

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Dibawah ini ada beberapa rujukan penelitian yang pernah dilakukan untuk mendukung penulisan tugas akhir ini, antara lain :

Warsito Adhi (2012) melakukan penelitian tentang Analisa Evaluasi Setting *Relay* OCR Sebagai Proteksi Pada Jaringan Distribusi Di Penyulang DSB-4 Kendal Jawa Tengah. Kesimpulan dari penelitian ini adalah Penempatan Pembangkit Terdistribusi dapat menyebabkan naiknya nilai arus gangguan hubung singkat, terutama pada arus gangguan dengan titik gangguan berada di dekat penempatan Pembangkit Terdistribusi. Penempatan PT pada jaringan distribusi akan mengakibatkan perubahan aliran arus beban dan arus gangguan yang mengharuskan adanya evaluasi setting koordinasi proteksi pada jaringan tersebut, dan untuk evaluasi setting proteksi pada beberapa titik penempatan PT harus memperhatikan koordinasi antara peralatan proteksi jaringan dengan peralatan proteksi dari PT tersebut.

Penelitian yang pernah dilakukan oleh Nugroho Agus Darmanto, dkk (2006) yang berjudul Analisis Koordinasi OCR-*Recloser* Penyulang di Kaliwungu 03 . Dari penelitian Nugroho Agus Darmanto di dapat kesimpulan bahwa jangkauan *relay* sangat berpengaruh terhadap besar kecilnya arus hubung singkat, sedangkan besar arus hubung singkat dipengaruhi jumlah pembangkit yang masuk ke sistem jaringan, kapasitas dan impedansi trafo dan titik gangguan atau panjang jaringan.

Hasil penelitian oleh Nugroho Wahyu Arief (2014) di penyulang 20kV dari GI 150/20kV Mrica Banjarnegara yaitu proteksi jenis arus lebih (OCR) harus diletakkan sedekat mungkin dengan sumber sebagai pelindung peralatan- peralatan utama di Gardu Induk, ditempatkan pada bagian percabangan dan diletakkan di

bagian ujung jaringan sebagai proteksi ganda. Sehingga diharapkan dapat bekerja lebih maksimal dalam mengamankan peralatan-peralata sistem proteksi terhadap gangguan arus lebih.

Penelitian setting *relay* oleh Azanto Putro Kurniawan (2016) kesimpulanya yang didapatnya yaitu tentang setting relay dimana hasil dari setting *relay* bahwa untuk menentukan setting *relay* harus diketahui terlebih dahulu gangguan arus hubung singkat yang terjadi pada titik terdekat dengan *relay*. Setelah itu menentukan peralatan *relay* yang sesuai dengan spesifikasi yang tepat dan memiliki kemampuan tinggi untuk mengatasi gangguan sesuai kapasitas proteksi. Letak proteksi yang jauh maka arus gangguan hubung singkat semakin kecil maka waktu yang dibutuhkan *relay* pengaman semakin cepat.

Analisis Koordinasi Proteksi Pada PT. PLN (PERSERO) Gardu Induk Wonosobo Aji Setiyawan (2017) Menggunakan Software Aplikasi ETAP. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa untuk arus hubung singkat, panjangnya jarak berpengaruh terhadap nilai arus hubung singkat. Semakin panjang jarak maka semakin kecil pula nilai arus hubung singkat yang terjadi pada titik tersebut begitu pula sebaliknya.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Gardu Induk

Gardu Induk merupakan suatu instalasi kelistrikan yang dibangun sebagai titik awal untuk mensuplai tenaga listrik dengan memiliki beberapa fungsi, diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Sebagai tempat pengawasan operasi serta pengaturan pengaman dari sistem tenaga listrik yang bekerja.
- b. Menstansformasikan tenaga listrik tegangan tinggi ke tegangan tinggi lainnya atau ketegangan menengah.
- c. Pengaturan daya ke Gardu Induk lainnya melalui tegangan tinggi, dan gardu induk distribusi melalui *feeder* tegangan menengah.

2.2.2 Gardu Induk Menurut Tegangannya

Gardu Induk menurut tegangannya ada dua jenis diantaranya sebagai berikut:

- a. Gardu Induk Transmisi : Gardu induk Transmisi adalah yang dapat daya dari saluran transmisi yang kemudian disalurkan ke bagian beban yaitu industri. Gardu induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi dengan besar tegangannya adalah 150 kv.
- b. Gardu Induk Distribusi : Gardu Induk Distribusi adalah yang menerima tenaga dari Gardu Induk transmisi yang tegangannya diturunkan melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah 20 kv, dan kemudian diturunkan lagi sesuai kebutuhan pada tegangan rendah.

2.2.3 Fungsi Gardu Induk

Ada beberapa jenis tegangan untuk mentransformasikan daya listrik :

1. Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 KV/150 KV).
2. Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 KV/ 70 KV).
3. Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 KV/ 20 KV, 70 KV/20 KV).
4. Dengan frekuensi tetap (di Indonesia 50 Hertz).

Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari sistem tenaga listrik. Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi-gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang-penyulang (feeder- feeder) tegangan menengah yang ada di gardu induk. Untuk sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang kita kenal dengan istilah SCADA.

2.2.4 Gardu Induk Menurut Penempatannya

Gardu Induk sesuai penempatannya maka ada beberapa jenis Gardu Induk diantaranya, yaitu :

- a. *Outdoor Substation* (Gardu Induk Pemasangan Luar)

Gardu Induk Pemasangan Luar ini merupakan Gardu Induk dimana peralatannya berada diluar ruangan atau terbuka, namun tidak semua peralatan diluar namun bagian instrumen ada di dalam ruangan seperti kontrol dan alat ukur. Gardu Induk ini memerlukan lahan yang lebar namun biaya kontruksi murah serta untuk pendingin mudah.

b. *Indoor Substation* (Gardu Induk pemasangan dalam)

Gardu Induk *Indoor* ini dimana peralatannya kebanyakan berada didalam ruangan, gedung atau tertutup. Diimana menyesuaikan dengan lingkungan serta dapat untuk mengurangi gangguan suara dan menghindari kebakaran.

c. *Under Ground Substation* (Gardu Induk Pemasangan Bawah Tanah)

Gardu induk pemasangan bawah tanah ini bisanya penempatnya berada di tengah kota, dimana peralatan kelistrikannya diletakkan dibawah tanah kecuali pendinginya. Biasanya gardu induk jenis ini karena lahan yang tidak memadai dan untuk keindahan.

d. *Combine Outoor Substantion* (Gardu Induk sebagian pasang luar)

Gardu induk jenis ini dimana peralatannya dipasang didalam ruang tertutup dan peralatan lainnya yang terpasang diluar dengan memeperhatikan kondisi dan situasi lingkungan sekitar.

e. Semi Under Ground Substation (Gardu Induk sebagian dipasang dibawah tanah)

Gardu induk ini biasanya menempatkan peralatannya dibawah tanah, dan transformator daya biasanya dipasang dibawah tanah sedangkan peralatan lainnya berada di atas tanah.

2.2.5 Komponen Utama Pada Gardu Induk

- Tranformator Daya
- *Disconnecting Switch*
- *Circuit Breaker* (CB)
- *Lightning Arrester*

- *Grounding*
- Busbar
- Sistem Pentanahan Titik Netral

2.2.6 Transformator Daya

Transformator daya merupakan komponen utama dalam sebuah kelistrikan dimana memiliki fungsi untuk menaikkan tegangan rendah ke tinggi atau menurunkan tegangan tinggi ke rendah, dimana komponen trafo ini merupakan komponen inti dalam dunia kelistrikan.



Gambar 2. 1 Transformator Daya pada Gardu induk

Transformator juga berfungsi mentransformasikan daya listrik dengan merubah besarnya tanpa merubah frekuensi dan juga memiliki fungsi untuk pengatur tegangan. Transformator ini berfungsi sebagai pengatur tegangan yang dimana dilengkapi dengan trafo pentanahan berfungsi untuk mendapatkan titik netral dari trafo daya atau disebut dengan alat *neutral current transformer* (NCT), dan ada NGR yaitu *Neutral Grounding Residance* yaitu sebuah pentanahan pada trafo.

Panas yang ditimbulkan pada trafo disebabkan karena adanya rugi-rugi tembaga dan rugi-rugi besi, jika terjadi kenaikan suhu yang berlebihan, maka dapat merusak isolator yang ada pada trafo tersebut.

Sehingga untuk mengurangi sebuah kenaikan suhu yang berlebih tersebut, maka pendingin sangat dibutuhkan untuk menyalurkan panas keluar dari trafo tersebut.

Media yang digunakan sebagai pendingin pada trafo berbagai jenis :

- Minyak
- Air
- Udar / Gas

Dan ada cara sirkulasi dengan dua cara antara lain:

- Tekanan
- Alamiah (Neutral)

2.2.7 Disconnecting Switch

Disconnecting Switch ini hampir sama memiliki fungsi seperti *Circuit Breaker (CB)* atau disebut juga sebagai pemisah, tetapi perbedaannya adalah pada pemisah ketika terjadi arus gangguan tidak dapat memutuskan jaringan. Pada gardu induk dikasih pemisah karena berfungsi memastikan jika sistem pada jaringan tidak dalam keadaan bertegangan.

2.2.8 Circuit Breaker (CB)

Circuit reaker merupakan sebuah instrumen pemutus dimana berfungsi sebagai penyambung atau pemutus arus beban nominal dalam kepentingan operasi. *Circuit Breaker* sendiri memiliki fungsi dalam memutus atau menghubungkan rangkaian dimana jika terjadi kondisi arus beban normal atau saat terjadi gangguan. Pada waktu menghubungkan atau memutus beban, akan terjadi tegangan recovery yaitu suatu fenomena tegangan lebih dari busur api, oleh karena itu sakelar pemutus dilengkapi dengan media peredaman busur api tersebut, seperti media suara dan gas SF6.



Gambar 2. 2 Circuit Breaker

2.2.9 *Lightning Arrester*

Lightning Arrester juga komponen penting pada sebuah gardu induk, dimana alat ini dipergunakan melindungi peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir atau tegangan transien yang tinggi dari suatu penyambungan atau pemutus rangkaian (sirkuit), dengan jalan mengalirkan arus denyut (*surge current*) ketanah serta membatasi berlangsungnya arus ikutan (follow current) serta mengembalikan keadaan jaringan ke keadaan semula tanpa mengganggu sistem.

Arrester akan melepaskan muatan listrik yang mengenainya dan mengurangi tegangan abnormal pada Gardu Induk, Syarat pemilihan arrester :

- Tegangan pelepasan dan tegangan percikan adalah tegangan yang ada pada terminal saat waktu pelepasan, nilainya harus rendah agar isolasi dapat teramankan.



Gambar 2. 3 Lightning Arrester Gardu Induk Wates

- Arus dinamik harus mampu di putuskan oleh *arrester* supaya dapat bekerja dengan terus menerus seperti semula. Batasan tegangan pemutus arus ini mungkin masih sama dengan tegangan dasar dari *arrester*.

2.2.10 Grounding

Grounding juga disebut sebagai pentanahan untuk menghubungkan kawat konduktor dengan tanah atau bumi yang berfungsi untuk menghilangkan atau mentanahkan tegangan induksi pada konduktor pada saat akan dilakukan perawatan atau pengisolasi pada suatu sistem. Sakelar *grounding* ini dibuka dan ditutup hanya apabila sistem dalam keadaan tidak bertegangan.

Maka grounding perlu dilengkapi dengan syarat-syarat sebagai berikut:

- Dengan membuat jalur impedansi yang rendah sebagai pengaman peralatan.
- Membuat sistem mekanik yang kuat tetapi mudah dalam pelayanan.
- Menggunakan bahan tahan korosi terhadap kondisi kimiawi tanah
- Dapat mengatasi gangguan berulang akibat dari surja hubung

2.2.11 Kabel

Kabel listrik merupakan sebuah media konduktor yang digunakan untuk menghantarkan sebuah arus listrik ataupun informasi, sebuah kabel listrik biasanya terbentuk dari aneka bahan konduktor yang dapat menghantarkan listrik, antara lain bahan yang biasa digunakan terbuat dari tembaga, tetapi ada juga dari serat baja, serat optik dan lain-lain.

2.2.12 Pengertian Proteksi Tenaga Listrik

Proteksi adalah suatu sistem kelistrikan dimana memiliki sebuah fungsi untuk pengisolasi, pemutus dan pemisah ketika terjadi sebuah gangguan dari keadaan abnormal. Kondisi abnormal disebut tenaga listrik adalah sebuah keadaan tegangan lebih, hubung singkat, beban lebih, asinkron dan lain-lain. Sebuah sistem pengaman dapat dibedakan menjadi 2 antara lain :

1. Pengaman Utama

Merupakan sebuah pengaman sangat penting dimana dalam menjaga instrumen yang dilindunginya, dan merupakan sistem proteksi utama, dimana cara kerja sistem pengaman utama harus sangat cepat jika terjadi sebuah gangguan dalam sebuah sistem, dapat diputus secara cepat sehingga gangguan tidak terjadi secara meluas.

2. Pengaman Cadangan

Pengaman cadangan ini disiapkan setelah pengaman utama, pengaman cadangan ini disiapkan jika terjadi sebuah kegagalan pada pengaman cadangan utama.

Sistem proteksi dalam sebuah jaringan kelistrikan sangatlah penting, apabila terjadi gangguan keadaan abnormal secara tiba-tiba pada sistem jaringan, gangguan pada jaringan sistem kelistrikan dapat terjadi disebut pembangkit, baik yang pada jaringan transmisi ataupun distribusi. Saat terjadi gangguan sistem proteksi harus

dengan cepat mengidentifikasi gangguan tersebut dan menjadi sebuah pemutus dengan sangat cepat.



Gambar 2. 4 Relay Pada Gardu Indul Wates

2.2.13 Tujuan Proteksi Tenaga Listrik

Gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik kebanyakan gangguan hubung singkat, dimana arus yang terjadi cukup besar. Dan semakin besar sistem yang diamankan maka semakin besar juga gangguan yang terjadi. Penyebabnya jika arus yang besar tidak segera dihilangkan akibatnya akan merusak peralatan yang dilalui oleh arus gangguan tersebut. Untuk mengamankan daerah yang terganggu itu maka diperlukan suatu sistem proteksi yang handal, yang pada dasarnya adalah alat pengaman yang bertujuan untuk melepaskan sistem yang terganggu, sehingga arus gangguan ini akan padam. Adapun tujuan dari sistem proteksi antara lain :

- a. Untuk mengisolir daerah gangguan menjadi sekecil mungkin.
- b. Untuk menghindari kerusakan peralatan yang dilalui oleh arus gangguan
- c. Untuk dapat memberikan pelayanan dan keandalan yang tinggi kepada konsumen.

2.2.14 Standar Keandalan Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Adapun beberapa standar untuk sistem proteksi tenaga listrik yang baik dan handal antara lain sebagai berikut:

1. Kepekaan (*Sensitivity*)

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. 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 90-99 %.

3. Kecepatan (*Speed*)

Semakin lama arus gangguan terus mengalir, semakin besar kerusakan peralatan. Hal yang paling penting adalah perlunya membuka bagian-bagian yang terganggu sebelum generator-generator yang dihubungkan kehilangan sinkronisasi dengan sistem. Waktu pembebasan gangguan yang tipikal dalam sistem sistem tegangan tinggi adalah 140 ms. Dalam masa mendatang waktu ini hendak dipersingkat menjadi 80 ms sehingga memerlukan *relay* dengan kecepatan yang sangat tinggi (*very high speed relaying*).

4. Selektifitas dan Diskriminatif

Selektifitas adalah kemampuan sistem proteksi untuk dapat memisahkan daerah yang terganggu sekecil mungkin, yaitu daerah yang hanya terjadi gangguan 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 diminimalisir menjadi sekecil mungkin.

Selektifitas dan diskriminatif pada suatu sistem proteksi dapat tercapai dengan mengatur peningkatan waktu (*time grading*), peningkatan setting arus (*current grading*), atau gabungan dari keduanya. Selain itu, selektifitas dan diskriminatif dapat tercapai dengan melakukan pemilihan karakteristik relai yang tepat, spesifikasi trafo arus yang benar, serta penentuan setting *relay* yang terkoordinasi dengan baik.

5. Ekonomis

Aspek ekonomis hampir selalu berhubungan dengan aspek teknis. Sistem proteksi yang baik adalah sistem proteksi yang mempertimbangkan aspek ekonomis tanpa mengesampingkan kinerja peralatan proteksi yang digunakan. Proteksi relatif mahal, namun demikian pula sistem atau peralatan yang dilindungi dan jaminan terhadap kelangsungan peralatan sistem adalah vital.

2.2.15 Komponen Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Berikut ini adalah komponen komponen ketenagaan yang umum untuk digunakan pada suatu sistem proteksi tenaga listrik:

1. Trafo Arus (*Current Transformer*)

Trafo arus atau *Current transformer* (CT) adalah jenis trafo instrumen yang digunakan untuk mengubah arus listrik skala besar ke skala yang lebih kecil. Trafo ini banyak digunakan untuk keperluan pengukuran dan perlindungan. Komponen utama CT adalah kumparan induktif. Unjuk kerja CT akan dipengaruhi oleh aliran arus atau beban yang terhubung padanya. Jika arus yang mengalir tidak sefase dengan tegangan, maka dikatakan faktor dayanya tidak sama dengan 1.0. Faktor daya dapat mengikut atau mendahului dan kerugian yang diserap oleh trafo tidaklah tetap.

CT di gunakan karena dalam pengukuran arus tidak mungkin di lakukan secara langsung pada arus beban atau arus gangguan, hal ini di sebabkan arus sangat besar dan bertegangan sangat tinggi. Karakteristik CT di tandai oleh *current transformer ratio* (CT) yang merupakan perbandingan antara arus yang di lewatkan oleh sisi primer dengan arus yang di lewatkan oleh sisi sekunder. Berdasarkan dari konstruksi belitan primer rafo arus memiliki dua (2) tipe yaitu *bar primary* dan *wound primary*.

2. *Potential Transformer*

Potensial Transformer adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi menurunkan tegangan yang tinggi menjadi tegangan yang lebih rendah yang sesuai dengan setting relay. Dalam sistem tenaga listrik dikenal berbagai macam tipe dan konstruksi dari trafo sesuai dengan aplikasinya. Untuk aplikasi peralatan proteksi sistem tenaga listrik khususnya rele, trafo digunakan untuk mengatur besaran kuantitas sistem (arus atau tegangan) dan mentransformasikan ke level yang lebih rendah sebagai input pengukuran untuk rele. Trafo ini dikenal dengan sebutan *instrument transformer* yang terdiri dari trafo tegangan dan trafo arus.

3. Jenis Rele Proteksi

Rele adalah suatu alat yang dapat memberikan indikasi suatu kondisi abnormal jika diberi energi oleh besaran-besaran sistem yang tepat. Pada prinsipnya, ketika kontak-kontak rele menutup, maka rangkain pemutus (*breaker*) akan membuka/mentriapkan sistem sehingga gangguan dapat diisolir. Berikut adalah klasifikasi rele berdasarkan fungsinya:

a. *Overcurrent relay*

Overcurrent relay adalah suatu *relay* dimana bekerjanya berdasarkan adanya kenaikan arus yang melewatinya. Agar peralatan tidak rusak bila dilewati arus yang melebihi kemampuannya, selain peralatan tersebut diamankan terhadap kenaikan arusnya, maka peralatan pengamannya harus dapat bekerja pada jangka waktu yang telah ditentukan.

b. *Differential Relay*

Differential Relay prinsip kerjanya berdasarkan hukum *kirchoff*, dimana arus yang masuk pada suatu titik, sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut. Rele ini dirancang untuk mendeteksi perbedaan serta membandingkan antara arus yang masuk dan keluar di zona proteksinya.

c. *Directional Relay*

Diferensial Relay adalah rele yang dirancang untuk mengidentifikasi perbedaan fasa antara fasa satu dengan yang lainnya. Rele ini akan bekerja saat terjadi sebuah gangguan daya balik.

d. Ground Fault Relay

Ground Fault Relay adalah rele yang bekerja untuk mendeteksi adanya gangguan pada komponen jaringan ke tanah atau lebih tepatnya dengan mengukur besarnya arus residu yang mengalir ke tanah.

e. Distance Relay

Distance Relay yaitu rele yang digunakan untuk proteksi pada saluran transmisi karena rele jarak dapat mengukur impedansi untuk mencapai titik tertentu. Rele ini bekerja dengan mendeteksi adanya gangguan hubung singkat yang terjadi antara lokasi rele dan batas jangkauannya yang telah ditentukan.

4. Pemutus Tenaga (*Circuit Breaker*)

Circuit Breaker (CB) adalah salah satu peralatan pemutus daya yang berguna untuk memutuskan dan menghubungkan rangkaian listrik dalam kondisi terhubung ke beban secara langsung dan aman, baik pada kondisi normal maupun saat terdapat gangguan.

Energi mekanik yang diperlukan untuk membuka kontak utama diperoleh dari gaya pegas, tekanan hidrolis, tekanan *pneumatic* atau dari kombinasi diantaranya. Pada saat CB memutuskan atau menghubungkan arus listrik akan timbul busur api sehingga digunakan beberapa bahan isolator seperti minyak, udara, gas, dan lain sebagainya.

5. *DC System Power Supply*

DC System Power Supply merupakan pencatu daya cadangan yang terdiri dari *Battery* dan *Charger*. *Charger* berfungsi sebagai peralatan yang mengubah tegangan AC ke DC dan *Battery* berfungsi sebagai penyimpan daya cadangan. Sebagai peralatan proteksi, *DC System Power Supply* merupakan peralatan yang sangat vital karena jika terjadi gangguan dan kontak telah terhubung, maka *DC System Power Supply* akan

bekerja yang menyebabkan CB membuka. *Charger* adalah sumber utama dari DC *system power supply*, karena charger adalah alat untuk merubah AC *power* menjadi DC *power (rectifier)*.

2.2.16 Jenis Gangguan Pada Sistem Tenaga Listrik

Pada suatu sistem tenaga listrik pasti memiliki gangguan yang biasa terjadi ketika sistem bekerja. Jenis gangguan yang biasa terjadi dalam sistem tenaga listrik diantaranya sebagai berikut:

1. Gangguan Akibat Tegangan Lebih (*Over Voltage*)

Gangguan tegangan lebih adalah jenis gangguan yang disebabkan tegangan pada sistem tenaga listrik bernilai lebih dari tegangan yang seharusnya. Gangguan tegangan lebih dibedakan menjadi dua, yaitu:

- a. Gangguan Tegangan Lebih dengan *Power* Frekuensi

Jenis gangguan ini disebabkan oleh pembangkit yang kehilangan beban, over speed pada generator saat bekerja, dan gangguan pada AVR (*Automatic Voltage Regulator*).

- b. Gangguan Tegangan Lebih *Transient*

Jenis gangguan ini disebabkan oleh surja petir atau surja hubung yang mengakibatkan nilai tegangan lebih dari tegangan yang seharusnya.

2. Gangguan Akibat Beban Lebih (*Over Load*)

Gangguan beban lebih adalah jenis gangguan yang diakibatkan adanya kenaikan arus yang mengalir pada sistem yang disebabkan oleh beban berlebih. Gangguan ini tidak boleh dibiarkan secara terus-menerus, karena dapat merusak peralatan yang terhubung pada sistem tenaga listrik.

3. Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat adalah jenis gangguan yang disebabkan adanya lonjakan arus sangat besar yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Ditinjau dari waktu berlangsungnya, gangguan hubung singkat terdiri dari dua macam, yaitu:

- a. Gangguan Hubung Singkat Permanen

Gangguan hubung singkat permanen adalah gangguan hubung singkat yang berlangsung dengan waktu yang lama. Gangguan ini disebabkan oleh hubung singkat pada kabel, belitan trafo, dan generator.

b. Gangguan Hubung Singkat Temporer

Gangguan hubung singkat temporer atau sementara adalah gangguan hubung singkat yang disebabkan oleh alam, seperti sambaran petir, pohon disekitar jaringan distribusi listrik, ataupun keadaan tiupan angin yang kencang pada jaringan distribusi listrik.

Dampak gangguan hubung singkat pada jaringan distribusi yakni diantaranya dapat mengakibatkan:

- a. Turun tegangan pada sistem jaringan, atau bahkan pada daerah-daerah tertentu, tegangan hilang sama sekali.
- b. Terjadi pengaruh mekanis yang dinamis pada komponen instalasi listrik seperti kumparan trafo, isolator, dan lain-lain.
- c. Dapat menimbulkan pengaruh thermis yang cukup tinggi untuk menaikkan suhu komponen-komponen instalasi listrik, hingga dapat merusak komponen instalasi listrik termasuk komponen proteksinya.
- d. Dapat mengganggu kontinuitas jalannya sistem jaringan, karena adanya pemutus tenaga yang terangsang serta bekerja sehingga memungkinkan adanya pemadaman listrik.

4. Gangguan Frekuensi Jatuh

Gangguan frekuensi jatuh adalah gangguan yang menyebabkan frekuensi pada sistem bernilai lebih rendah dibandingkan dengan frekuensi yang seharusnya. Gangguan ini disebabkan karena lepasnya pembangkit ketika sedang beroperasi, hal ini dikarenakan adanya gangguan di sisi pembangkit.

Gangguan hubung singkat dapat dikelompokkan lagi menjadi beberapa gangguan yang terjadi disetiap fasannya yaitu:

1. Gangguan hubungan singkat tiga fasa
2. Gangguan hubungan singkat dua fasa
3. Gangguan hubungan singkat satu fasa ke tanah

Dalam mencari besarnya arus gangguan hubung singkat diatas dapat menggunakan rumus dasar sebagai berikut:

$$I = \frac{V}{Z}$$

Dimana:

I = Arus yang mengalir pada hambatan Z (A)

V = Tegangan sumber (V)

Z = Impedansi jaringan, nilai ekivalen dari seluruh impedansi di dalam jaringan dari sumber tegangan sampai titik gangguan (ohm)

Z untuk gangguan tiga fasa, $Z = Z1$

Z untuk gangguan dua fasa, $Z = Z1 + Z2$

Z untuk gangguan satu fasa, $Z = Z1 + Z2 + Z0$

Dimana:

Z1 = Impedansi urutan positif (*ohm*)

Z2 = Impedansi urutan negatif (*ohm*)

Z0 = Impedansi urutan nol (*ohm*)

2.2.17 Menghitung Impedansi

Dalam mencari nilai arus hubung singkat terlebih dahulu menghitung nilai impedansi, nilai impedansi yang dibutuhkan adalah melakukan perhitungan mencari nilai impedansi sumber, nilai impedansi transformator dan juga nilai impedansi dari penyulang.

2.2.18 Impedansi Sumber

Perhitungan pertama adalah mencari nilai impedansi pada sumber 150 kV, selanjutnya setelah mendapatkan nilai impedansi sumber 150 kV dikonversikan dalam

impedansi bus 20 kV. Rumus yang digunakan dalam mencari nilai Impedansi sumber di bus 150 kV didapat rumus yaitu :

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA}$$

Yaitu :

X_s = Nilai Impedansi sumber Ω (*ohm*)

kV^2 = Nilai Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA = Nilai Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

2.2.19 Impedansi Transformator

Selanjutnya untuk mendapatkan nilai impedansi transformator sebelumnya menghitung besar reaktansi transformator, karena nilai impedansi transformator kecil maka nilainya tersebut di abaikan. Adapun rumus yang digunakan untuk mencari nilai reaktansi transformator dalam satuan Ohm menggunakan rumus di bawah ini :

$$X_t(\text{pada } 100\%) = \frac{kV^2}{MVA}$$

Dimana :

X_t = Nilai Impedansi trafo tenaga Ω (*ohm*)

kV^2 = Nilai Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA = Nilai Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

2.2.20 Impedansi Penyulang

Nilai Impedansi pada penyulang memiliki nilai yang berubah-ubah sesuai dengan jenis penghantar yang digunakan di Gardu Induk dimana nilai impedansi tersebut dipengaruhi oleh bahan penghantar, jenis penghantar, luas penampang penghantar dan panjang penghantar.

2.2.21 Impedansi Ekuivalen Jaringan

Nilai impedansi ekuivalen pada jaringan memiliki beberapa perhitungan antara lain perhitungan nilai impedansi ekuivalen positif (Z_{1eq}), negatif (Z_{2eq}) dan nol (Z_{0eq}) dimana dari titik gangguan sampai ke sumber.

Karena perhitungan Z_{1eq} dan Z_{2eq} tersambung secara seri maka nilai impedansi dihitung secara dijumlahkan, tetapi beda dengan perhitungan nilai Z_{0eq} yaitu dengan cara harus mengetahui nilai hubung belitan pada trafonya.

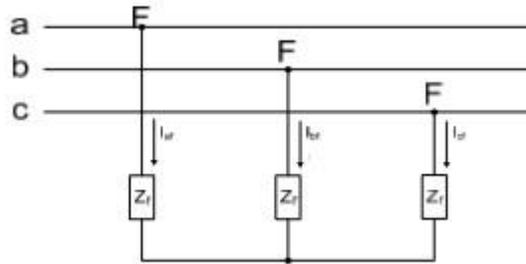
2.2.22 Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat

Untuk mencari nilai perhitungan arus gangguan hubung singkat adalah dengan melakukan analisa pada suatu sistem tenaga listrik terlebih dahulu dimana pada saat terjadi gangguan hubung singkat, dengan melakukan analisa pada sistem tenaga listrik akan akan diperoleh besaran listrik yang didapatkan dari akibat terjadinya gangguan hubung singkat.

Melakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat hal yang sangat penting karena sebagai pengetahuan sistem tenaga listrik pada saat keadaan perencanaan ataupun setelah beroperasi. Untuk mengetahui nilai arus hubung singkat maka perlu menghitung arus hubung singkat pada jenis gangguan tiga fasa, dua fasa, atau satu fasa ke tanah (ground). Di bawah ini ada beberapa perhitungan yang digunakan untuk mencari atau mendapatkan nilai gangguan arus hubung singkat antara lain ada 3 jenis yaitu gangguan hubung singkat tiga fasa, gangguan hubung singkat dua fasa ke fasa dan yang terakhir adalah gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dengan rumus dasar yang sudah ada.

2.2.23 Perhitungan Arus Hubung Singkat Tiga Fasa

Gambar 2. 5 dibawah ini merupakan kondisi gangguan hubung singkat 3 (tiga) fasa :



Gambar 2. 5 Gambar Gangguan hubung singkat 3 fasa

(Sumber: Daman Suswanto, 2009)

Untuk menghitung nilai arus gangguan hubung singkat tiga fasa menggunakan rumus dasar dibawah ini :

$$I = \frac{V}{Z}$$

Setelah mendapatkan rumus dasar diatas maka dapat menghitung dengan memasukkan dalam rumus dibawah ini :

$$I_{f3fasa} = V_{ph}/Z_{1eq}$$

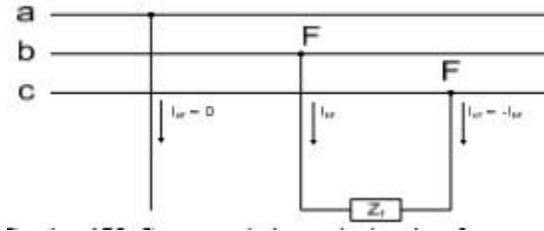
Dimana : I_{3fasa} = Nilai arus gangguan hubung singkat tiga fasa (A)

V_{ph} = Nilai tegangan fasa - netral sistem $20kV = \frac{20000}{\sqrt{3}}$ (V)

Z_{1eq} = Nilai impedansi ekivalen urutan positif Ω (ohm)

2.2.24 Perhitungan Arus Hubung Singkat Dua Fasa

Gambar 2. 6 merupakan gangguan hubung singkat 2 (dua) fasa dapat dilihat dibawah ini :



Gambar 2. 6 Gambar gangguan hubung singkat 2 fasa
 (Sumber: Daman Suswanto, 2009)

Dari gambar diatas arus gangguan hubung singkat dua fasa dapat dihitung menggunakan rumus berikut ini : $I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{Z_{1eq}+Z_{2eq}}$

Karena nilai $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, maka : $I_{2fasa} = \frac{V_{ph-ph}}{2 \times Z_{1eq}}$

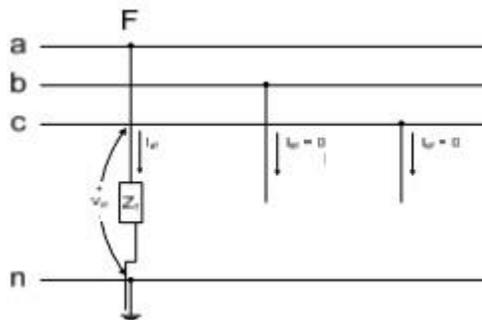
Yaitu : I_{2fasa} = Nilai Arus gangguan hubung singkat dua fasa (A)

V_{ph-ph} = Nilai Tegangan fasa-fasa sistem 20kV = 20000 (V)

Z_{1eq} = Nilai Impedansi urutan positif

2.2.25 Perhitungan Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Selanjutnya adalah gangguan hubung singkat 1 (satu) fasa ke tanah (ground) dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 2. 7 Gambar gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah
 (Sumber: Daman Suswanto, 2009)

Dari gambar diatas maka didapat rumus arus hubung singkat satu fasa ke tanah dapat dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$I_{1fasa} = \frac{3 \times V_{ph}}{Z_{1eq} + Z_{2eq} + Z_{0eq}}$$

Karena nilai $Z_{1eq} = Z_{2eq}$, maka:

$$I_{1fasa} = \frac{3 \times V_{ph}}{2 \times Z_{1eq} + Z_{0eq}}$$

Yaitu :

I_{1fasa} = Nilai arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah (A)

V_{ph} = Nilai Tegangan fasa – netral sistem 20kv = $\frac{20000}{\sqrt{3}}$ (V)

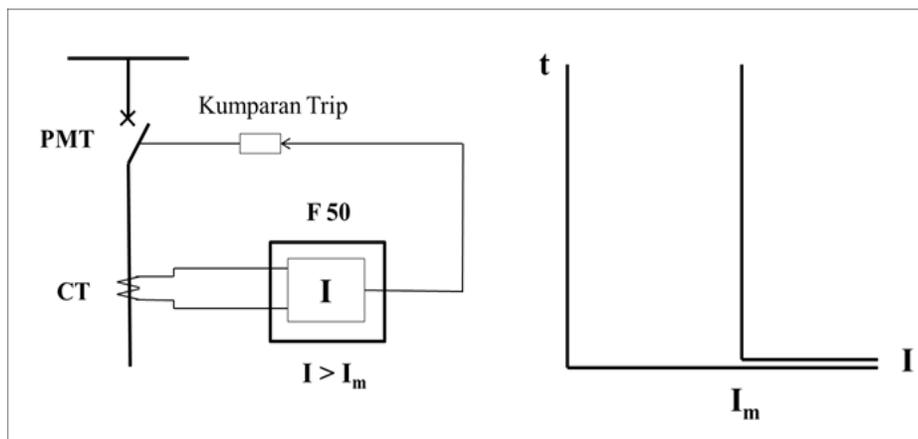
Z_{1eq} = Nilai Impedansi urutan positif Ω (ohm)

Z_{0eq} = Nilai Impedansi urutan nol Ω (ohm)

2.2.26 Karakteristik Over Cureent Relay

a. Relé Waktu Seketika (*Instantaneous*)

Relé Waktu Seketika yaitu relé yang cara kerjanya seketika atau instan artinya adalah tanpa adanya waktu tunda saat terjadi arus gangguan yang mengalir melebihi dari *setting*nya. Relé jenis ini bekerja dikisaran waktu yang sangat cepat yaitu 10-20 ms.



Gambar 2. 8 Gambar Karakteristik Relé Arus Lebih

(Sumber: Dunia-listrik.blogspot.com)

Rumus untuk nilai *settingnya* :

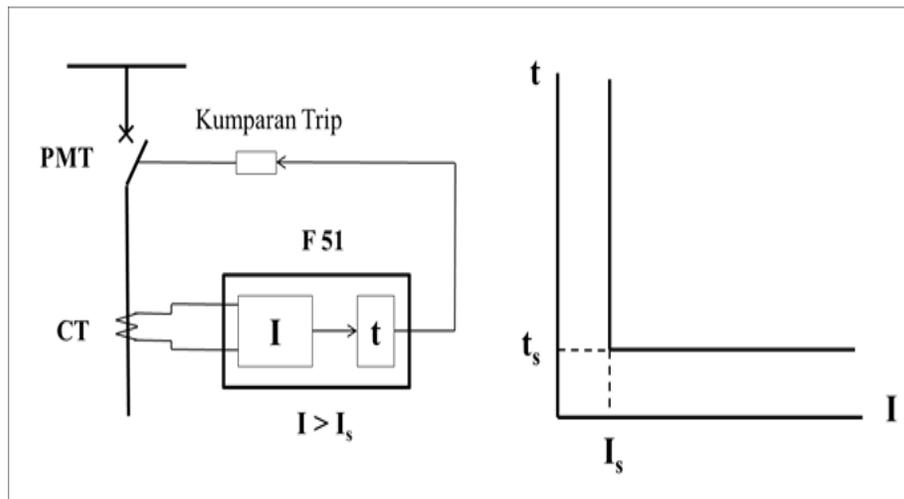
$$I_{set} = (4-6) \times I_n$$

Rele waktu seketika ini biasanya di kombinasikan dengan rele yang lain seperti rele arus lebih waktu tertentu (*definite time*) karena rele waktu seketika ini tidak dapat berdiri sendiri.

b. Rele Waktu Tertentu (*Definite Time*)

Rele waktu tertentu ketika bekerja ada waktu tunda tertentu yang mana tidak tergantung dengan besarnya arus asal yang melebihi nilai settingnya, yang mana dapat disetting adalah arus dan waktu tunda tersebut. Dimana rumus nilai settingnya sebagai berikut :

$$I_s = 1.2 \times I_n$$



Gambar 2. 9 Gambar Karakteristik Rele Waktu Tertentu (*Definite Time*)

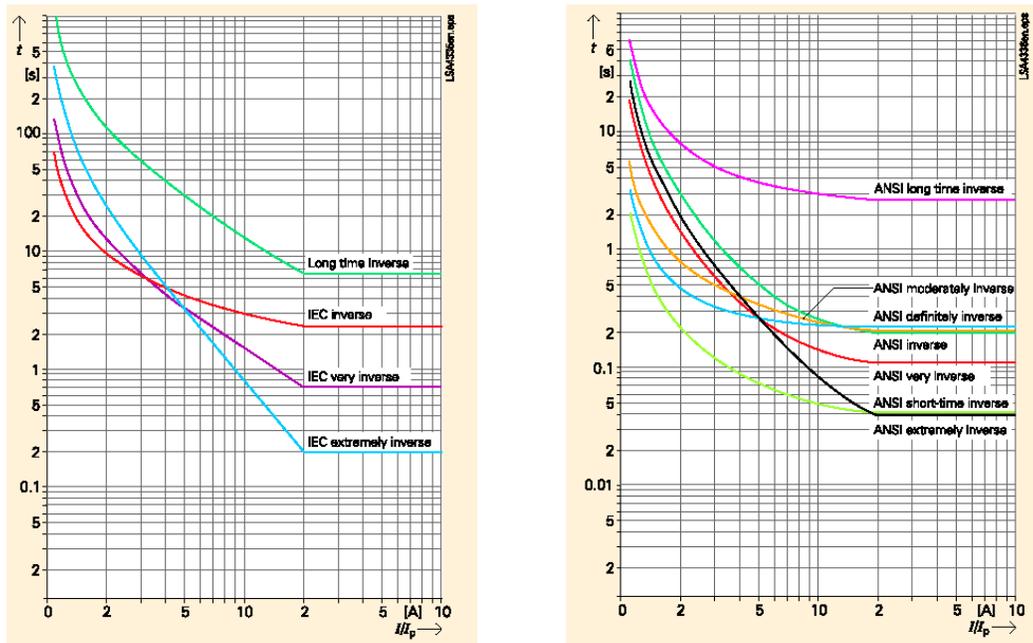
(Sumber: Dunia-listrik.blogspot.com)

c. Rele Waktu Terbalik (*Inverse*)

Selanjutnya rele waktu terbalik ini rele bekerja dengan waktu tunda tertentu dimana rele ini tergantung dari besarnya arus secara terbalik (*Inverse time*), yaitu jika semakin besar nilai arus maka makin kecil nilai waktu tundanya. Sedangkan untuk

menentukan nilai setting arus maka harus menentukan titik kerja rele tersebut. Dan komulasi waktu bisa diminimalkan, maka bisa diartikan bahwa rele akan memberikan pengamanan dengan waktu kerja yang sangat cepat khususnya untuk rele yang di paling awal. Adapun beberapa jenis rele dengan karakteristik yang berbeda adalah :

- 1) *Normal Inverse*
- 2) *Very inverse*
- 3) *Extremely Inverse*
- 4) *Long Time Inverse*



Gambar 2.1 Karakteristik berdasarkan IEC (kiri) dan ANSI (kanan).

(Sumber: Michae Tinegar, 2009)

Adapun karakteristik waktu berdasarkan IEC dan ANSI dijabarkan melalui rumus berikut:

IEC	ANSI
NI	$t = \frac{0,14}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{0,02} - 1} \cdot T_p \quad t = \left(\frac{8,9341}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^{2,0938} - 1} + 0,17966 \right) \cdot D$
VI	$t = \frac{13,5}{\left(\frac{I}{I_p}\right) - 1} \cdot T_p \quad t = \left(\frac{3,922}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^2 - 1} + 0,0982 \right) \cdot D$
EI	$t = \frac{80}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^2 - 1} \cdot T_p \quad t = \left(\frac{5,64}{\left(\frac{I}{I_p}\right)^2 - 1} + 0,0244 \right) \cdot D$
LTI	$t = \frac{120}{\left(\frac{I}{I_p}\right) - 1} \cdot T_p \quad t = \left(\frac{5,6143}{\left(\frac{I}{I_p}\right) - 1} + 2,18592 \right) \cdot D$

Dimana : t = *Tripping time*

T_p = *Setting value*

I = *Fault current*

I_p = *Setting value of the current*

2.2.27 Setting Arus OCR

Untuk melakukan *setting* arus OCR maka perlu melakukan perhitungan terlebih dahulu yaitu mencari nilai arus nominal *transformator*. Selanjutnya setelah mencari nilai besar arus setting pada bagian sisi primernya menggunakan rumus dibawah ini :

$$I_{set} \text{ (primer)} = 1,05 \times I_{\text{nominal trafo}}$$

Setelah didapat nilai I_{set} primer, kemudian mencari besarnya nilai arus *setting* sekundernya dengan menghitung rasio trafo arus (CT) dimana yang terpasang di bagian sisi primernya ataupun bagian sisi sekunder *transformator* tenaga.

$$I_{set} \text{ (sekunder)} = I_{set} \text{ (primer)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}}$$

2.2.28 Setelan Waktu

Terakhir adalah mencari nilai setelan waktu OCR, arus gangguan 3 fasa pada titik 0% adalah arus gangguan yang dibutuhkan. Rele yang ada pada Gardu Induk

Wates 150 kV menggunakan kurva SI (*standard inverse*), sehingga sesuai dengan rumus IEC untuk mendapatkan nilai waktunya maka menggunakan rumus dibawah ini

:

$$t = \frac{0,14 \times Tms}{\left(\frac{Ifault}{Iset}\right)^{0,02} - 1}$$