

2.1 Generator

Generator adalah mesin pembangkit tenaga listrik, di mana pembangkitan diperoleh dengan menerima tenaga mekanis dan mengubahnya menjadi tenaga listrik. Tenaga mekanis untuk generator misalnya untuk pemakaian di bengkel atau sekolah, umumnya menggunakan mesin disel, motor penggerak dan generator ini biasanya dipasang menjadi satu unit. Unit ini biasa disebut dengan generator set. Generator set pada umumnya menghasilkan listrik arus bolak balik satu atau tiga fasa (Daryanto, 2006).

Generator arus bolak balik, yang kadang-kadang disebut generator sinkron atau alternator, memberikan hubungan penting dalam proses yang lama dari perubahan energi dalam bentuk batu bara, minyak, gas, atau uranium kedalam bentuk yang bermanfaat untuk digunakan dalam industri dan rumah tangga. Generator besar yang digunakan untuk mencatu jala-jala daya listrik nasional modern digerakkan oleh turbin uap atau kincir air. Generator yang digunakan untuk mencatu sistem daya terpisah, atau sistem yang lebih kecil atau untuk melengkapi daya beban puncak tambahan terhadap jala-jala listrik yang lebih besar kerap kali digerakkan oleh mesin disel atau turbin bakar (Lister, 1993).

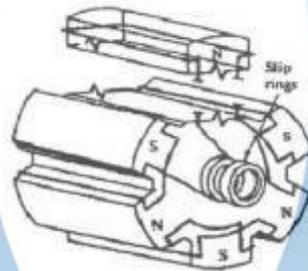
2.1.1 Konstruksi Generator Sinkron

Menurut Kundur Prabha (1993), konstruksi generator sinkron terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian diam yang mengeluarkan tegangan bolak-balik dan rotor adalah bagian bergerak yang menghasilkan medan magnet yang menginduksikan ke stator.

1. Rotor

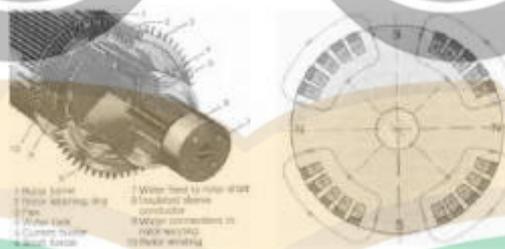
Pada generator sinkron, arus DC diterapkan pada lilitan rotor untuk menghasilkan medan magnet rotor. Rotor generator diputar oleh *prime mover* menghasilkan medan magnet berputar pada mesin. Medan magnet putar ini

menginduksi tegangan tiga fasa pada kumparan stator generator. Rotor pada generator sinkron pada dasarnya adalah sebuah elektromagnet yang besar. Kutub medan magnet rotor dapat berupa salient (kutub sepatu) dan *non salient* (rotor silinder). Gambar 2.1 menunjukkan bentuk rotor kutub sepatu.



Gambar 2.1 Bentuk Rotor Kutub Sepatu (Chapman, 2005)

Rotor silinder umumnya digunakan untuk rotor dua kutub dan empat kutub, sedangkan rotor kutub sepatu digunakan untuk rotor dengan empat atau lebih kutub. Pemilihan konstruksi rotor tergantung dari kecepatan putar *primer mover*, frekuensi dan *rating* daya generator. Generator dengan kecepatan lebih dari 1500 rpm pada frekuensi 50 Hz dan rating daya sekitar 10MVA menggunakan rotor silinder. Sementara untuk daya dibawah 10 MVA dan kecepatan rendah maka digunakan rotor kutub sepatu. Gambar 2.2 menunjukkan bentuk rotor silinder (Kundur, 1993).



Gambar 2.2 Bentuk Rotor Silinder (Chapman, 2005)

2. Stator

Stator atau armatur adalah bagian generator yang berfungsi sebagai tempat untuk menerima induksi magnet dari rotor. Arus AC yang menuju ke beban disalurkan melalui armatur, komponen ini berbentuk sebuah rangka silinder

dengan lilitan kawat konduktor yang sangat banyak. Armatur selalu diam, oleh karena itu komponen ini juga disebut dengan stator (Kundur, 1993).

Rangka stator merupakan rumah (kerangka) yang menyangga inti jangkar generator. Inti stator terbuat dari laminasi-laminasi baja campuran atau besi magnetik khusus yang terpasang ke rangka stator. Alur (slot) dan gigi stator merupakan tempat meletakkan kumparan stator. Ada tiga bentuk alur stator yaitu terbuka, setengah terbuka dan tertutup. Ketiga bentuk alur tersebut tampak seperti pada gambar 2.3 Kumparan jangkar biasanya terbuat dari tembaga. Kumparan ini merupakan tempat timbulnya ggl induksi (Kundur, 1993).



Gambar 2.3 Bentuk-Bentuk Alur Stator (Perawati, 2017)

Dapat dilihat pada Gambar 2.3 bahwa terdapat 3 jenis alur stator yaitu alur terbuka setengah terbuka dan tertutup. Masing – masing jenis alur tersebut memiliki kelebihan yakni :

1. Kelebihan alur terbuka
 - a. Pemasangan kumparan yang lebih mudah,
 - b. Pengeluaran kumparan lebih mudah untuk perbaikan.

2. Kelebihan alur setengah terbuka

Kelebihan alur setengah tertutup adalah nilai harmonisa slot lebih kecil dibanding dengan harmonisa alur terbuka.

3. Kelebihan alur tertutup

Distribusi medan magnet tidak terganggu.

Namun tiap alur tersebut memiliki kekurangannya masing – masing. Kekurangan masing – masing jenis alur tersebut yakni :

1. Kekurangan alur terbuka

Keseragaman distribusi medan magnet akan terganggu karena terdapat gigi-gigi alur pada permukaan stator dan dapat menimbulkan harmonisa slot.

2. Kekurangan alur setengah terbuka
Lebih sulit dalam pemasangan dan pengeluaran kumparan.
3. Kekurangan alur tertutup
 - a. Induktansi pada kumparan meningkatkan,
 - b. Sambungan pada kumparan lebih rumit,
 - c. Biaya lebih mahal disebabkan proses lebih rumit (Chapman, 2005).

2.1.2 Prinsip Kerja Generator Sinkron

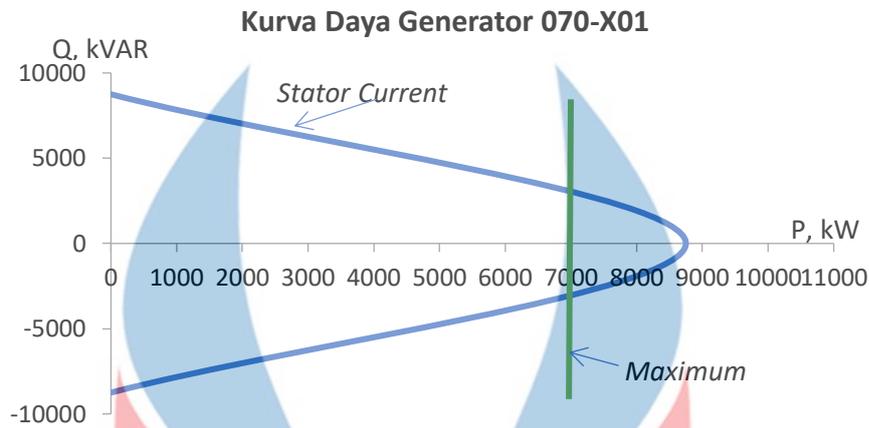
Prinsip dasar generator arus bolak-balik menggunakan hukum Faraday yang menyatakan jika sebatang penghantar berada pada medan magnet yang berubah-ubah, maka pada penghantar tersebut akan terbentuk gaya gerak listrik. Prinsip kerja generator arus bolak-balik tiga fasa (alternator) pada dasarnya sama dengan generator arus bolak-balik satu fasa, akan tetapi pada generator tiga fasa memiliki tiga lilitan yang sama dan tiga tegangan keluarannya berbeda fasa 120 derajat pada masing-masing fasa (Kundur, 1993).

Generator sinkron juga memiliki sistem eksitasi. Sistem eksitasi adalah sebuah rangkaian *exiter* atau disebut juga dengan penguat yang mensuplai medan penguat. Sistem eksitasi sangat berpengaruh terhadap daya reaktif yang di hasilkan. Jika sistem eksitasinya lemah, daya reaktif yang di hasilkan menjadi rendah, sedangkan jika sistem eksitasi kuat daya reaktif akan menjadi naik. Prinsip kerja sistem eksitasi secara umum yaitu mengalirkan listrik searah sebagai penguat dari listrik yang di hasilkan oleh generator. Sehingga generator akan menghasilkan tegangan listrik yang lebih besar dari pada listrik yang di hasilkan oleh generator itu sendiri (Chapman, 2005).

2.1.3 Kurva Daya Generator Sinkron

Kurva kapabilitas generator merupakan kurva yang menjelaskan pada pola operasi generator. Dari kurva ini didapatkan atau ditentuka titik operasi terbaik generator. Kurva daya generator atau kurva kapabilitas generator tersebut menggambarkan kemampuan sebuah generator bekerja sesuai dengan kapasitas daya yang dibangkitkan oleh generator tersebut. Tujuan membuat kurva kapabilitas generator adalah agar mempermudah dalam melakukan *setting*

proteksi generator. Berikut merupakan kurva kapabilitas dari generator 070-X01 (Chapman, 2005). www.itk.ac.id



Gambar 2.4 Capability Curve Generator 070-X01

Dapat dilihat pada Gambar 2.4 bahwa kapasitas daya reaktif pada Generator 070-X01 ialah 10000 kVAR dan batas negatif daya reaktif yakni -10000 kVAR. Daya reaktif negatif ini merupakan daya reaktif yang diserap generator dari sistem. Daya aktif maksimum yang dihasilkan oleh Generator 070-X01 ialah 7 MW.

2.1.4 Paralel Generator

Untuk melayani beban yang meningkat, ada kondisi di mana kita harus memparalel 2 atau lebih generator dengan tujuan menambah kapasitas daya dan menjaga kontinuitas pelayanan apabila ada generator yang harus dimatikan misalnya untuk *maintenance* atau *standby*. Adapun syarat paralel generator adalah:

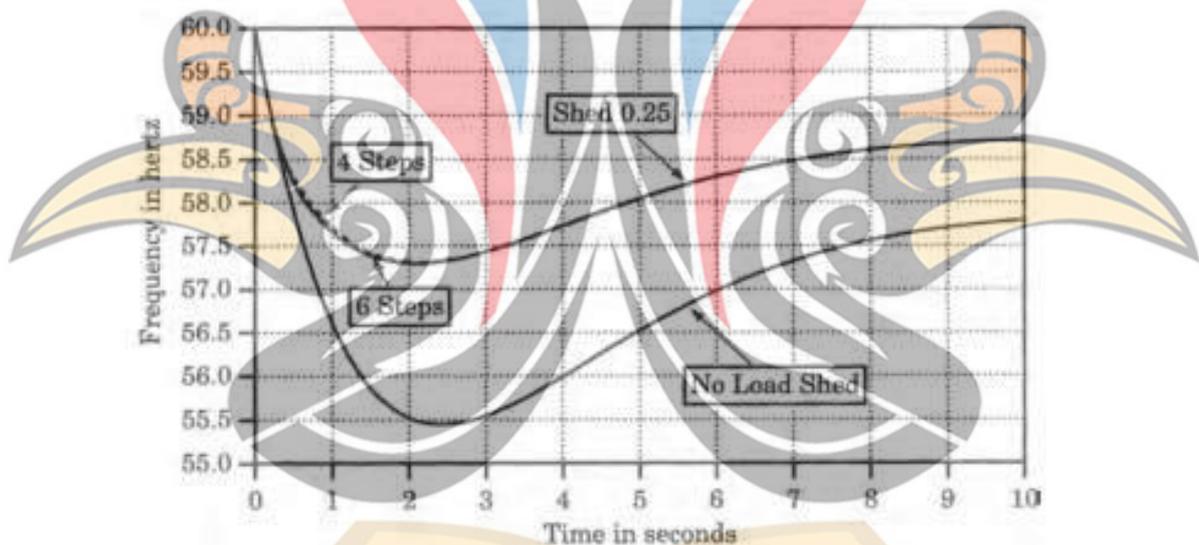
1. Tegangan (GGL) sesaat harus sama.
2. Frekuensi harus sama.
3. Urutan fasa harus sama.
4. Fasa harus sama (Chapman, 2005).

2.2 Pelepasan Beban (*Load Shedding*)

Pelepasan beban (*load shedding*) dilakukan untuk menjaga frekuensi sistem agar tetap stabil ketika terjadi gangguan yang mengakibatkan frekuensi sistem

turun. Dalam melakukan pelepasan beban terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam mendesain skema pelepasan beban.

1. Mempersiapkan beban – beban yang akan dilepas jika terjadi gangguan yang menyebabkan penurunan frekuensi agar frekuensi sistem dapat terjaga,
2. Penentuan waktu pelepasan beban agar frekuensi dapat kembali ke frekuensi normalnya dengan cepat,
3. Pada saat pelepasan beban bekerja penurunan frekuensi awal merupakan representasi dari besar gangguan yang terjadi,
4. Saat terjadi skema pelepasan beban lebih baik melepaskan beban yang banyak pada sistem daripada sistem sampai trip dikarenakan penurunan frekuensi akibat gangguan yang terjadi (Anderson, 1999).



Gambar 2.5 Grafik *Load Shedding* (Anderson, 1999)

Dapat dilihat pada Gambar 2.5 merupakan grafik pelepasan beban. Pada gangguan pertama dilakukan 4 *steps* pelepasan beban saat grafik belum bisa kembali ke frekuensi normalnya maka dilakukan pelepasan beban tahap 2 dengan 6 *steps*. Setelah pelepasan tahap 2 frekuensi dapat kembali ke frekuensi normalnya. Namun pada grafik kedua tidak terjadi pelepasan beban sehingga saat terjadi gangguan dan frekuensi turun maka *under frequency* sampai dibawah batas standar operasi frekuensi dan keadaan tersebut dapat mengakibatkan *under frequency relay* bekerja (Anderson, 1999).

2.3 Gangguan Sistem Tenaga Listrik

Dalam operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan-gangguan yang dapat mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. sistem distribusi adalah salah satu komponen sistem tenaga listrik yang sering mengalami gangguan. Hal ini diakibatkan karena letaknya yang berada di alam bebas. Penyebab gangguan ini misalnya petir, bencana alam, atau rusaknya isolator. Dari bermacam gangguan pada saluran distribusi yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat (Wahyudin, 2017).

- 1) Gangguan asimetris, merupakan gangguan yang mengakibatkan tegangan dan arus yang mengalir pada setiap fasanya menjadi tidak seimbang, gangguan ini terdiri dari:
 1. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah, yakni gangguan yang disebabkan karena salah satu fasa terhubung singkat ke tanah atau *ground*.
 2. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa, yakni gangguan yang disebabkan karena fasa dan fasa antar kedua fasa terhubung singkat dan tidak terhubung ke tanah.
 3. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah, yakni gangguan yang terjadi ketika kedua fasa terhubung singkat ke tanah.
- 2) Gangguan simetris, merupakan gangguan yang terjadi pada semua fasanya sehingga arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gangguan ini terdiri dari:
 1. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa, yakni gangguan yang terjadi ketika ketiga fasa saling terhubung singkat.
 2. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah, yakni gangguan yang terjadi ketika ketiga fasa terhubung singkat ke tanah.

Semua gangguan hubung singkat diatas, arus gangguannya dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1) (A.Arismunandar, 2004).

$$I = \frac{V}{Z} \quad (2.1)$$

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat tiga fasa, dua fasa dan satu fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan

itu sendiri, dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan. Impedansi yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut ini :

Z untuk gangguan tiga fasa, $Z = Z1$

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

Z untuk gangguan satu fasa, $Z = Z1 + Z2 + Z0$ (2.2)

2.3.1 Jenis Gangguan pada Generator

Jenis gangguan dan masalah-masalah yang terdapat pada generator-generator antara lain sebagai berikut :

1. Gangguan Internal
 - a) Gangguan fasa atau gangguan tanah pada kumparan stator dan komponen jaringan lain yang terkait.
 - b) Gangguan tanah pada kumparan rotor generator dan hilangnya sumber penguatan.
2. Sistem Mengalami Gangguan dan Kendala Operasi
 - a) Kehilangan sumber penggerak primer (*prime mover*), di mana generator bisa berubah menjadi motor.
 - b) Penguatan berlebihan atau *over* eksitasi yang dapat ditanggulangi dengan *relay* proteksi tegangan atau *relay* frekuensi.
 - c) Kesalahan operasi seperti masuknya generator ke jaringan secara tidak sinkron.
 - d) Arus *unbalance* seperti mengalirnya arus urutan negatif, karena salah satu kutub PMT mengalami *flash over*. Generator berbeban lebih sehingga mengalami panas berlebihan.
 - e) *Under Frequency* dapat terjadi pada sistem besar yang memiliki lebih dari 1 generator yang menjadi suplai sistemnya. Kemudian salah satu generator lepas dari sistem yang dapat mengakibatkan frekuensi turun secara drastis jika tidak ditangani dengan baik.
 - f) Kehilangan sinkronisasi atau *out of step*.
 - g) Kehilangan *output* trafo tegangan atau *regulator* yang dapat menyebabkan gangguan terhadap sistem kontrol dan yang bisa diinterpretasikan salah oleh *relay* proteksi (Pandjaitan, 2012).

2.3.2 Gangguan *Transient*

Definisi dari kestabilan *transient* adalah suatu kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kondisi sinkron ketika sistem mengalami gangguan *transient*. Gangguan *transient* merupakan gangguan besar yang bersifat tiba-tiba selama periode satu ayunan pertama. Kestabilan *transient* terjadi saat *Automatic Voltage Regulator* (AVR) dan pengatur frekuensi (*governor*) belum bekerja (Marsudi, 2006).

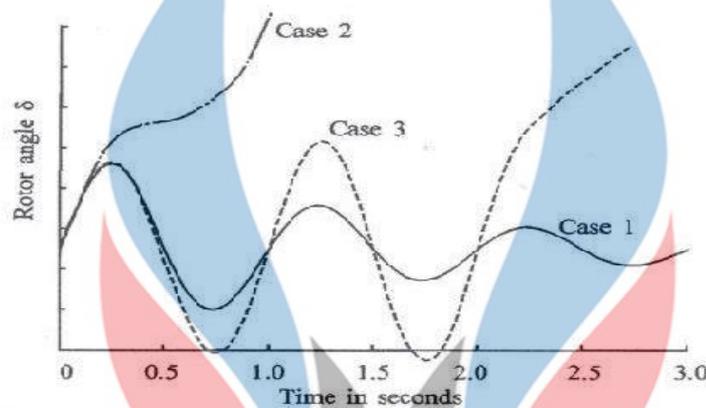
Dalam keadaan operasi yang stabil dari sistem tenaga listrik terdapat keseimbangan antara daya mekanis pada *prime mover* dengan daya listrik atau beban listrik pada sistem. Dalam keadaan ini semua generator berputar pada kecepatan sinkron. Hal ini terjadi bila setiap kenaikan dan penurunan beban diikuti dengan perubahan daya *input* mekanis pada *prime mover* dari generator ke generator lain. Bila daya *input* mekanis tidak cepat mengikuti perubahan beban maka kecepatan rotor generator dan tegangan akan menyimpang dari keadaan normal terutama jika terjadi gangguan, maka sesaat akan terjadi perbedaan yang besar antara daya mekanis pada generator dan daya listrik yang dihasilkan oleh generator. Kelebihan daya mekanis terhadap daya listrik mengakibatkan percepatan pada putaran rotor generator atau sebaliknya, bila gangguan tersebut tidak dihilangkan segera, maka percepatan dan perlambatan putaran rotor generator akan mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dalam sistem (Kundur, 1993).

Suatu sistem dapat dikatakan stabil ketika mencapai kestabilan *steady state*. Namun, ketika suatu sistem mencapai kestabilan *transient* belum tentu sistem tersebut sudah stabil. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan gangguan kestabilan *transient* adalah :

1. Beban lebih akibat generator lepas dari sistem
2. Hubung singkat
3. *Starting* pada motor
4. Perubahan beban secara tiba-tiba (Kundur, 1993)

Gambar 2.6 memperlihatkan respon dari sudut rotor pada kondisi stabil dan tidak stabil. Pada kasus pertama sudut rotor meningkat menjadi maksimum, kemudian menurun dan berosilasi dengan penurunan *amplitude* hingga mencapai

kondisi yang stabil. Pada kasus ke-2 sudut rotor terus meningkat sampai kehilangan sinkron. Ketidakstabilan ini merupakan ketidakstabilan ayunan pertama disebabkan tidak cukupnya torsi sinkronisasi. Pada kasus ke-3 sistem stabil pada ayunan pertama tetapi menjadi tidak stabil akibat dari meningkatnya osilasi pada kondisi akhir (Kundur, 1993).



Gambar 2.6 Respon Sudut Rotor Terhadap Gangguan *Transient* (Kundur, 1993)

2.4 Aliran Daya (*Load Flow*)

Daya listrik akan selalu menuju ke beban, sehingga disebut aliran daya atau aliran beban. Studi aliran daya (*load flow*) digunakan untuk menentukan tegangan, arus, daya aktif atau daya reaktif di berbagai macam titik/bus pada jaringan listrik dalam kondisi operasi normal (Stevenson, 1990). Selain dipergunakan untuk perencanaan pengembangan sistem listrik pada masa mendatang, juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi sistem kelistrikan yang sudah ada (Saadat, 1999).

Analisis aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, faktor daya yang terdapat pada setiap simpul atau bus suatu sistem tenaga listrik. Perhitungan tersebut dilakukan pada kondisi normal, baik yang sedang berjalan saat ini maupun yang diharapkan akan berkembang di masa mendatang. Dengan analisis aliran daya listrik dapat diketahui efek-efek interkoneksi dengan sistem tenaga lain, beban yang baru, sistem pembangkit yang baru, dan saluran yang baru (Saadat, 1999).

2.5 Sistem Proteksi

Sistem proteksi tenaga listrik adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk mengatasi apabila terjadi sesuatu gangguan yang akan mengurangi kontinuitas pelayanan terhadap konsumen. (Shintawaty, 2014).

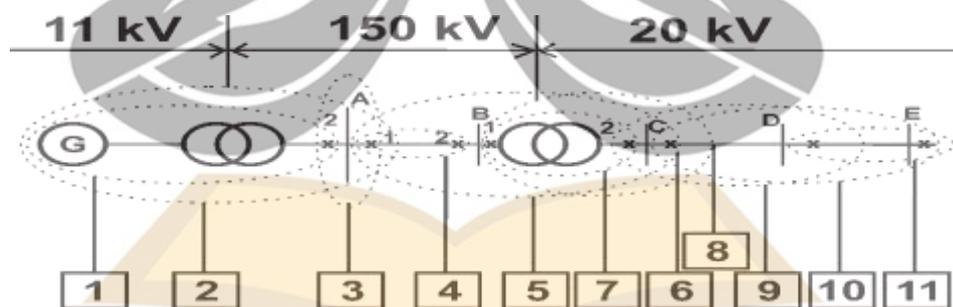
2.5.1 Pengelompokan Sistem Proteksi

Berdasarkan daerah pengamanannya, sistem proteksi dibedakan menjadi :

1. Proteksi pada generator
2. Proteksi pada *transformator*
3. Proteksi pada transmisi
4. Proteksi pada distribusi (SPLN 52-3, 1983).

2.5.2 Pembagian Daerah Proteksi

Sistem tenaga listrik dibagi ke dalam bagian-bagian yang dibatasi oleh PMT. Tiap bagian memiliki *relay* pengaman dan memiliki daerah pengaman (*Zone of Protection*). Bila terjadi gangguan, maka *relay* akan bekerja mendeteksi gangguan dan PMT akan *trip*. Gambar 2.7 dapat menjelaskan tentang konsep pembagian daerah proteksi (SPLN 52-3, 1983).



Gambar 2.7 Pembagian Daerah Proteksi Pada Sistem Tenaga Listrik (Suprianto, 2015)

Gambar 2.7 diatas memperlihatkan pembagian daerah proteksi pada sistem tenaga listrik, keterangan pada setiap penomoran ialah sebagai berikut, nomor 1 menunjukkan *differential relay* generator, nomor 2 menunjukkan *over current relay* pada trafo sisi 11 kV, nomor 3 menunjukkan pengaman utama bus A, nomor 4 menunjukkan *distance relay zone I* dan PLC di A1, nomor 5 menunjukkan

distance relay zone II di A1, nomor 6 menunjukkan *distance relay zone III* di A1, nomor 7 menunjukkan *differential relay* trafo, nomor 8 menunjukkan *over current relay* di sisi 150 kV, nomor 9 menunjukkan *over current relay* di sisi 20 kV, nomor 10 menunjukkan *over current relay* di C1, nomor 11 menunjukkan *over current relay* di D.

2.5.3 Pembagian Fungsi Kerja dalam Sistem Proteksi

Dalam sistem proteksi pembagian fungsi kerja dapat diuraikan menjadi :

1. Proteksi utama, berfungsi untuk meningkatkan keandalan, kecepatan kerja, dan fleksibilitas sistem proteksi dalam melakukan proteksi terhadap sistem tenaga.
2. Proteksi pengganti, berfungsi jika proteksi utama menghadapi kerusakan untuk mengatasi gangguan yang terjadi.
3. Proteksi tambahan, berfungsi untuk penggunaan pada waktu tertentu sebagai pembantu proteksi utama pada daerah tertentu yang dibutuhkan (SPLN 52-3, 1983).

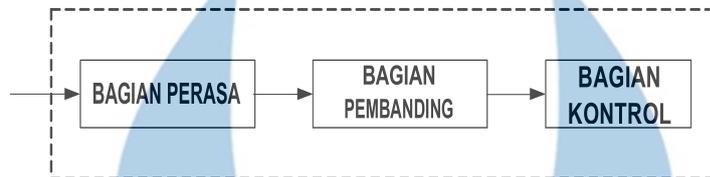
2.5.4 Komponen Peralatan Proteksi

Seperangkat peralatan/komponen proteksi utama berdasarkan fungsinya dapat dibedakan menjadi :

1. *Relay* Proteksi, sebagai elemen perasa yang mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya (*fault detection*).
2. Pemutus tenaga (PMT) : Sebagai pemutus arus gangguan di dalam sistem tenaga untuk melepaskan bagian sistem yang terganggu.
3. *Transformator* Ukur
Trafo Arus, menurunkan dan meneruskan arus ke sirkuit *relay*.
Trafo Tegangan, menurunkan dan meneruskan tegangan ke sirkuit *relay*.
4. *Battery* (Aki), sebagai sumber tenaga untuk menonaktifkan PMT dan catu daya untuk *relay* (*relay digital / relay statik*) dan *relay* bantu (*auxiliary relay*) (SPLN 52-3, 1983).

2.5.5 Relay Proteksi pada Generator

Relay proteksi umumnya mempunyai tiga bagian umum yang bekerja saling terkait untuk memutuskan arus gangguan. Ketiga bagian umum tersebut dapat dilihat pada gambar 2.8 (Sanaulah, 2004).



Gambar 2.8 Bagian Umum Suatu Relay Proteksi (Sanaulah, 2004)

1. Bagian perasa (*Sensing Element*)

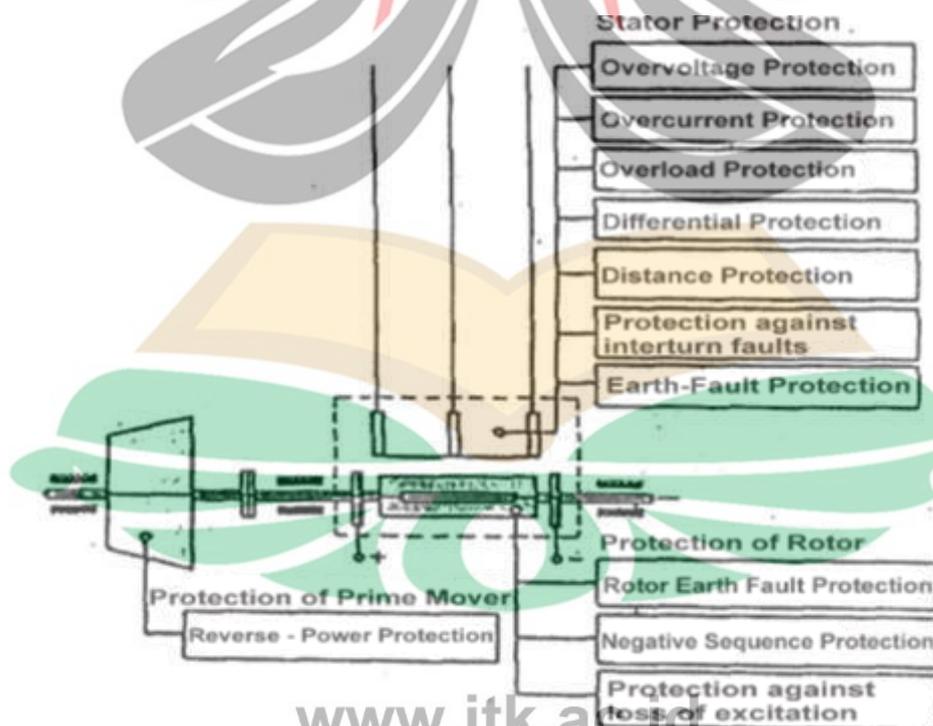
Pada bagian ini, perubahan dari besaran ukur yang dihasilkan selanjutnya diteruskan ke bagian pembanding.

2. Bagian Pembanding (*Comparison Element*)

Pada bagian ini akan membandingkan dan menentukan apakah besaran ukur itu masih dalam keadaan normal atau tidak.

3. Bagian Kontrol (*Control Element*)

Pada bagian ini pembukaan *circuit breaker* (CB) atau pemberian tanda diatur dan dilaksanakan (Sanaulah, 2004).



Gambar 2.9 Penempatan Peralatan Pengaman Listrik pada Generator (Rofianto, 2019)

Terdapat beberapa macam *relay* yang umum digunakan sebagai pengaman elektris pada generator. Adapun penempatan peralatan pengaman elektris pada generator secara umum dapat dilihat pada gambar 2.9 (Rofianto, 2019).

2.5.5.1 Over Current Relay

Over Current Relay (OCR) adalah *relay* yang beroperasi ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. *Relay* ini dipilih karena gangguan yang paling sering terjadi pada sistem diakibatkan oleh adanya hubung singkat dan beban lebih yang akan menghasilkan arus yang sangat besar. Koordinasi waktu pada *relay* arus lebih adalah proses penentuan *setting* untuk *relay* agar dapat bekerja saat sistem mengalami gangguan. OCR beroperasi berdasarkan besaran arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat dan memberikan perintah *trip* ke CB sesuai dengan karakteristik waktunya sehingga kerusakan alat akibat gangguan dapat dihindari (Sumekar, 2014).

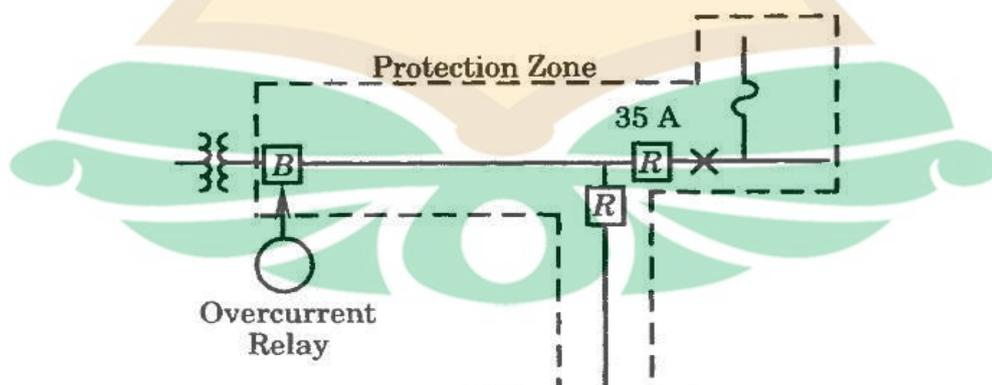
Penelitian sebelumnya (Hafiizh, 2018) menghimbau bahwa penentuan *setting relay* yang dilakukan dengan menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4.

$$1,5 \times \text{FLA} \leq I_{\text{set}} \leq 0,8 \times I_{\text{sc max}} \quad (2.3)$$

$$1,05 \times \text{FLA} \leq I_{\text{set}} \leq 1,4 \times \text{FLA} \quad (2.4)$$

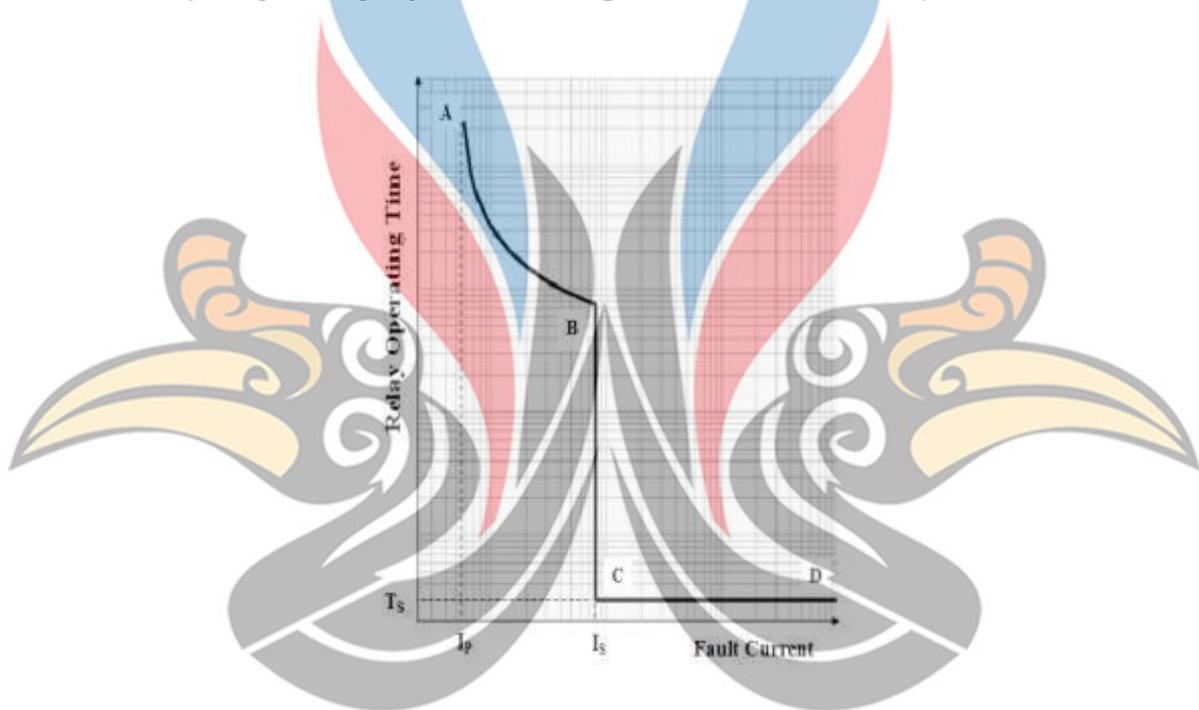
$$\text{Pickup} = \frac{I_{\text{set}}}{\text{CT primer}} \quad (2.5)$$

$$t_d = \frac{K \times T}{\beta \times \left[\left(\frac{I}{I_{\text{set}}} \right)^\alpha - 1 \right]} \quad (2.6)$$



Gambar 2.10 Diagram Pengawatan *Over Current Relay* (OCR) (Anderson, 1999)

FLA (*Full Load Ampere*) adalah arus beban penuh dari sistem. Sedangkan $I_{sc\ max}$ merupakan arus hubung singkat maksimum dari sistem. Persamaan 2.3 merupakan *setting* arus (I_{set}) kurva *standard inverse*. Persamaan 2.4 merupakan *setting* arus (I_{set}) kurva *instantaneous*. Kurva *instantaneous* berada disebelah kanan kurva *inverse* (lihat gambar 2.11). Kurva *inverse* mulai pada garis vertikal titik A sedangkan *instantaneous* mulai di garis vertikal titik B. Sehingga nilai minimum arus *setting* dari persamaan 2.3 harus lebih besar dengan nilai arus *setting* pada persamaan 2.4. *Pickup* (A/turn) adalah konstanta perbandingan arus *setting* dengan dengan jumlah belitan primer CT (*current transformer*).



Gambar 2.11 Kurva OCR *Inverse* dan *Instantaneous* (Aman, 2011)

Terdapat beberapa karakteristik tunda *relay* OCR. Karakteristik tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Relay* OCR Karakteristik Termal. *Relay* tersebut memiliki karakteristik serupa dengan karakteristik ketahanan termal suatu peralatan. Karakteristik tersebut terdapat pada *relay* beban lebih. Terdapat beberapa standar *relay* arus lebih karakteristik termal yang tertulis dalam kelas 10, kelas 20 dan kelas 30. Angka pada kelas merupakan waktu maksimal *relay* untuk bekerja dalam detik, ketika terjadi arus sebesar enam kali arus *setting*.

2. *Relay* OCR Karakteristik *Definite*. *Relay* arus lebih karakteristik *definite* memiliki waktu kerja sama dan tidak tergantung pada besar arus yang mengalir.
3. *Relay* OCR Karakteristik *Instantaneous*. *Relay* arus lebih *instantaneous* bekerja membuka rangkaian dengan sangat cepat. Tunda waktu *relay* arus lebih *instantaneous* dari *pick-up* hingga *trip* adalah 20-60 ms.
2. *Relay* OCR Karakteristik *Inverse*. Persamaan (2.6) merupakan karakteristik *relay* arus lebih kurva *inverse*.

Relay OCR kurva *inverse* memiliki batas *setting* yaitu *relay* tidak boleh bekerja saat beban maksimum, sehingga *setting* arus dari *relay* ini harus lebih besar dari arus beban penuh dari peralatan yang akan diamankan. Pada *relay* arus lebih kurva *inverse* terdiri dari dua bagian *setting* yaitu *setting pickup* dan *setting time dial*. Karakteristik *relay* OCR dapat dilihat pada tabel 2.1 (Setiawati, 2016).

Tabel 2.1 Karakteristik *Relay* OCR

Karakteristik	K	α	β
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02	2,970
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00	1,500
<i>Extremly Inverse</i>	80,00	2,00	0,800

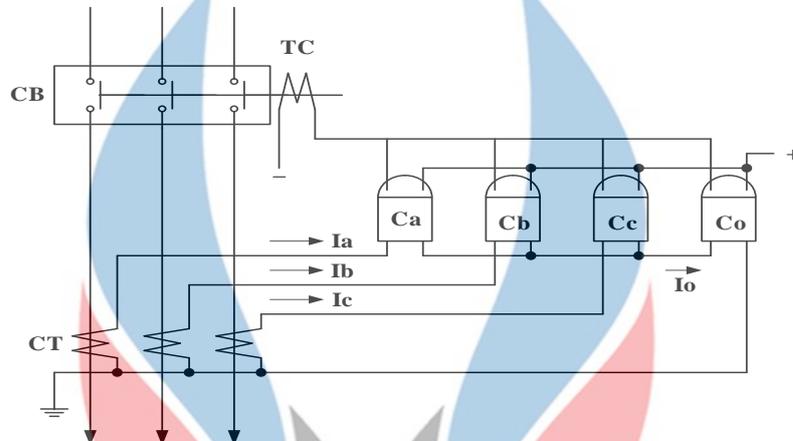
*)Setiawati, 2016

Konstanta untuk persamaan (2.6) ada pada tabel 2.1 dapat dilihat untuk kurva *extremley inverse* memiliki konstanta $K = 80,00$, $\alpha = 2,00$, dan $\beta = 0,800$.

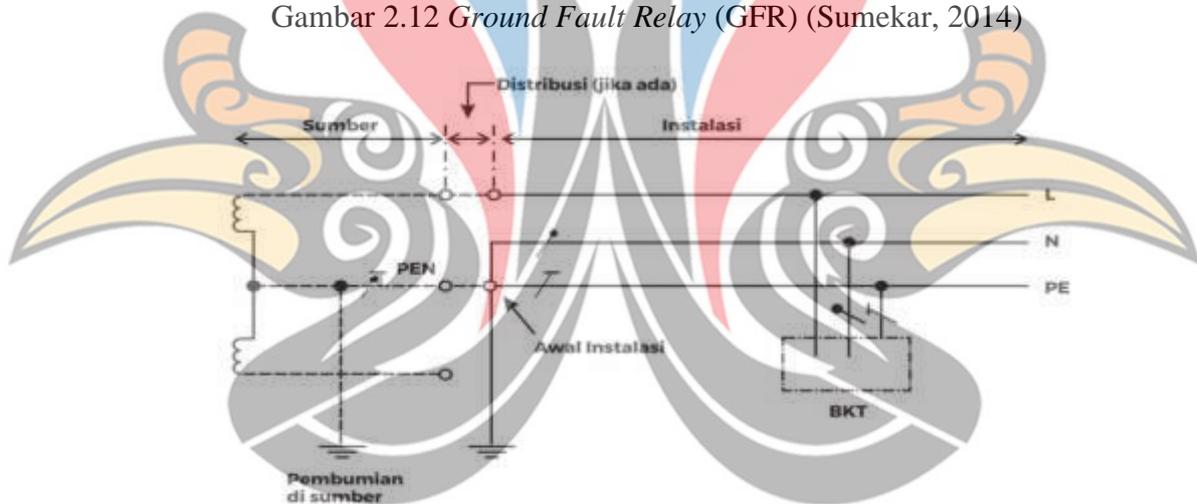
2.5.5.2 *Ground Fault Relay*

Ground Fault Relay (GFR) berfungsi untuk memproteksi SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) dari gangguan tanah. GFR maupun OCR umumnya digunakan sebagai pengaman utama (*main protection*) pada jaringan distribusi tegangan menengah. Gambar 2.12 merupakan konfigurasi dari GFR. Di mana arus gangguan akan dideteksi oleh I_a , I_b dan I_c . GFR pada kondisi normal dengan beban seimbang, arus fasa I_a , I_b , dan I_c sama besar sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan *relay* gangguan tanah tidak dialiri arus. C_a , C_b dan C_c merupakan OCR sebagai pengaman gangguan hubung singkat 3 fasa seimbang. Namun bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral I_o . Arus

urutan nol ini akan mengakibatkan GFR bekerja. Gangguan satu fasa ke tanah bergantung dari jenis pentanahan dan sistemnya. Jenis pentanahan (*grounding*) pada jaringan sistem tenaga listrik yang lazim digunakan adalah konfigurasi TN-C-S (*Terre Neutral – Combined – Separated*) sesuai dengan standar PUIL 2011.



Gambar 2.12 *Ground Fault Relay* (GFR) (Sumekar, 2014)



Gambar 2.13 Sistem *Grounding* TN-C-S sesuai PUIL 2011 (PUIL, 2011)

Gambar 2.13 merupakan sistem *grounding* yang digunakan pada distribusi PT. PLN (Persero). Konfigurasi ini memiliki pembumian (*grounding*) pada awal instalasi. Selain itu kabel netral akan di salurkan dari awal instalasi sampai ke BKT atau *cubicle*.

Gangguan satu fasa ke tanah umumnya bukan merupakan hubung singkat melalui tahanan gangguan. Sehingga arus gangguan menjadi semakin kecil dan tidak bisa terdeteksi oleh OCR. Dengan demikian diperlukan *relay* pengaman gangguan ke tanah. Untuk menentukan *setting* GFR nilai impedansi arus hubung

singkat yang terjadi harus diketahui, kemudian nilai impedansi sumber dan trafo distribusi. Setelah ketiga parameter yang telah disebutkan diketahui, maka ditentukan total impedansi jaringan. Nilai total impedansi ini akan di kalkulasi untuk mendapatkan arus hubung singkat dari GFR.

Relay gangguan tanah/GFR merupakan *relay* pengaman arus lebih yang dilengkapi dengan *zero sequence filter*. *Zero sequence filter* merupakan pendeteksi arus I_0 yang mengalir untuk mengaktifkan *relay* GFR. *Relay* gangguan tanah bekerja untuk mengamankan gangguan satu fasa dan dua fasa ke tanah dengan menggunakan rumus persamaan 2.7 (Sumekar, 2014).

$$5-10\% \times I_{scL-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{scL-G} \quad (2.7)$$

Nilai I_{scL-G} merupakan arus hubung singkat satu fasa yang terjadi pada saluran. Sedangkan I_{set} merupakan nilai *setting* arus.

2.5.5.3 Differential Relay

Differential Relay untuk melindungi generator dari gangguan akibat hubung singkat (*short circuit*) antar fasa-fasa atau fase ke tanah. Cara kerja *differential relay* adalah dengan cara membandingkan arus pada sisi primer dan sisi sekunder. Dalam kondisi normal jumlah arus yang mengalir melalui peralatan listrik yang diproteksi bersirkulasi melalui loop pada kedua sisi di daerah kerja. Jika terjadi gangguan didalam daerah kerja *differential relay*, maka arus dari kedua sisi akan saling menjumlah dan rele akan memberi perintah kepada PMT/CB untuk memutuskan arus. Prinsip kerja *differential relay* berdasarkan Hukum Kirchoff, di mana arus yang masuk pada suatu titik sama dengan arus yang keluar dari titik tersebut seperti Gambar 2.14 (Wahyudin, 2017).



Gambar 2.14 Prinsip Hukum Kirchoff (Wahyudin, 2017)



Gambar 2.15 Differential Relay (Wahyudin, 2017)

Titik yang dimaksud pada proteksi *differential relay* adalah daerah pengamanan, dalam hal ini dibatasi oleh 2 buah trafo arus seperti ditunjukkan pada Gambar 2.15 (Wahyudin, 2017).

Perhitungan dilakukan dengan mencari arus nominal dan juga arus *rating* dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{\text{rating}} = 110 \% \times I_n \quad (2.8)$$

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (2.9)$$

I_n atau arus nominal merupakan arus yang mengalir pada masing-masing jaringan. Selanjutnya dilakukan perhitungan *error mismatch*. Di mana *error mismatch* merupakan kesalahan dalam pembacaan perbedaan arus dan tegangan di sisi primer dan sekunder *transformator*. Menghitung besarnya arus *mismatch* yaitu dengan cara membandingkan rasio CT ideal dengan CT yang ada di pasaran. Dengan ketentuan *error* tidak boleh melebihi 5% dari rasio CT yang dipilih. Perhitungan besarnya *mismatch* menggunakan rumus :

$$\text{Error Mismatch} = \frac{\text{CT ideal}}{\text{CT terpasang}} \times 100\% \quad (2.10)$$

$$\frac{CT_2}{CT_1} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.11)$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan arus sekunder pada CT. yaitu :

$$I_{CT} = \frac{1}{\text{rasio CT}} \times I_n \quad (2.12)$$

Langkah selanjutnya adalah penentuan arus *differential*. Arus *differential* merupakan arus selisih antara arus sekunder CT sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah. Menentukan arus *differential* yaitu :

$$I_{\text{diff}} = I_{CT1} - I_{CT2} \quad (2.13)$$

Langkah selanjutnya menentukan arus *restrain*. Arus *restrain* diperoleh dengan cara menjumlahkan arus sekunder CT1 dan CT2 kemudian dibagi 2. Untuk mendapatkan arus *restrain* yaitu :

$$I_r = \frac{I_{CT1} + I_{CT2}}{2} \quad (2.14)$$

Ketika arus *differential* naik akibat perubahan rasio di sisi tegangan tinggi dan tegangan rendah yang disebabkan oleh perubahan *tap* trafo maka arus *restrain* ini juga akan naik. Hal ini bertujuan agar *relay differential* tidak bekerja karena bukan merupakan gangguan (Wahyudin, 2017). Selanjutnya adalah penentuan *percent slope* (*setting* kecuraman). *Slope* didapat dengan cara membagi antara arus *differential* dengan arus *restrain*. *Slope* 1 pada saat kondisi normal dan memastikan sensitivitas rele pada saat gangguan internal dengan arus gangguan yang kecil, sedangkan *slope* 2 bertujuan supaya *relay differential* tidak bekerja oleh gangguan eksternal dengan arus gangguan yang besar sehingga salah satu CT mengalami saturasi. Mencari *slope* 1 dan *slope* 2 yaitu:

$$Slope_1 = \frac{I_{diff}}{I_r} \times 100\% \quad (2.15)$$

$$Slope_2 = \left(\frac{I_{diff}}{I_r} \times 2 \right) \times 100\% \quad (2.16)$$

Kemudian langkah selanjutnya adalah penentuan nilai arus *setting*. Arus *setting* didapat dengan mengalikan antara *slope* dan arus *restrain*. Arus *setting* inilah yang nanti akan dibandingkan dengan arus *differential*. Penentuan arus *setting* dengan :

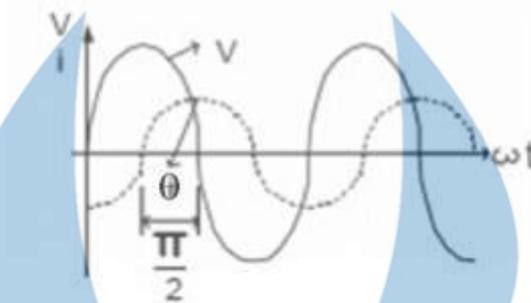
$$I_{set} = Slope_1 \times I_r \quad (2.17)$$

Arus *setting* yang diperoleh dari hasil perhitungan inilah yang menjadi acuan pada *relay* dengan membandingkannya pada nilai arus *differential*. Jika pada generator, idealnya nilai arus *setting* dari *slope* adalah 0% (Wahyudin, 2017).

2.5.5.4 Reverse Power Relay

Daya balik adalah efek dari gangguan mekanis yang disebabkan oleh kegagalan kerja penggerak utama (*prime mover*) pada generator. Dalam kondisi normal generator mensuplai daya ke sistem tenaga listrik namun saat terjadi daya balik, generator menerima suplai tenaga listrik dari sistem sehingga generator akan berubah seperti motor. Untuk mencegah kerusakan akibat gangguan ini maka generator harus dilengkapi dengan *relay* daya balik yang sensitif (Devadig & Aprameya, 2015).

Relay daya balik berfungsi untuk mendeteksi aliran daya balik aktif yang masuk pada generator. Berubahnya aliran daya aktif pada arah generator akan membuat generator menjadi seperti motor (Aman, 2012).



Gambar 2.16 Kondisi Arus dan Tegangan pada Beban Induktif (Yuniarto, 2018)

Gambar 2.16, misalkan ‘ θ ’ adalah sudut antara arus dan tegangan pada fase A. Saat beban normal nilai sudut adalah $-90 < \theta < 90$ dan saat terjadi gangguan daya balik maka nilai sudut semakin besar antara $+90 < \theta < 270$. Saat keadaan daya balik dan sudut antara arus dan tegangan menjadi $+90 < \theta < 270$ maka daya aktif yang dihasilkan pun akan menjadi negatif. Hal tersebut dibuktikan oleh rumus daya aktif pada tegangan AC pada persamaan 2.18 (Ramdhani, 2005).

$$P=V \times I \cos \theta \quad (2.18)$$

Pada generator jenis turbin gas besar daya balik diatur sampai 50% dari nilai *rating* nya. Mesin diesel tanpa silinder dapat menahan daya balik hingga 25%. Pada jenis turbin air, daya balik yang dapat diatur antara 0,2% sampai 2,0% dari nilai daya terpasang sehingga RPR yang sensitif sangat diperlukan. Untuk jenis turbin uap sekitar 0,5% sampai 3% (IEEE C37.102, 2006). Setelan RPR dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Setelan Primer RPR} = \% \text{Daya Balik} \times S \text{ (MVA)} \times \text{pf} \quad (2.19)$$

$$\text{Setelan Sekunder RPR} = \frac{\text{Daya Balik Primer}}{\text{Ratio CT} \times \text{Ratio PT}} \quad (2.20)$$

1. *Anti Motoring Scheme* (32-1)

Daya balik : Pengaturan ini pada umumnya diatur 50% dari kapasitas daya terpasang (MVA)

Waktu tunda : waktu tunda tergantung dari ketentuan jenis turbin namun umumnya berkisar sampai 30 detik.

2. *Sequential Trip Scheme* (32-2)

Daya balik : 50% dari kapasitas daya terpasang

Waktu tunda : 2 detik (Aman,2012).

Tabel 2.2 Dampak Daya Balik Terhadap Pembangkit

Jenis Generator	Daya Balik	Dampak Kerusakan
Turbin Uap	0,5 % - 3%	Panas Lebih / Ledakan
Mesin Diesel	5% - 25%	Terbakar / Ledakan
Turbin Air	0,2% - 2%	Kavitasi
Turbin Gas	>50%	Kerusakan Gear Box

*) Aman, 2012

2.5.5.5 *Frequency Relay*

Relay frekuensi berfungsi untuk membaca besar frekuensi sekaligus memberikan perintah ketika menanggapi terjadinya perubahan frekuensi yang mencapai nilai di luar batas yang telah diatur. Terdapat dua jenis *relay* frekuensi, yaitu *relay* frekuensi lebih dan *relay* frekuensi kurang.

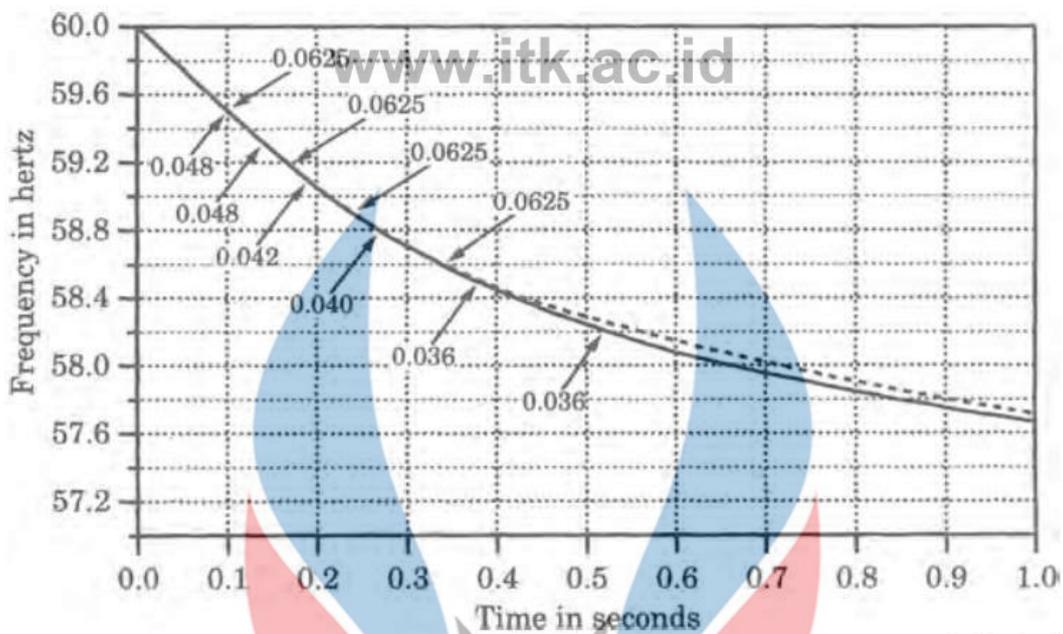
1. *Relay* Frekuensi Lebih

Relay ini berfungsi sebagai pengaman untuk kecepatan lebih pada generator.

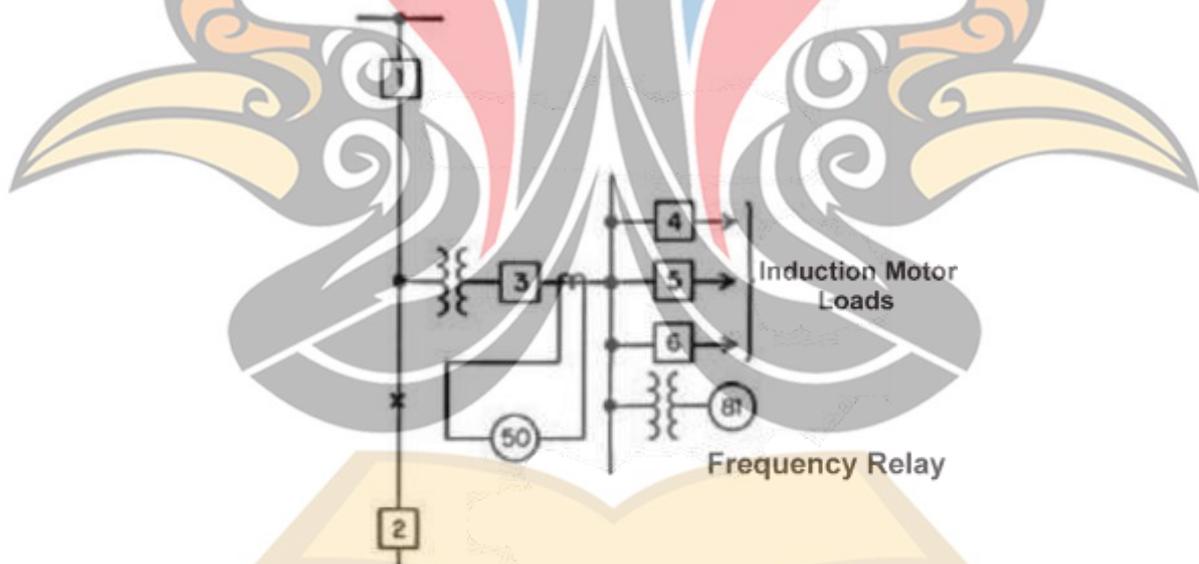
2. *Relay* Frekuensi Kurang

Relay ini berfungsi sebagai pengaman jika frekuensi sistem turun hingga berada di luar batas yang diizinkan. *Relay* ini yang akan digunakan sebagai peralatan untuk melakukan pengaturan skema pelepasan beban nantinya.

Gambar 2.18 merupakan diagram pengawatan untuk *frequency relay*, pembacaan *relay* frekuensi menggunakan Potential Transformer (PT). *Relay* terhubung ke sumber DC, kemudian terhubung ke masing-masing pemutus yang telah diatur terhubung ke penyulang yang akan dilepas. Untuk kurva karakteristik *relay* frekuensi dapat dilihat pada Gambar 2.19. Dapat dilihat bahwa apabila penurunan frekuensi semakin besar terjadi, maka waktu *relay* beroperasi juga semakin cepat (Hadi, 2016).



Gambar 2.17 Kurva Karakteristik UFR (Anderson, 1999)



Gambar 2.18 Diagram Pengawatan UFR (Elmore, 2003)

Standar yang digunakan untuk pengendalian frekuensi diatur oleh pemerintah melalui peraturan menteri energi dan sumber daya mineral nomor : 03 tahun 2007. Disebutkan bahwa, “Frekuensi sitem dipertahankan kisaran +/- 0,5 Hz di sekitar 50 Hz, kecuali dalam periode singkat, di mana penyimpangan sebesar +/- 2 Hz atau 98% diizinkan selama kondisi darurat. Berikut ini adalah batasan izin frekuensi, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2.3 Batasan Izin Frekuensi

No	Frekuensi	Nilai Frekuensi
1	Normal Frekuensi	50,0 ± 0,5 Hz
2	Saat Keadaan Darurat Frekuensi	52 Hz (Batas Atas) 47,5 Hz (Batas Bawah)

*) Peraturan Menteri ESDM NO. 03 Tahun 2007

2.5.5.6 Under Voltage Relay (UVR)

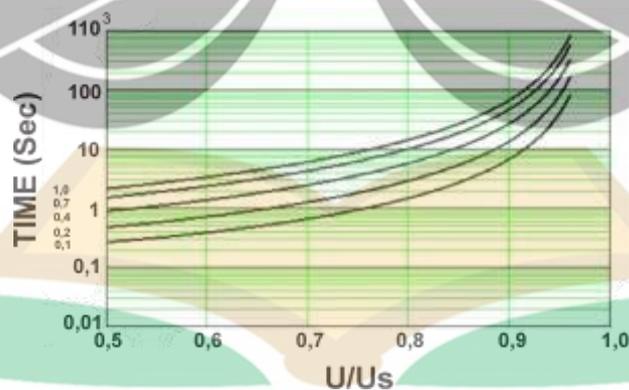
Under voltage relay digunakan range 50% dan 80% dari tegangan sistem generator (Standar PLNNO.0357.K/DIR/2014). Rumus yang digunakan untuk menghitung tegangan kurang menggunakan persamaan 2.21 (Chapman, 1999).

$$V_{\text{nominal}} = \text{Range} \times \text{Tegangan Bus} \quad (2.21)$$

$$V_r = \frac{V_{\text{set}}}{\text{Ratio PT}} \quad (2.22)$$

Setelah melakukan perhitungan pada persamaan 2.21 dan 2.22 maka dilakukan perhitungan waktu kerja *relay* dengan menggunakan persamaan 2.23 (Gencer, 2006).

$$t = \frac{k \times a}{b \times \left(1 - \frac{U}{U_s}\right)^{-0,5^p}} + C \quad (2.23)$$



Gambar 2.19 Kurva Karakteristik *Standard Inverse Relay* (Gencer, 2006)

Pada Gambar 2.19 dapat dilihat kurva *standard inverse*. Kurva tersebut digunakan untuk menentukan *setting* waktu *delay under voltage relay*. Kurva yang digunakan ialah kurva *standard inverse*. Dalam penentuan waktu *delay under voltage relay* digunakan persamaan 2.23.

2.5.5.7 Over Voltage Relay (OVR)

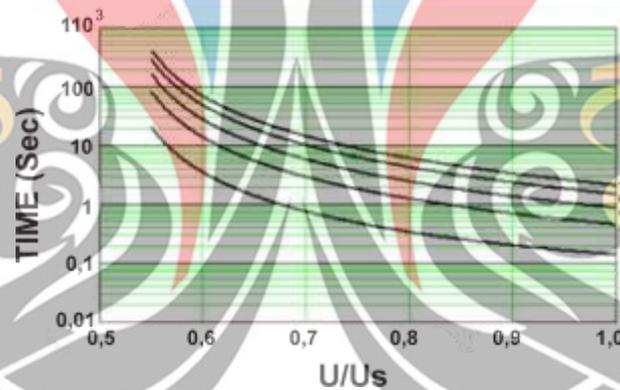
Over voltage relay digunakan range 110% dan 130% dari tegangan sistem generator (Standar PLNNO.0357.K/DIR/2014). Rumus yang digunakan untuk menghitung tegangan kurang ialah menggunakan persamaan 2.24 (Chapman, 1999).

$$V_{\text{nominal}} = \text{Range} \times \text{Tegangan Bus} \quad (2.24)$$

$$V_r = \frac{V_{\text{set}}}{\text{Ratio PT}} \quad (2.25)$$

Setelah melakukan perhitungan pada persamaan 2.24 maka dilakukan perhitungan waktu kerja *relay* dengan menggunakan persamaan 2.25 (Gencer, 2006)

$$t = \frac{k \times a}{b \times \left(\frac{U}{U_s} - 1\right)^{-0,5^p}} + C \quad (2.26)$$



Gambar 2.20 Kurva Karakteristik *Standard Inverse Relay* (Gencer, 2006)

Pada Gambar 2.20 dapat dilihat kurva *standard inverse*. Kurva tersebut digunakan untuk menentukan *setting* waktu *delay over voltage relay*. Kurva yang digunakan ialah kurva *standard inverse*. Dalam penentuan waktu *delay over voltage relay* digunakan persamaan 2.26.

Ketetapan nilai a,b,c pada rumus 2.23 dan 2.26 dapat dilihat pada tabel 2.4

Tabel 2.4 Spesifikasi Kurva *Inverse Time*

Curve	a	b	c
Description	3	3	3

*) Gencer, 2006

2.6 Pemutus Daya (*Circuit Breaker*)

Circuit breaker (CB) adalah anggota utama dari rangkaian perangkat yang dirancang untuk memutus aliran daya listrik. CB didefinisikan sebagai perangkat untuk menutup, memutus, dan menginterupsi saluran tenaga listrik dengan memutus kontak dalam kondisi berbeban atau gangguan. *High Voltage Circuit Breaker* (HVCB) merupakan *circuit breaker* yang bekerja setidaknya pada 1000 volt.

CB sering diidentifikasi dalam hal mekanisme fisik sebagai alat yang digunakan untuk memutus saluran ketika terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik. Jenis CB yang sering digunakan pada sistem tenaga listrik adalah pemutus sirkuit udara (*Air Circuit Breaker*), pemutus sirkuit ledakan udara (*Blast Circuit Breaker*), pemutus sirkuit sulfur hexafluorida (*Sulfur Hexafluoride Circuit Breaker*), dan pemutus sirkuit vakum (*Vacuum Circuit Breaker*) (Anderson, 1999).

2.7 Posisi Penelitian

Penelitian mengenai sistem proteksi terkait *relay* OCR, GFR, *Differential*, *Reverse Power*, *Over/Under Voltage*, dan *Over/Under Frequency* telah dilakukan oleh berbagai peneliti sebelumnya yang menerapkan pada objek yang berbeda-beda. Pada tabel 2.5 menunjukkan rangkuman dari kegiatan peneliti sebelumnya dan posisi penelitian penulis untuk mempermudah pembaca mengetahui hasil tiap penelitian yang dilakukan.

Tabel 2.5 Perbandingan Penelitian Tugas Akhir dengan Penelitian Sebelumnya

Nama	Judul	Hasil
Nuhani Amin (2012)	Sistem Proteksi Generator Turbin Uap	Keandalan sistem proteksi terhadap hubung singkat diklasifikasikan sangat baik karena keandalannya mendekati dan bahkan mencapai nilai 1. Ini dikarenakan generator masih beroperasi dalam umur ekonomis.

Tabel 2.5 Perbandingan Penelitian Tugas Akhir dengan Penelitian Sebelumnya
(Lanjutan)

Nama	Judul	Hasil
Isa Abdullah, Juningtyastui, dan Susatyo Handoko (2016)	Evaluasi <i>Setting Relay</i> OCR, GFR dan <i>Recloser</i> Pasca Rekonfigurasi Jaringan Distribusi pada Trafo 2 Gardu Induk Sronдол Semarang Menggunakan ETAP 12.6.0	Untuk menjaga sistem proteksi agar selalu memenuhi persyaratan kecepatan, sensitifitas, selektivitas dan kepekaan maka perlu adanya pengaturan dan pemeliharaan secara berkala seiring dengan penambahan jumlah beban dan jaringan.
Wahyudin SN, Retno Aita Diantari, Teuku Mardhi Rahmatullah (2017)	Analisa Proteksi Diferensial Pada Generator di PLTU Suralaya	<i>Setting</i> rele terpasang pada generator 400 MW PLTU suralaya adalah tepat, yaitu 0,4 A. Karena gangguan terkecil arus yang melalui kumparan rele 0,9 A sudah cukup untuk membuat rele bekerja, yang didapat dari minimum <i>setting</i> (15%) dari arus gangguan 1 fasa ketanah (6,2 A).
Teguh Arfianto, Nasrun Hariyanto, Delfan Tonius Sitohang (2018)	Perencanaan Sistem Proteksi Generator dari Putaran Balik di PLTMH Totabuan	Tegangan antar generator harus dijaga konstan agar daya yang dibangkitkan generator stabil. Selain itu frekuensi juga harus dipertahankan konstan agar tidak terjadi daya balik, sesuai dengan teori dasar tentang syarat sinkronisasi pada generator paralel.
Budi Eko Prasetyo, Sigi Syah Wibowo, Mega Juliastuti, Mochammad Junus, Muhammad Fahmi Hakim (2018)	Analisis Gangguan <i>Reverse Power</i> dan <i>Under</i> <i>Frequency</i> Pada Generator 153,75 MVA Unit Gas <i>Turbine</i> 3.1 di PLTGU Gresik	Dampak gangguan <i>reverse power</i> adalah terjadinya peristiwa motoring generator unit GT 3.1 jika gangguan tersebut tidak teratasi dan daya balik melebihi 50% (menurut standar IEEE). Maka hal ini dapat mengakibatkan kerusakan fatal pada penggerak mula atau turbin generator.
Naufal Hafiih, Hermawan Hermawan, Bambang Winardi (2018)	<i>Setting relay</i> arus lebih berarah (DOCR) pada Feeder Terminal Bandara Soekarno-Hatta	<i>Setting relay</i> arus (OCR) dan tanah yang digunakan pada objek adalah <i>setting</i> pertama

Tabel 2.5 Perbandingan Penelitian Tugas Akhir dengan Penelitian Sebelumnya
(Lanjutan)

Nama	Judul	Hasil
Topan Wijaksono, Susatyo Handoko, Hermawan Hermawan (2018)	<i>Setting relay</i> jarak (DR) dan <i>relay</i> arus lebih (OCR) pada GI 150 kV PT. PLN Cilegon Baru-Serang-Cikande dan Arah Sebaliknya	<i>Setting relay</i> arus lebih (OCR) dan jarak (DR) pada objek sudah sesuai standar IEEE dan NPAG Alstom
Bhrama Sakti K.P., Ir. A.A. Gede Maharta Pelayun, M.T., Ir. I Gede Dyana Arjana, M.T. (2019)	Studi Analisis UFR (<i>Under Frequency Relay</i>) Pada Gardu Induk Pesanggrangan	Hasil simulasi menunjukkan penurunan frekuensi masih berada pada batas yang tidak membuat sistem <i>blackout</i> yaitu di atas 47 Hz.
Miftakhul Ikhsan Pratama Putra (2020)	<i>Resetting Relay</i> Proteksi Generator 070-X01 PT Kaltim Methanol Industri	-