pemisah adalah alat yang dipergunakan untuk menyatakan secara visual bahwa suatu peralatan listrik sudah bebas dari tegangan kerja. Oleh karena itu pemisah tidak boleh dihubungkan atau dikeluarkan dari rangkaian listrik dalam keadaan berbeban.

Adapun fungsi pemisah adalah menghubungkan atau memutuskan rangkaian dalam keadaan tidak berbeban. Cara pemasangan PMS dibedakan atas pasangan dalam dan pasangan luar.

Tenaga penggerak dari PMS adalah secara manual, motor, pneumatic atau angin dan hidrolis. Sesuai dengan fungsi dan kegunaannya maka pemisah dapat dibagi menjadi :

a. Pemisah peralatan.

Berfungsi sebagai pengamanan peralatan atau instalasi yang bertegangan saat dihubungkan dan melepaskan pemutus arus dalam keadaan tanpa beban.

b. Pemisah tanah.

Berfungsi sebagai pengamanan peralatan dari sisa tegangan yang timbul sesudah SUTT / SUTM diputuskan.

4. Pemutus Tenaga (PMT) { *Circuit Breaker* (CB) }

Pemutus tenaga adalah peralatan atau saklar untuk menghubungkan atau memutuskan suatu rangkaian/ jaringan listrik sesuai dengan ratingnya. PMT memutuskan hubungan daya listrik bila terjadi gangguan, baik dalam keadaan berbeban maupun tidak berbeban dan proses ini di lakukan dengan cepat. Pada saat PMT dalam keadaan gangguan menimbulkan arus yang relatif besar.

Pemutus tenaga (PMT) dibedakan menjadi tiga, yaitu :

- a. PMT dengan menggunakan udara sebagai pemadam busur api.
- b. PMT dengan menggunakan minyak sebagai pemadam busur api.
- c. PMT dengan menggunakan gas sebagai pemadam busur api.



Gambar 2.6. Pemutus Tenaga (PMT) { *Circuit Breaker (CB)* }.

5. *Lightning Arrester (LA)*

Berfungsi sebagai pengamanan peralatan listrik di gardu induk dari tegangan lebih akibat terjadinya sambaran petir (*lightning surge*) pada kawat transmisi, maupun disebabkan oleh surya hubung (*switching surge*). Dalam keadaan normal (tidak terjadi gangguan), LA bersifat isolatif atau tidak bisa menyalurkan arus listrik. Dalam keadaan terjadi gangguan LA bersifat konduktif yang bekerja atau menyalurkan arus listrik ke bumi.



Gambar 2.7. *Lightning Arrester (LA)*.

6. Panel Kontrol

Jenis-jenis panel kontrol yang ada dalam suatu gardu induk terdiri dari panel kontrol utama, panel *relay*.

a Panel kontrol utama;

Panel control utama terdiri dari panel *instrument* dan panel operasi. Pada panel *instrument* terpasang alat-alat ukur dan indikator gangguan, dari panel ini alatalat tersebut dapat diawasi dalam keadaan sedang beroperasi. Indikator-indikator yang ada pada rel kontrol antara lain:

- 1) 400 V AC *fault*.
- 2) 24 V DC *charger*.
- 3) 110 V DC *charger*.
- 4) *Low pressure*.

- 5) *Distance protective trip.*
- 6) *Isolating switch on load control.*
- 7) *Auto recloser.*
- 8) *PLC equipment fault.*
- 9) *Breaker failure protection trip.*
- 10) *Motor over run.*
- 11) *150 KV apparatus motor fault.*
- 12) *Busbar protection fault.*
- 13) *Busbar VT secondary MCB fault.*
- 14) *Busbar breaker failure protection trip.*

Pada panel operasi terpasang saklar operasi pemutus tenaga, pemisah serta lampu indikator posisi saklar dan diagram ril. Diagram ril (*mimic bus*), saklar dan lampu indikator diatur letak dan hubungannya sesuai dengan rangkaian yang sesungguhnya sehingga keadaan dapat dilihat dengan mudah.



Gambar 2.8. Panel Kontrol.

b Panel rele

Pada panel ini terdapat rele pengaman untuk trafo dan sebagainya. Rele pengaman differensial trafo dan sebagainya. Bekerjanya rele dapat diketahui dari penunjukkan pada rele itu sendiri dan pada indikator gangguan dipanel kontrol utama. Pada gardu induk ada yang memanfaatkan sisi depan dari panel dipakai sebagai panel utama dengan *instrument* dan saklar, kemudian sisi belakangnya dipakai sebagai panel rele. Pada gardu induk yang rangkaiannya rumit, maka panel rele terpasang pada panel tersendiri.



Gambar 2.9. Panel Kontrol Rele.

7. Baterai



Gambar 2.10. Baterai.

Sumber tenaga untuk sistem kontrol dan proteksi selalu mempunyai keandalan dan stabilitas yang tinggi, maka baterai dipakai sebagai sumber tenaga kontrol dan proteksi pada gardu induk. Peranan dari baterai sangat penting karena pada saat gangguan terjadi, baterai sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan alat-alat kontrol dan proteksi.

8. *Cubicle*



Gambar 2.11. *Cubicle*.

Cubicle adalah sistem *switch gear* untuk tegangan menengah (20KV) yang berasal dari output trafo daya, yang selanjutnya diteruskan ke konsumen melalui penyulang yang tersambung dengan *cubicle* tersebut. Dari penyulang inilah listrik disalurkan ke pusat-pusat beban. Komponen dan rangkaian *cubicle*, antara lain :

- a. Panel penghubung (*couple*).
- b. *Incoming cubicle*.
- c. *Circuit Breaker* (CB) dan *Current Transformer* (CB).
- d. Komponen proteksi dan pengukuran.
- e. *Bus sections*.
- f. *Feeder* atau penyulang.

9. Rel Daya (*Busbar*)



Gambar 2.12. Rel Daya (*Busbar*).

Rel daya adalah titik pertemuan trafo-trafo tenaga, SUTT, SKTT dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik/ daya listrik.

10. Sistem pentanahan titik netral.

Pentanahan titik netral atau disebut juga *Netral Ground Resistant* (NGR) adalah suatu sistem yang melalui kumparan petersen, tahanan (resistor) atau langsung (*solldy*) yang berfungsi untuk menyalurkan arus gangguan fasa pada sistem. Arus yang melalui pentanahan merupakan besaran ukur alat proteksi. Pada trafo yang sisi primernya ditanahkan dan sisi sekundernya juga ditanahkan, maka gangguan fasa ketanah disisi primer selalu dirasakan pada sisi sekunder dan sebaliknya.



Gambar 2.13. *Netral Ground Resistant* (NGR).

Sakelar ini berfungsi menghubungkan kawat konduktor dengan tanah/ bumi yang berfungsi untuk menghilangkan/mentanahkan tegangan induksi pada

konduktor pada saat akan dilakukan perawatan atau pengisolasian suatu sistem. Sakelar Pentanahan ini dibuka dan ditutup hanya apabila sistem dalam keadaan tidak bertegangan (PMS dan PMT sudah membuka).

11. Kompensator

Kompensator didalam sistem penyaluran tenaga listrik disebut pula alat pengubah fasa yang dipakai untuk mengatur jatuh tegangan pada saluran transmisi atau trafo, dengan mengatur daya reaktif atau dapat pula dipakai untuk menurunkan rugi daya dengan memperbaiki faktor daya. Alat tersebut ada yang berputar dan ada yang stationer, yang berputar adalah kondensator sinkron dan kondensator asinkron, sedangkan yang stationer adalah kondensator statis atau kapasitor shunt dan reaktor shunt.

12. Rele Proteksi dan Papan Alarm (*Annunciator*).

Rele proteksi adalah alat yang bekerja secara otomatis untuk mengamankan suatu peralatan listrik saat terjadi gangguan, menghindari atau mengurangi terjadinya kerusakan peralatan akibat gangguan dan membatasi daerah yang terganggu sekecil mungkin.

Kesemua manfaat tersebut akan memberikan pelayanan penyaluran tenaga listrik dengan mutu dan keandalan yang tinggi. Sedangkan papan alarm (*annunciator*) adalah sederetan namanama jenis gangguan yang dilengkapi

dengan lampu dan suara sirine pada saat terjadi gangguan, sehingga memudahkan petugas untuk mengetahui rele proteksi yang bekerja dan jenis gangguan yang terjadi.

13. Peralatan SCADA dan Telekomunikasi;

Data yang diterima SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) *interface* dari berbagai masukan (sensor, alat ukur, rele, dan lain lain) baik berupa *data digital* dan *data analog* dan dirubah dalam bentuk data frekuensi tinggi (50 kHz sampai dengan 500 kHz) yang kemudian ditransmisikan bersama tenaga listrik tegangan tinggi. Data frekuensi tinggi yang dikirimkan tidak bersifat kontinyu tetapi secara paket per satuan waktu. Dengan kata lain berfungsi sebagai sarana komunikasi suara dan komunikasi data serta tele proteksi dengan memanfaatkan penghantarnya dan bukan tegangan yang terdapat pada penghantar tersebut. Oleh sebab itu bila penghantar tak bertegangan maka *Power Line Carrier* (PLC) akan tetap berfungsi asalkan penghantar tersebut tidak terputus. Dengan demikian diperlukan peralatan yang berfungsi memasukkan dan mengeluarkan sinyal informasi dari energi listrik di ujung- ujung penghantar.

5. Gardu Induk GIS (*Gas Insulated Substation*)

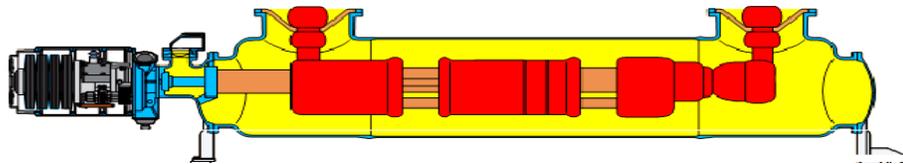
GIS merupakan jenis gardu induk yang semua peralatan *switchgear*-nya berisolasi dengan gas SF-6 (*Sulfur Hexafluorida*), karena sebagian besar peralatannya terpasang di dalam gedung dan dikemas dalam tabung. Pada GIS terdapat bermacam-macam jenis peralatan seperti pemutus tenaga, busbar, pemisah tanah, trafo arus dan trafo tegangan yang ditempatkan di dalam kompartemen yang terpisah-pisah dan diisi gas SF-6. Beberapa keunggulan gardu induk GIS dibandingkan dengan gardu induk konvensional adalah sebagai berikut :

1. Lahan yang dibutuhkan sedikit, hanya 6% dari luas lahan GI konvensional.
2. Mampu menghasilkan kapasitas daya sebesar 3 x 60 MVA bahkan bisa ditingkatkan sampai 3 x 100 MVA.
3. Jumlah penyulang keluaran sebanyak 24 penyulang dengan tegangan masing-masing 20 KV.
4. Bisa dipasang ditengah kota yang padat pemukiman.
5. Keunggulan dari segi estetika dan arsitektural, karena bangunan bisa didesain sesuai kondisi sekitarnya.
6. Memiliki keandalan yang lebih baik dibandingkan dengan gardu induk konvensional.

GIS memiliki berbagai macam komponen dimana komponen – komponen tersebut memiliki fungsi dan tugas masing – masing dalam kerja GIS . Beberapa komponen umum yang ada pada GIS antara lain adalah :

a. Pemutus Tenaga

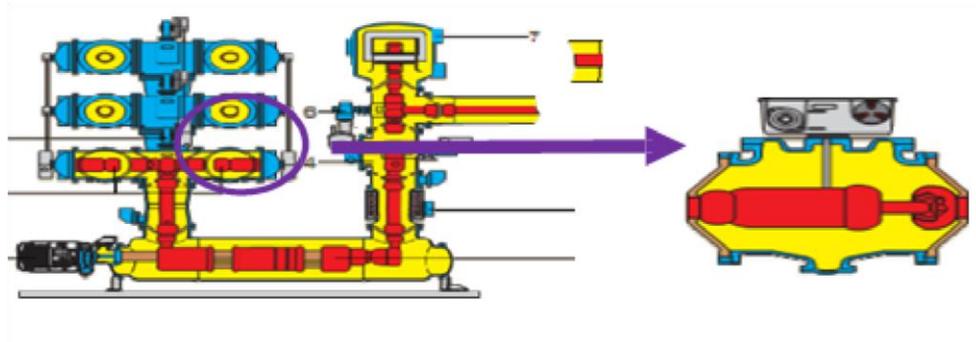
Adalah alat pemutus arus listrik pada rangkaian yang dibuat untuk melindungi sistem dari kerusakan akibat beban lebih ataupun hubung singkat. Tidak seperti sekering, pemutus tenaga dapat di-set ulang baik secara manual ataupun otomatis untuk mengalirkan arus listrik. Pemutus tenaga dapat digerakkan dengan cara manual ataupun dengan mekanisme penggerak seperti motor, spring, pneumatik dan hidrolik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.18.



Gambar 2.14. Pemutus Tenaga pada GIS dengan penggerak motor

b. Saklar Pemisah

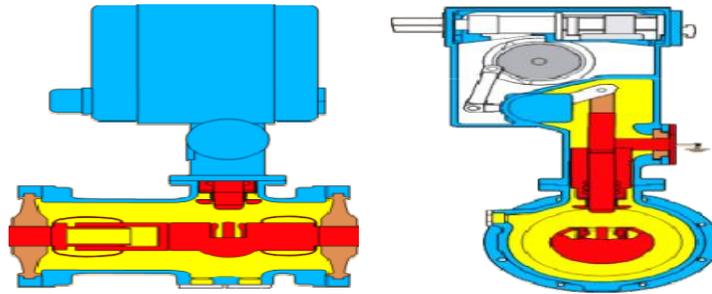
Adalah alat pengaman yang digunakan untuk memisahkan peralatan yang ada di gardu dari arus dan tegangan yang ada pada jaringan listrik, sehingga dapat dilakukan pemeriksaan atau perawatan pada gardu oleh operator dalam keadaan aman, dimana saklar pemisah baru dapat dioperasikan setelah pemutus tenaga pada kondisi terbuka, seperti yang ditunjukkan Gambar 2.19.



Gambar 2.15. Saklar Pemisah pada GIS

c. Saklar Pembumian

Adalah alat pengaman yang digunakan untuk membumikan peralatan - peralatan gardu induk selama proses perbaikan atau perawatan sehingga arus sisa yang masih ada di dalam peralatan gardu disalurkan ke bumi untuk menjaga keselamatan operator. Saklar pembumian hanya dapat dioperasikan apabila saklar pemisah sudah dalam kondisi terbuka seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.20. dibawah ini.



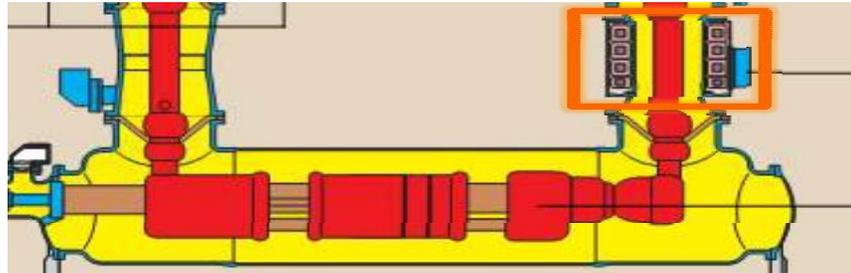
Gambar 2.16. Saklar pembumian pada GIS

d. Trafo Tenaga

Trafo tenaga adalah suatu peralatan listrik yang termasuk dalam klasifikasi mesin listrik statis yang berfungsi sebagai pentransformasi harga arus dan tegangan pada harga daya dan frekuensi tetap (sama).

e. Trafo Arus

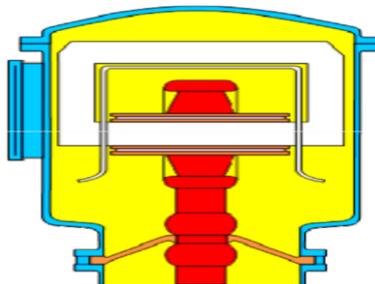
Adalah peralatan yang digunakan untuk mengukur arus pada jaringan listrik gardu dimana Trafo Arus dapat digunakan sebagai peralatan pengukuran maupun proteksi, seperti pada Gambar 2.21.



Gambar 2.17. *Current transformer* pada GIS

f. Trafo Tegangan

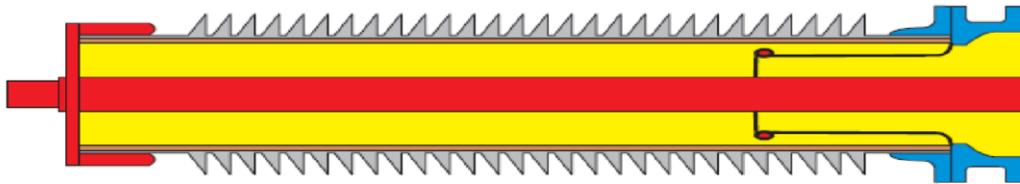
Merupakan peralatan yang digunakan untuk mengukur tegangan pada jaringan listrik gardu dimana Trafo Tegangan dapat digunakan untuk pengukuran dan proteksi serta digunakan sebagai penyuplai tegangan pada peralatan *relay* proteksi yang ada pada gardu seperti terlihat pada Gambar 2.22.



Gambar 2.18. Trafo Tegangan pada GIS

g. Rel Daya

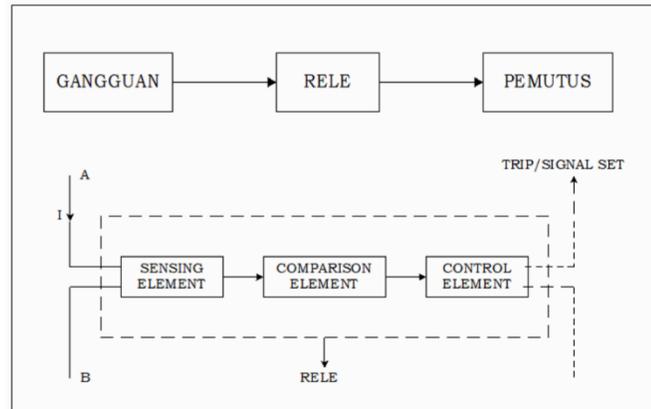
Merupakan bagian dari GIS sebagai titik pertemuan atau penghubung dengan transformator – transformator tenaga seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.23.



Gambar 2.19. Rel Daya pada GIS

6. 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 pengaruhpengaruhnya, 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 2.20. Diagram Sistem Proteksi Terhadap Gangguan.

Ada beberapa kriteria yang perlu diketahui pada pemasangan suatu sistem proteksi dalam suatu rangkaian sistem tenaga listrik yaitu :

1. Kepekaan (*sensitifitas*)

Sensitifitas adalah kepekaan rele proteksi terhadap segala macam gangguan dengan tepat yakni gangguan yang terjadi di daerah perlindungannya. Kepekaan suatu sistem proteksi ditentukan oleh nilai terkecil dari besaran penggerak saat peralatan proteksi mulai beroperasi. Nilai terkecil besaran penggerak berhubungan dengan nilai *minimum* arus gangguan dalam daerah yang dilindunginya.

2. Kecepatan

Sistem proteksi 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 rele yang semestinya bereaksi dengan cepat kerjanya perlu diperlambat (*time delay*), seperti yang ditunjukkan persamaan :

$$\text{top} = \text{tp} + \text{tcb}$$

Keterangan :

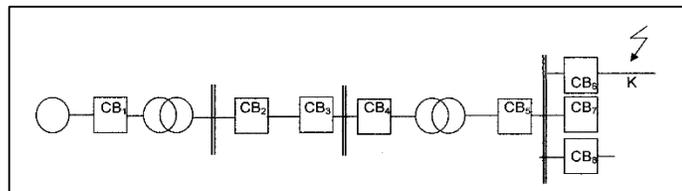
- a. top= total waktu yang dipergunakan untuk memutuskan hubungan;
- b. tp= waktu bereaksinya unit rele;
- c. tcb = waktu yang dipergunakan untuk pelepasan C.B.

Pada umumnya untuk top sekitar 0,1 detik kerja peralatan proteksi sudah dianggap bekerja cukup baik.

3. Selektifitas dan diskriminatif

Selektif berarti suatu sistem proteksi harus dapat memilih bagian sistem yang harus diisolir apabila rele proteksi mendeteksi gangguan. Bagian yang dipisahkan dari sistem yang sehat sebisanya adalah bagian yang terganggu saja.

Diskriminatif berarti suatu sistem proteksi harus mampu membedakan antara kondisi normal dan kondisi abnormal. Ataupun membedakan apakah kondisi abnormal tersebut terjadi di dalam atau di luar daerah proteksinya. Dengan demikian, segala tindakannya akan tepat dan akibatnya gangguan dapat dieliminir menjadi sekecil mungkin.



Gambar 2.21. Contoh Gangguan

Dalam sistem tenaga listrik seperti gambar 2.21. di atas, apabila terjadi gangguan pada titik K, maka hanya C.B.6 saja yang boleh bekerja sedangkan untuk C.B.1, C.B.2 dan C.B. - C.B. yang lain tidak boleh bekerja.

4. Keandalan (*reliability*)

Suatu sistem proteksi dapat dikatakan andal jika selalu berfungsi sebagaimana yang diharapkan. Sistem proteksi disebut tidak andal bila gagal bekerja pada saat dibutuhkan dan bekerja pada saat proteksi itu tidak seharusnya bekerja. Keandalan rele dikatakan cukup baik bila mempunyai harga 90-100 %.

Keandalan dapat di bagi 2 macam, yaitu :

- a. *Dependability* : relay harus dapat diandalkan setiap saat.
- b. *Security* : tidak boleh salah kerja / tidak boleh bekerja yang bukan seharusnya bekerja.

5.Ekonomis.

Suatu perencanaan teknik yang baik tidak terlepas tentunya dari pertimbangan nilai ekonomisnya. Suatu rele proteksi yang digunakan hendaknya ekonomis mungkin dengan tidak mengesampingkan fungsi dan keandalannya. Tipe Proteksi Ada dua kategori proteksi yang dikenal yaitu proteksi utama (*main protection*) dan proteksi pembantu (*back up protection*).

Proteksi utama adalah pertahanan utama dan akan membebaskan gangguan pada bagian yang akan diproteksi secepat mungkin. Mengingat keandalan 100 % tidak hanya dari perlindungan tetapi juga dari trafo arus, trafo tegangan dan pemutus rangkaian yang tidak dapat dijamin, untuk itu diperlukan perlindungan pembantu (*auxiliary protection*) pada alat proteksi tersebut. Proteksi pembantu bekerja bila rele utama gagal dan tidak hanya melindungi daerah berikutnya dengan perlambatan waktu yang lebih lama dari pada rele utamanya.

7. Proteksi Trafo Tenaga Pada 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. Peralatan proteksi trafo tenaga terdiri dari rele proteksi, trafo arus (CT), trafo tegangan (PT/ CVT), PMT, catu daya AC/ DC yang terintegrasi dalam suatu rangkaian, sehingga satu sama lainnya saling keterkaitan. 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 Trafo Tenaga:

a. Gangguan *Internal*.

Gangguan yang terjadi di daerah proteksi trafo, baik didalam trafo maupun diluar trafo sebatas lokasi CT.

1. 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. Gangguan internal dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok, yaitu:

A. *Incipient fault*.

Gangguan terbentuk lambat, dan akan berkembang menjadi gangguan besar jika tidak terdeteksi dan tidak diatasi. Yang termasuk kedalam gangguan *incipient fault*, yaitu :

a. *Overheating*.

Penyebab *Over heating* adalah sebagai berikut :

- (a) Ketidaktepatan sambungan baik elektrik maupun *magnetic*;

- (b) Kebocoran minyak;
- (c) Aliran sistem pendingin tersumbat
- (d) Kegagalan kipas atau pompa sistem pendingin.

2) *Overfluxing*.

Penyebab *over fluxing* adalah sebagai berikut :

Terjadi saat *overvoltage* dan *underfrequency*, dapat menyebabkan bertambahnya rugi-rugi besi sehingga terjadi pemanasan yang dapat menyebabkan kerusakan isolasi lempeng inti dan bahkan isolasi belitan.

3) *Over pressure*.

Penyebab *Over pressure* adalah sebagai berikut :

- (a) Pelepasan gas akibat *over heating*.
- (b) Hubung singkat belitan-belitan sefasa.
- (c) Pelepasan gas akibat proses kimia.

B. *Active fault*.

Disebabkan oleh kegagalan isolasi atau komponen lainnya yang terjadi secara cepat dan biasanya dapat menyebabkan kerusakan yang parah.

Penyebab dari gangguan *active fault* adalah sebagai berikut :

- (1) Hubung singkat fasa-fasa atau fasa dengan ground.
- (2) Hubung singkat antar lilitan sefasa (*intern turn*).
- (3) *Core fault*.
- (4) *Tank faults*.
- (5) *Bushing flashovers*.

b. Gangguan *External*.

Gangguan yang terjadi diluar daerah proteksi trafo. Umumnya gangguan ini terjadi pada jaringan yang akan dirasakan dan berdampak terhadap ketahanan kumparan primer maupun sekunder/ tersier trafo. Fenomena gangguan *ekternal* seperti :

- 1) Pembebanan lebih { *Over load (OL)* }.
- 2) *Over voltage (OV)* akibat surja hubung atau surja petir.
- 3) *Under* atau *over frequency (OF)* akibat gangguan sistem.
- 4) *External system short circuit (SC)*.
- 5) Hubung singkat pada jaringan sekunder atau tersier (penyulang) yang menimbulkan *through fault current*. Frekuensi dan besaran arus gangguan diprediksi akan mengurangi umur operasi trafo (SCF).

2. Proteksi Utama Trafo Tenaga

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

3. Fungsi Proteksi Trafo Tenaga Terhadap Gangguan

Untuk memperoleh efektifitas dan efisien dalam menentukan sistem proteksi trafo tenaga, maka setiap peralatan proteksi yang dipasang harus disesuaikan dengan kebutuhan dan prediksi gangguan yang akan terjadi yang mengancam ketahanan trafo itu sendiri. Jenis rele proteksi yang dibutuhkan seperti tabel 2.1. dibawah ini :

Tabel 2.1. Kebutuhan Fungsi Rele Proteksi Terhadap Berbagai Gangguan.

No	Jenis gangguan	Proteksi		Akibat
		Utama	Back Up	
1	Hubung singkat di trafo daerah pengamanan trafo	Differensial REF Bucholz Tek. lebih	OCR GFR	Kerusakan pada isolasi atau inti Tangki menggebung
2	Hubung singkat diluar daerah pengamanan trafo	OCR GFR SBEF	OCR GFR	-Kerusakan pada isolasi, kumparan, dan NGR
3	Beban lebih	-Rele suhu	-OCR	-Kerusakan isolasi
4	Gangguan sistem pendingin	-Rele suhu	-	-Kerusakan isolasi
5	Gangguan pada OLTC	- Jansen - Tek. lebih	-	-Kerusakan OLTC
6	Tegangan lebih	- OVR - LA	-	-Kerusakan isolasi

4. Pola Proteksi Trafo Tenaga Berdasarkan SPLN 52-1

Kebutuhan peralatan proteksi trafo berdasarkan kapasitas trafo sesuai SPLN adalah seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 2.2. Kriteria Sistem Proteksi Sesuai SPLN 52-1.

No	Jenis proteksi	Kapasitas (MVA)		
		≤ 10	$10 < \div < 30$	≥ 30
1	Rele suhu	+	+	+
2	Rele bulcholz	+	+	+
3	Rele jansen	+	+	+
4	Rele tekanan lebih	+	+	+
5	Rele differensial	-	-	+
6	Rele tangki tanah	-	+	-
7	Rele hubung tanah terbatas (REF)	-	-	+
8	Rele beban lebih (OLR)	-	+	+
9	Rele arus lebih (OCR)	+	+	+
10	Rele hubung tanah (GFR)	+	+	+
11	Pelebur (fuse)	+	-	-

5. Proteksi Utama Trafo Tenaga

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

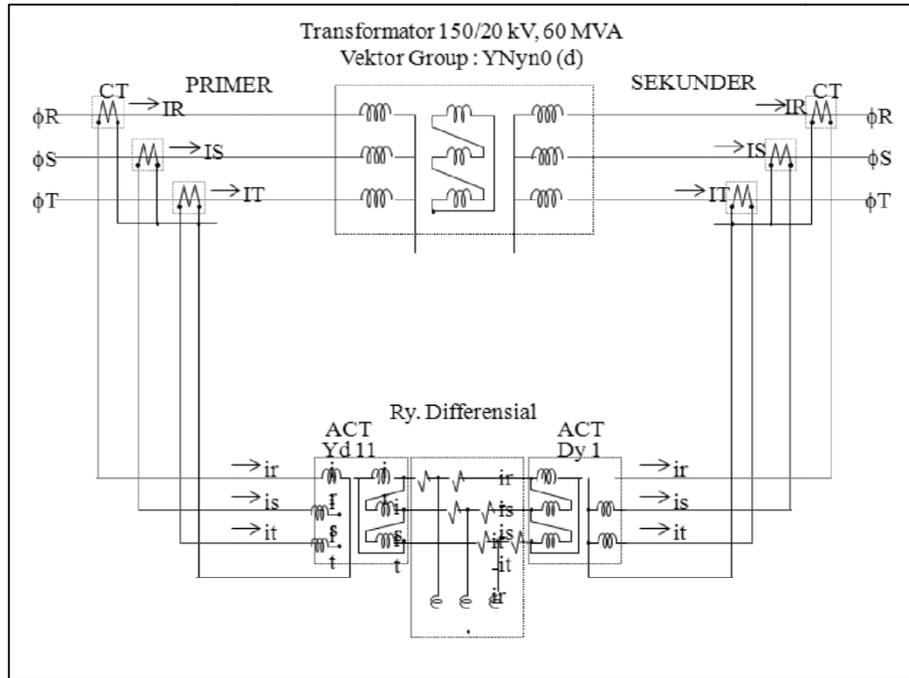
a. Ciri- Ciri Pengaman Utama:

- 1) Waktu kerjanya sangat cepat seketika (*instantaneous*).
- 2) Tidak bisa dikoordinasikan dengan rele proteksi lainnya.
- 3) Tidak tergantung dari proteksi lainnya.
- 4) Daerah pengamanannya dibatasi oleh pasangan trafo arus, dimana rele differensial dipasang.

b. Rele Proteksi Utama Trafo Tenaga.

- 1) *Differential relay* (87T).

Rele differensial arus berdasarkan H. Kirchoff, dimana arus yang masuk pada suatu titik, sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut. Rele differensial arus membandingkan arus yang melalui daerah pengamanan.



Gambar 2.22. *Wiring* Rele Diferensial Vektor Group Trafo Tenaga .

Fungsi rele differensial pada trafo tenaga adalah mengamankan trafo dari gangguan hubung singkat yang terjadi di dalam trafo, antara lain hubung singkat antara kumparan dengan kumparan atau antara kumparan dengan tangki. Rele ini harus bekerja kalau terjadi gangguan di daerah pengamanan, dan tidak boleh bekerja dalam keadaan normal atau gangguan di luar daerah pengamanan.

b. *Restricted Earth Fault (REF)*.

Prinsip kerja rele REF sama dengan dengan rele differensial, yaitu membandingkan besarnya arus sekunder kedua trafo arus yang digunakan, akan tetapi batasan daerah kerjanya hanya antara CT fasa dengan CT titik netralnya. REF ditujukan untuk memproteksi gangguan 1-fasa ketanah.

Pada waktu tidak terjadi gangguan/ keadaan normal atau gangguan di luar daerah pengaman, maka ke dua arus sekunder tersebut di atas besarnya sama, sehingga tidak ada arus yang mengalir pada rele, akibatnya rele tidak bekerja. Pada waktu terjadi gangguan di daerah pengamanannya, maka kedua arus sekunder trafo arus besarnya tidak sama oleh karena itu, akan ada arus yang mengalir pada rele, selanjutnya rele bekerja.

5. Proteksi Cadangan Trafo Tenaga.

Proteksi cadangan adalah suatu sistem proteksi yang dirancang untuk bekerja ketika terjadi gangguan pada sistem tetapi tidak dapat diamankan atau tidak terdeteksinya dalam kurun waktu tertentu karena kerusakan atau ketidakmampuan proteksi yang lain (proteksi utama) untuk mengerjakan pemutus tenaga yang tepat. Proteksi cadangan dipasang untuk bekerja sebagai pengganti bagi proteksi utama pada waktu proteksi utama gagal atau tidak dapat bekerja sebagaimana mestinya. (IEC 16-05-030).

a Ciri-ciri pengaman cadangan :

- 1) Waktu kerjanya lebih lambat atau ada waktu tunda (*time delay*), untuk memberi kesempatan kepada pengaman utama bekerja lebih dahulu.
- 2) Secara sistem, proteksi cadangan terpisah dari proteksi utama.
- 3) Rele pengaman cadangan harus dikoordinasikan dengan rele proteksi pengamanan cadangan lainnya di sisi lain.

Pola Proteksi cadangan pada trafo tenaga umumnya terdiri dari OCR untuk gangguan fasa-fasa atau 3 fasa dan GFR untuk gangguan 1 fasa ketanah seperti yang terlihat pada tabel 2.1.di atas.

b. Rele Proteksi Cadangan Trafo Tenaga.

- 1) Rele Arus Lebih (50/51).

Prinsip kerja rele arus lebih adalah berdasarkan pengukuran arus, yaitu rele akan bekerja apabila merasakan arus diatas nilai settingnya. OCR dirancang sebagai pengaman cadangan trafo jika terjadi gangguan hubung singkat baik dalam trafo (*internal fault*) maupun gangguan eksternal (*external fault*). Oleh karena itu, setting arus OCR harus lebih besar dari kemampuan arus nominal trafo yang diamankan (110 – 120% dari *nominal*), sehingga tidak bekerja pada saat trafo dibebani *nominal*, akan tetapi harus dipastikan bahwa setting arus rele masih tetap bekerja pada arus hubung singkat fasa- fasa *minimum*.

Karakteristik waktu kerja terdiri dari:

- a) *Long time inverse*
- b) *Very inverse*
- c) *Normal/Standar inverse*
- d) *Definite*

Rele ini digunakan untuk mendeteksi gangguan fasa–fasa, mempunyai karakteristik inverse (waktu kerja rele akan semakin cepat apabila arus gangguan yang dirasakannya semakin besar) atau *definite* (waktu kerja tetap untuk setiap besaran gangguan). Selain itu pada rele arus lebih tersedia fungsi *highset* yang bekerja seketika (*moment/ instantaneous*). Untuk karakteristik *inverse* mengacu standar IEC atau ANSI/ IEEE. Rele ini digunakan sebagai proteksi cadangan karena tidak dapat menentukan titik gangguan secara tepat, dan juga ditujukan untuk keamanan peralatan apabila proteksi utama gagal kerja.

Agar dapat dikoordinasikan dengan baik terhadap rele arus lebih disisi yang lain (bukan rele arus lebih yang terpasang di penghantar), maka karakteristik untuk proteksi penghantar yang dipilih adalah kurva yang sama yaitu *standard inverse* (IEC) / *normal inverse* (ANSI/IEEE).

2) *Ground Fault Rele (50N/51N).*

Prinsip kerja GFR sama dengan OCR yaitu berdasarkan pengukuran arus, dimana rele akan bekerja apabila merasakan arus diatas nilai settingnya. GFR dirancang sebagai pengaman cadangan Trafo jika terjadi gangguan hubung singkat fasa terhadap tanah, baik dalam trafo (internal fault) maupun gangguan eksternal (external fault). Setting arus GFR lebih kecil daripada OCR, karena nilai arus hubungsingkatnya pun lebih kecil dari pada arus hubung singkat fasa-fasa.

Karateristik waktu kerja terdiri dari:

- a) *Long time inverse*
- b) *Very inverse*
- c) *Normal/ Standar inverse*
- d) *Definite*

Rele ini digunakan untuk mendeteksi gangguan fasa–tanah, sehingga karakteristik waktu yang dipilihpun cenderung lebih lambat daripada waktu OCR. Pada GFR *settinghighset* diblok, kecuali untuk tahanan 500Ω di sisi sekunder trafo.

3) *Stand By Earth Fault* (SBEF);

Di Indonesia ada tiga jenis pentanahan netral yaitu dengan tahanan rendah (12Ω , 40Ω), langsung (*solid*) dan pentanahan dengan tahanan tinggi (500Ω). *Stand By Earth Fault* adalah rele pengamanan untuk sistem pentanahan dengan *Neutral Grounding Resistance* (NGR) pada trafo.

4) *Over/ Under Voltage Relay* (59/27).

Over Voltage Relay (OVR) dan *Under Voltage Relay* (UVR) adalah rele yang mengamankan peralatan instalasi dari pengaruh perubahan tegangan lebih atau tegangan kurang. Peralatan instalasi mempunyai nilai batas *maximum* dan minimum dalam pengoperasiannya. Jika melebihi nilai *maximum* atau *minimum* batas kerja operasinya, peralatan tersebut dapat rusak. Sehingga untuk menjaga peralatan dari kerusakan akibat perubahan tegangan yang signifikan tersebut dibutuhkan OVR dan UVR. Prinsip dasar OVR dan UVR adalah bekerja apabila dia mencapai titik *setingannya*. OVR akan bekerja jika tegangan naik, melebihi dari setingannya, sedangkan UVR bekerja jika tegangan turun, kurang dari nilai setingannya.

7. Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

1. Faktor-Faktor Penyebab Gangguan

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang melibatkan banyak komponen dan sangat kompleks. Oleh karena itu, ada beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem tenaga listrik, antara lain sebagai berikut :

a. Faktor manusia.

Faktor ini terutama menyangkut kesalahan atau kelalaian dalam memberikan perlakuan pada sistem. Misalnya salah menyambung rangkaian, keliru dalam mengkalibrasi suatu piranti pengaman, dan sebagainya.

b. 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 rele pengaman, juga mengurangi daya isolasi peralatan listrik lainnya.

c. Faktor *external*.

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

Jika ditinjau dari sifat dan penyebabnya, jenis gangguan dapat dikelompokkan sebagai berikut :

a. Tegangan Lebih (*Over Voltage*);

Tegangan lebih merupakan suatu gangguan akibat tegangan pada sistem tenaga listrik lebih besar dari seharusnya.

b. 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 biasanya 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).

Gangguan hubung singkat yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik 3 fasa sebagai berikut :

- 1) Satu fasa dengan tanah.
- 2) Fasa dengan fasa.
- 3) 2 fasa dengan tanah.
- 4) Fasa dengan fasa dan pada waktu bersamaan dari fasa ke 3 dengan tanah.
- 5) 3 fasa dengan tanah.
- 6) Hubung singkat 3 fasa.

Empat jenis gangguan pertama menimbulkan arus gangguan tidak simetris (*unsymmetrical short-circuit*). Sedangkan dua jenis gangguan terakhir menimbulkan arus gangguan hubung singkat simetris (*symmetrical short-circuit*). Perhitungan arus hubung singkat sangat penting untuk menentukan kemampuan pemutus tenaga dan untuk koordinasi pemasangan rele pengaman.

c. Beban Lebih (*Over Load*).

Beban lebih merupakan gangguan yang terjadi akibat konsumsi energi listrik melebihi energi listrik yang dihasilkan pada pembangkit. Gangguan

beban lebih sering terjadi terutama pada generator dan transformator daya. Ciri dari beban lebih adalah terjadinya arus lebih pada komponen.

Arus lebih ini dapat menimbulkan pemanasan yang berlebihan sehingga bisa menimbulkan kerusakan pada isolasi. Pada transformator distribusi sekunder yang menyalurkan energi listrik pada konsumen akan memutuskan aliran melalui rele beban lebih jika konsumsi tenaga listrik oleh konsumen melebihi kemampuan trafo tersebut.

d. Daya Balik (*Reserve Power*).

Daya balik merupakan suatu gangguan berubahnya fungsi generator menjadi motor (beban) pada sistem pembangkit tenaga listrik. Gangguan ini terjadi pada sistem tenaga listrik yang terintegrasi (*interconnected system*). Hal ini menyebabkan sebagian generator menjadi motor dan sebagian berbeban lebih. Cara untuk mengatasi gangguan ini adalah dengan melepas generator yang terganggu atau melepas daerah yang terjadi hubung singkat secepat mungkin. Untuk mengamankan gangguan di atas biasanya pada penyerentakan generator telah dilengkapi dengan rele daya balik (*reserve power relay*).

8. Teknik Deskripsi Persentase

Teknik deskriptif persentase adalah suatu teknik yang digunakan untuk memberi deskripsi atau pembahasan hasil penelitian yang masih bersifat data

kuantitatif sehingga diperoleh gambaran kualitatif dari hasil penelitian. Rumus yang digunakan dalam teknik deskripsi persentase ini adalah sebagai berikut :

a. Deskripsi persentase gangguan pada sistem proteksi trafo tenaga di gardu induk :

$$DPG = n/N \times 100\% \text{(Suharsimi Arikanto, 2006)}$$

Keterangan :

DPG = Deskripsi persentase gangguan (%)

n = Fekuensi gangguan (kali)

N = Jumlah gangguan (kali)

b. Deskripsi persentase kenadalan/keberhasilan sistem proteksi trafo tenaga dalam menangani gangguan di gardu induk :

$$DPK = n/N \times 100\% \text{(Suharsimi Arikanto, 2006)}$$

Keterangan :

DPK = Deskripsi persentase keandalan rele (%)

n = Kinerja rele (kali)

N = Jumlah gangguan rele (kali)

Keandalan rele dikatakan cukup baik bila mempunyai hari dari 90 % sampai dengan 99 %.

a **Usaha Penanggulangan Gangguan**

PT. PLN (Persero) dalam menyikapi gangguan melakukan usaha penanganan gangguan sesuai dengan pedoman pemeliharaan gardu induk yaitu dengan cara :

a. *In service inspection*

In service inspection adalah kegiatan inspeksi yang dilakukan pada saat transformator dalam kondisi bertegangan/operasi. Tujuan dilakukannya *In service inspection* adalah untuk mendeteksi secara dini ketidaknormalan yang mungkin terjadi didalam trafo tanpa melakukan pemadaman.

b. *In service measurement*

In service measurement adalah kegiatan pengukuran/pengujian yang dilakukan pada saat transformtor bertegangan/beroperasi. Tujuan dilakukannya *in service measurement* adalah untuk mengetahui kondisi trafo lebih dalam tanpa melakukan pemadaman.

c. *Shutdown testing/measurement*

Shutdown testing/measurement adalah pekerjaan pengujian yng dilakuakn pada saat transformator dalam keadan padam. Pekerjaan ini

dilakukan pada saat pemeliharaan rutin maupun pada saat investigasi ketidaknormalan.

d. *Shutdown function check*

Shutdown function check adalah pekerjaan yang bertujuan menguji fungsi dari rele-rele proteksi maupun indicator yang ada pada transformator.

e. *Treatment*

Treatment merupakan tindakan korektif yang dilakukan berdasarkan hasil *in service inspection*, *in service measurement*, *shutdown measurement* dan *shutdown function check*.