

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

I Gusti Putu Arka dkk (2016) melakukan penelitian tentang gangguan hubung singkat fasa ke tanah dan fasa-fasa merupakan salah satu permasalahan yang mungkin timbul dalam pengoperasian penyulang 20 kV. Gangguan yang disebabkan oleh adanya hubung singkat menimbulkan banyak kerugian, kerugian pada sistem transmisi kelistrikan maupun kerugian di pihak konsumen energi listrik. Salah satu cara untuk mengatasi gangguan ini adalah dengan cara memasang peralatan pengaman pada transformator. Relai arus lebih merupakan relai proteksi yang bekerja dengan pemutus tenaga (Circuit Breaker). Gangguan hubung singkat fasa ke tanah dan fasa-fasa menimbulkan arus gangguan hubung singkat yang besarnya melebihi setting arus pada relai arus lebih, sehingga relai arus lebih memicu pemutus tenaga bekerja sesuai dengan setting waktu yang diterapkan, sehingga risiko kerusakan pada sistem kelistrikan dapat dihindari

Muh. Andikapati M dkk (2020) melakukan penelitian pada Gardu Induk Bolangi yang merupakan salah satu Gardu Induk asuhan ULTG Panakkukang. GI Bolangi melayani beberapa penyulang 20 kV antara lain, Penyulang Samata, Penyulang Cheng Ho, Penyulang Biringbilayya, Penyulang Paccelekkang, Penyulang Moncongloe dan Penyulang Royal yang disuplai dengan Trafo 60 MVA. Pada hari Selasa, tanggal 2 April 2019 dan hari Minggu, 28 April 2019 terjadi gangguan satu fasa ke tanah pada jaringan TM penyulang yang mengakibatkan trip langsung pada sisi 150 kV dan Inconring trafo tanpa

mentriapkan pmtexs¹ penyulang. Keadaan ini disebabkan oleh adanya kekeliruan dalam pengimplimentasian setting, fungsi GFR pada relay incoming tidak diaktifkan, ratio CT untuk fungsi SBEF trsfo yang diinput pada relay adalah 2000/5 A sedangkan ratio CT SBEF pada NGR 300/5. Hal ini menyebabkan pembacaan pada relay lebih besar dari arus yang ada pada CF. Selain itu pada setting relay SBEF digunakan kurva standard inverse yang seharusnya digunakan kurva LTI.

Nirwan A dkk (2020) melakukan penelitian mengenai industri pada suatu daerah, maka kebutuhan listrik juga akan meningkat sehingga semakin besar arus listrik yang akan digunakan. Untuk memenuhi kebutuhan, dan keandalan serta ketersediaan penyaluran tenaga listrik, mutlak diperlukan sistem proteksi yang andal, Terjadinya gangguan kabel tanah pada transformator 60 MVA pada Gardu Induk Bulukumba. Setelah dilakukan penelusuran, ditemukan kondisi kabel fasa S dan T yang robek, lalu menghitung setting sistem proteksi pada transformator 60 MVA Gardu Induk Bulukumba dan menganalisis perbandingan antara hasil sebelum resetting dan setelah resetting. Berdasarkan hasil perbandingan OCR sebelum dan setelah resetting diketahui bahwa waktu koordinasi antara OCR 20 kV dan OCR penyulang belum benar sehingga perlu dilakukan resetting, untuk perbandingan GFR/SBEF sebelum dan setelah diketahui bahwa terdapat kurva koordinasi waktu yang saling crossing (memotong) sehingga perlu dilakukan resetting. Berdasarkan hasil perhitungan maka diperoleh setting yang baru untuk OCR 150 kV yaitu arus setting primer sebesar 277,128 A TMS 0,31 karakteristik standar invers, untuk OCR 20 kV arus setting primer sebesar 1.920 A TMS 0,218

karakteristik standar invers, untuk OCR penyulang anls setting primer sebesar 720 A TMS 0,219 dengan karakteristik standar invers. Pada GFR diperoleh nilai setting yang baru untuk GFR 150 kV arus setting primer sebesar 115,47 A dan TMS 0513 karakteristik standar invers, untuk GFR 20 kV arus setting primer sebesar 60 A TMS 0,228 karakteristik standar invers, untuk GFR penyulang arus setting primer sebesar 27 A TMS 0,208 karakteristik standar invers. Pada relai SBEF diperoleh nilai setting yang baru untuk arus setting primer sebesar 30 A TMS 0359 dengan karakteristik long time invers.

Muhammad Fauzan Imansyah (2017) melakukan penelitian pada salah satu kelemahan system pentanahan NGR adalah saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ketanah, arus gangguan tanah dapat membesar melebihi batas NGR yang dipergunakan. Hal ini dapat menyebabkan rusaknya NGR dan peralatan lainnya. Penelitian ini membahas tentang gangguan arus lebih pada NGR saat keadaan normal dengan panjang saluran kabel 28215244 feet dan pada tegangan 20 kV arus kapasitansi ketanah dengan perhitungan secara manual diperoleh $I_{co} = 1,167$ A dan apabila terjadi gangguan satu fasa ke tanah maka arus semakin besar $I_g = 4,61$ A. Dikarnakan waktu trif yang cukup lama (3menit) maka di GL-6 dipasang NGR 12 Q dengan rated time 10 Sec. untuk membuang arus gangguan.

Yessi Marniati dkk (2021) melakukan penelitian tentang gangguan fasa-tanah biasanya terjadi dari gangguan pada penyulang yang terindikasi tidak seimbang. Untuk memperkecil daerah gangguan dilakukan penambahan step relai SBEF clari panel proteksi menuju panel incoming dan panel [Rnyulang dengan

kontaktor dan relai elektromekanis sebagai alat bantu penggerak kontak trip. Relai SBEF menggunakan karakteristik long time inverse (LTI), $k = 120$, $\alpha = 1$ dan I Setting $0,03I_n$. Pengujian waktu kerja dalam tiga kondisi yakni $2xI_{set}$, $3xI_{set}$ dan $5xI_{set}$ dan fungsi relai SBEF. Pengujian dengan pemberian arus gangguan fasa-tanah yang melebihi arus setting untuk memberikan order trip ke PMT. Hasil evaluasi setelah penambahan step dilapangan dan simulasi pada software ETAP 12.6.0. Waktu kerja relai pada step I lebih cepat dari pada step II dan fungsi relai pada step I order trip ke PMT penyulang dan apabila gangguan meluas dilanjut step II order trip ke PMT Sisi 20kV dan PMT Sisi 150kV dengan adanya indikasi trip pada relai, annunciator dan lockout.

Alfin Akram Dwi Amir dkk (2022) melakukan penelitian tentang Relai SBEF berfungsi untuk melindungi NGR di Sisi netral sekunder transformator, SBEF bekerja dengan mentripkan PMT Sisi 150 kV yang interlock dengan PMT Sisi 20 kV apabila muncul arus di Sisi netral sekunder trafo, akan tetapi pada tahun 2020 untuk mendukung program zero trip PMT 150 kV , PLN menerapkan fungsi dua tahap Relai SBEF guna memberi jeda ketika ada gangguan Yang membuat Relai SBEF bekerja dan akan mentripkan Sisi 20 kV terlebih dahulu. Tujuan penelitian adalah menganalisis arus hubung singkat dari transformator 30 MVA di Gardu Induk Maros beserta setting dari relai SBEF, menganalisis koordinasi relai SBEF dan GFR (Ground Fault Relay) berdasarkan simulasi di aplikasi ETAP 16.0.0. Metode dalam penelitian ini berupa studi literatur dan observasi sedangkan teknik analisis data menggunakan metode deskriptif kualitatif. Dari hasil penelitian didapatkan setting arus kerja SBEF sebesar 86,6 A

untuk tahap satu dan tahap dua. Sedangkan TM S (Time Multiple Second) sebesar 0,097 untuk tahap satu dan 0,117 untuk tahap 2, dimana tahap I untuk mentripkan PMT sisi 20 kV (Incoming) sedangkan tahap 2 untuk mentripkan PMT Sisi 150 kV. Untuk simulasinya, GFR bekerja secara bertahap tergantung dari lokasi gangguannya yang dimulai dari GFR Penyulang, GFR Incoming, SBEF tahap satu dan SBEF tahap dua.

Muhammad Arfianda (2019) melakukan penelitian pada transformator daya salah satu pengamanan yang terpasang adalah rele diferensial. Rele diferensial merupakan rele pengamanan pada sebuah transformator yang mampu bekerja seketika tanpa berkoordinasi dengan rele di sekitarnya, sehingga waktu kerja rele diferensial dapat dibuat secepat mungkin. Sistem proteksi yang baik didukung oleh setting yang bagus pada rele diferensial untuk menghindari kegagalan proteksi dan meningkatkan kualitas operasional sistem transmisi. Metode penelitian ini menggunakan data sekunder yang didapatkan dari GI Paya Pasir yang kemudian dilakukan perhitungan matematis untuk menentukan rasio current transformator, error mismatch, dan parameter-parameter pada rele diferensial saat kondisi normal, serta menghitung parameterparameter rele diferensial pada saat kondisi gangguan. Rasio yang dipasang pada transformator di sisi tegangan primer 150 kV adalah 300: 1 A dan pada sisi tegangan sekunder 20 kV adalah 2000:5 A. Hasil tersebut diambil dengan pertimbangan hasil perhitungan arus rating yaitu sebesar 254034 A pada Sisi tegangan primer 150 kV dan 1905,256 A pada Sisi tegangan sekunder 20 kV. Arus setting yang didapat dari hasil

perhitungan yaitu 0,3 A dan diharapkan dengan setting tersebut sistem proteksi transformator dapat bekerja dengan optimal.

Afif Hafizi (2021) melakukan penelitian tentang pemanfaatan energi listrik dalam kehidupan sehari-hari ini tidak terlepas dari berbagai macam gangguan, gangguan yang terjadi yaitu seperti pada proses pembangkitan, saluran transmisi, gardu induk, gardu distribusi bahkan bisa saja berpengaruh pada proses konsumsi listrik di masyarakat yang disebabkan oleh petir dan hubungan arus pendek listrik. Gangguan internal pada transformator daya dapat berupa gangguan kecil/awal (incipient fault) atau hubung singkat pada belitan yang berpotensi terjadi pemanasan setempat dan timbul tekanan kejut dalam minyak transformator, sehingga terbentuk sejumlah gas mudah terbakar yang teralirkan ke tangki konservator melalui pipa penghubung dan Relay Buchholz. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui kinerja Relay Buchholz sebagai pengaman trafo daya 150 kV GI Glugur PT. PLN, faktor-faktor apa sajakah yang mempengaruhi kinerja Relay Buchholz. Berdasarkan analisis arus hubung singkat yang terjadi pada transformator gardu induk glugur yaitu pada gangguan I fasa ke tanah, fasa ke fasa, dan gangguan 3 fasa terbesar yaitu pada lokasi gangguan 1% yaitu sebesar 288,432 A pada gangguan I fasa ke tanah, 1140250 A pada gangguan fasa ke fasa, dan 1319657 A pada gangguan 3 fasa dan waktu kerja Relay berdasarkan setting waktu yang telah ditentukan tidak kurang <0,3 detik bahwa hasil perhitungan dengan syarat waktu masih dalam kondisi yang sesuai sehingga kinerja sistem proteksi juga dikatakan baik karena Relay Buchholz saling berkaitan satu sama lain dalam hal kinerjanya.

2.2 Gardu Induk

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem transmisi (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem transmisi (transmisi), sistem (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik, gardu induk merupakan sub-sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem transmisi (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem transmisi (transmisi) secara keseluruhan (M.MP, 2015).

Fungsi utama dari gardu induk yaitu untuk mentransformasikan daya listrik, yaitu antara lain:

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), untuk

pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari sistem tenaga listrik, pengaturan beban ke gardu induk gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi- gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang (feeder) tegangan menengah yang ada di gardu induk.

2.3 Koordinasi Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Proteksi sistem tenaga listrik merupakan pengamanan pada suatu sistem kelistrikan, apabila terjadi gangguan kondisi maupun abnormal dari suatu sistem kelistrikan. Penempatan dari sistem proteksi ini dapat kita jumpai mulai dari sistem pembangkit hingga sistem instalasi rumah (pelanggan). Proteksi terhadap

sistem kelistrikan merupakan suatu solusi untuk membatasi kerusakan pada komponen-komponen kelistrikan agar penjelasan sistem tenaga listrik dapat terjamin. Gangguan pada sistem kelistrikan yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat, hubung singkat antar fasa maupun fasa ke tanah, yang dimana gangguan ini menyebabkan arus yang mengalir pada peralatan listrik menjadi cukup besar sehingga dapat merusak atau mengurangi lifecycle dari peralatan listrik, untuk transformator sendiri kemampuan transformator dalam menghadapi gangguan hubung singkatnya ialah selama dua detik, apabila trafo terbebani arus di atas In (Arus nominal) nya lebih dari dua detik maka lifecycle dari transformator dapat berkurang.

Sistem proteksi tenaga listrik merupakan sistem pengamanan pada peralatan peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti generator, busbar, transformator, saluran udara tegangan tinggi, saluran kabel bawah tanah, dan lain sebagainya terhadap kondisi abnormal operasi sistem tenaga listrik tersebut.

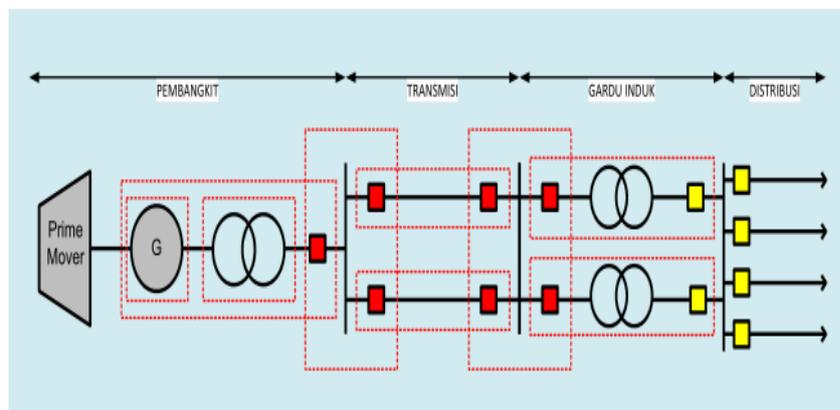
Sistem proteksi merupakan bagian yang sangat penting dalam suatu instalasi tenaga listrik, selain untuk melindungi peralatan utama bila terjadi gangguan hubung singkat, sistem proteksi juga harus dapat mengamankan daerah yang terganggu dan memisahkan daerah yang tidak terganggu, sehingga gangguan tidak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

Perlindungan sistem kelistrikan tidak hanya harus aman dalam semua kondisi layanan, tetapi juga harus selektif untuk memastikan kontinuitas layanan (Guyer, 2020).

Sistem proteksi terdiri dari :

- 1) Proteksi Pembangkit
- 2) Proteksi Transmisi
- 3) Proteksi Gardu Induk
- 4) Proteksi Distribusi

Pada Gambar 2.1 diperlihatkan gambaran umum zona sistem proteksi.



Gambar 2. 1 Zona Sistem Proteksi

2.4 Dasar-dasar Sistem Proteksi

Sistem proteksi pada sistem tenaga listrik adalah sistem pengamanan pada peralatan-peralatan listrik yang terpasang pada sistem tenaga listrik, seperti genset, trafo, jaringan transmisi/distribusi dan lain-lain. Sistem ini akan mengamankan peralatan-peralatan terhadap kondisi operasi abnormal.

Suatu sistem proteksi harus memiliki fitur operasi yang handal, presisi dan sederhana agar dapat mencegah gangguan dengan cepat, tepat dan benar. Komponen-komponen utama pada sistem proteksi yaitu pemutus tenaga atau circuit breaker (CB peralatan ukur yang terdiri dari trafo arus (Cf) dan atau trafo tegangan (H) dan relay untuk memonitor gangguan besar.

1. Pemutus Tenaga atau Circuit Breaker (CB)

Komponen yang berfungsi untuk memutuskan atau menghubungkan Rangkaian sistem tenaga listrik sesuai dengan kapasitas pemutusannya. Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh pekerja tenaga dalam sistem tenaga listrik yaitu:

- a. Mampu mengalirkan arus maksimum sistem tenaga listrik secara kontinyu.
- b. Mampu memutuskan dan menghubungkan jaringan dalam keadaan berbeban maupun dalam keadaan gangguan hubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus tenaga itu sendiri.
- c. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan sangat cepat agar arus hubung singkat tidak sampai merusak sistem peralatan, membuat sistem kehilangan stabilitas dan merusak pemutus tenaga itu sendiri.

2. Transformator Ukur

Tranformator ukur merupakan suatu peralatan yang dapat merubah suatu listrik besar menjadi besaran yang sama dengan harga yang berbeda. Memiliki belitan primer yang dihubungkan ke jaringan sistem tenaga listrik dan belitan sekunder yang dihubungkan ke peralatan ukur dan peralatan keamanan. Oleh karena pada sistem tenaga listrik memiliki besaran dengan nilai yang cukup besar maka trafo ukur berfungsi menurunkan nilai besaran.

- a. Transformator Arus (Transformator Arus/CT)

Transformator arus memiliki fungsi konversi arus pada sistem tenaga listrik dari arus besar primer menjadi besaran sekunder yang dihubungkan ke peralatan atau ukur pengaman relai. Standarisasi besaran arus sekunder dengan nominal 1A dan 5A.

b. Trafo Tegangan (Potensial Transformer/PT)

Transformator tegangan berfungsi mentransformasikan besaran tegangan yang tinggi atau tegangan primer menjadi tegangan yang rendah atau tegangan sekunder yang dihubungkan ke peralatan ukur atau pengaman relai. Penerapan tegangan sekunder pada tegangan trafo dengan nilai nominal $100/\sqrt{3}$ V dan $110/\sqrt{3}$ V.

3. Proteksi Relay

Relay proteksi adalah susunan peralatan pengaman yang dapat merasakan, mendeteksi atau melihat adanya gangguan yang kemudian secara otomatis memberikan respon berupa sinyal untuk mengaktifkan sistem pemutus tenaga agar dapat mengaktifkan bagian yang terganggu.

Relay proteksi mempunyai peranan sebagai berikut :

- a. Memberi tanda atau melepas pekerja (circuit breaker) dengan tujuan mengisolir gangguan atau kondisi yang tidak normal
- b. Melepas/mentrip peralatan yang berfungsi tidak normal secara cepat untuk mencegah timbulnya kerusakan atau mengurangi kerusakan yang lebih berat.
- c. Melokalisir kemungkinan dampak akibat gangguan dengan penyelesaian peralatan yang terganggu dari sistem.

- d. Lepaskan peralatan/bagian yang terganggu secara cepat dengan maksud menjaga stabilitas sistem, kontinuitas, pelayanan dan untuk sistem kerja.

Tujuan Relay proteksi:

- a. Mencegah kerusakan peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan atau kondisi operasi sistem yang tidak normal.
- b. Mengurangi kerusakan peralatan pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya gangguan.
- c. Mempersempit daerah yang terganggu sehingga gangguan tidak melebar pada sistem yang lebih luas.
- d. Memberikan pelayanan tenaga listrik dengan kehandalan dan mutu tinggi pada konsumen.
- e. Mengamankan manusia dari bahaya yang ditimbulkan oleh tenaga listrik.

Fungsi Relay proteksi sebagai berikut:

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta penyelesaiannya secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi secara normal
- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu

- c. Mengurangi pengaruh gangguan terhadap bagian sistem yang lain yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia.

Untuk melaksanakan fungsi diatas maka Relay pengaman harus memenuhi sebagai persyaratan berikut:

1. Dapat diandalkan (handal)
2. Selektif
3. Waktu kerja Relay cepat
4. Peka (peka)
5. Ekonomi dan sederhana.

Untuk mendapatkan penyetelan yang memenuhi semua kriteria diatas adakalanya sulit dicapai, yaitu terutama antara penipuan dan cepat, sehingga adakalanya harus mengadakan kompromi koordinasi. Kita menyadari pula bahwa sistem proteksi tidak dapat sempurna walaupun sudah diusahakan pemilihan jenis relay bagus, tapi adakalanya masih gagal bekerja.

Hal yang menimbulkan kegagalan pengaman dapat menjadi berikut :

- a. Kegagalan pada relay sendiri.
- b. Kegagalan suplai arus atau tegangan ke relay tegangannya Rangkaian suplai ke relay dari trafo tersebut terbuka atau terhubung singkat.
- c. Kegagalan sistem suplai arus searah untuk tripping pemutus tenaga.

Hal ini dapat disebabkan baterai lemah karena kurang perawatan, terbuka atau terhubung singkat rangkaian arus searah

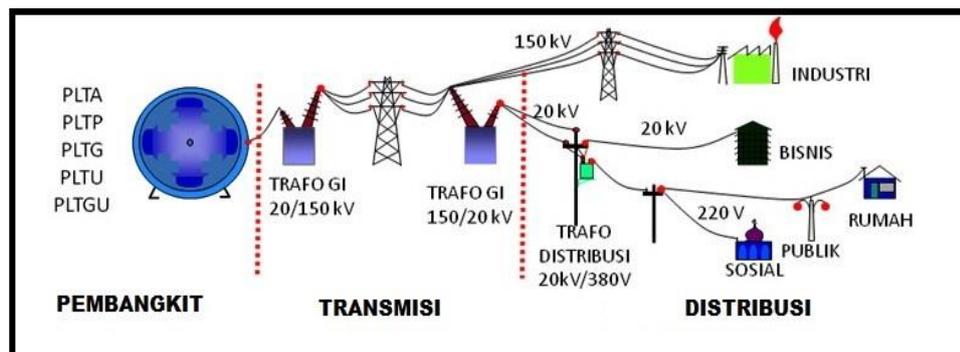
- d. Kegagalan pada pekerja tenaga. Kegagalan ini dapat disebabkan karena kumparan trip tidak menerima suplai, kerusakan mekanis ataupun kegagalan irmutusan anis karena besarnya anis hubung singkat melampaui kemampuan dari pekerja tenaganya.

Karena adanya kemungkinan kegagalan pada sistem pengaman maka harus dapat diatasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan (Back up Protection). Dengan demikian pengamanan menurut fungsinya dapat di kelompokkan menjadi :

1. Pengaman utama yang pada umumnya palsu dan cepat, dan malah tipe tertentu mempunyai sifat mutlak mutlak misalnya relay diferensial.
2. Pengaman cadangan, umumnya mempunyai kewajiban waktu hal ini untuk memberikan kesempatan kepada pengaman utama bekerja lebih terlebih dahulu, dan jika pengaman utama gagal, ban pengaman cadangan bekerja dan relay ini tidak seselektif pengaman utama.

2.5 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik merupakan kumpulan pusat listrik dan pusat beban yang satu sama lain dihubungkan oleh jaringan transmisi dan distribusi sehingga merupakan sebuah kesatuan interkoneksi. Energi pelepasan listrik oleh pusat-pusat listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU , PLTP dan PLTP. Kemudian energi listrik disalurkan melalui saluran transmisi dan disalurkan ke beban-beban melalui saluran distribusi.



Gambar 2. 2 Sistem Tenaga Listrik

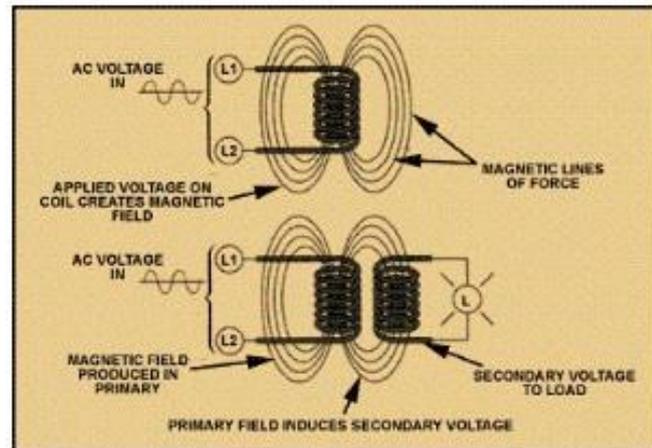
Pada sistem yang besar, tegangan keluaran generator dinaikkan menjadi tegangan transmisi yaitu berupa tegangan tinggi (TV) ataupun tegangan ekstra tinggi (TET) untuk memperkecil rugi-rugi daya yang terjadi dengan menggunakan transformator step up. Setelah energi listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah energi listrik ke Gardu Induk (GI) untuk diturunkan tegangannya menjadi tegangan menengah (TM) menggunakan transformator step down.

Keluar dari GI, maka energi listrik akan disalurkan melalui jaringan distribusi primer pada level tegangan menengah, kemudian kembali diturunkan tegangannya pada gardu distribusi menjadi tegangan rendah dan akhirnya disalurkan melalui jaringan distribusi sekunder kepada konsumen.

2.6 Transformator

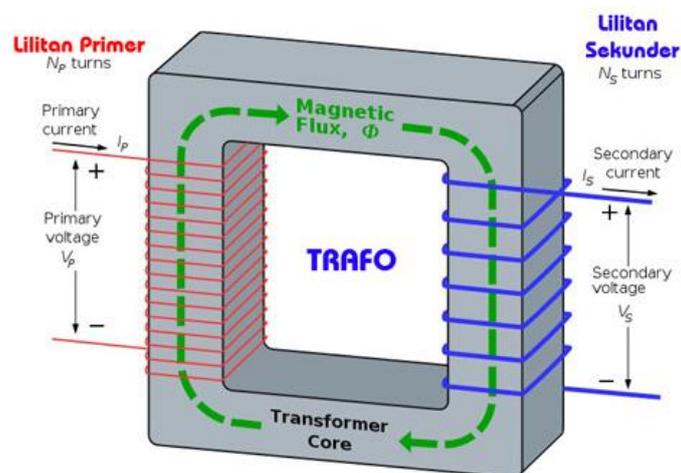
Transformator merupakan Peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (IEC 60076-1 tahun 2011). Transformator menggunakan sistem elektromagnetik yaitu hukum ampere dan

induksi faraday, dimana perubahan atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet/fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi.



Gambar 2. 3 Prinsip Hukum Elektromagnetik

Arus AC yang mengalir pada belitan primer membangkitkan fluks magnet yang mengalir melalui inti besi yang terdapat diantara dua belitan, flux magnet tersebut menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial/ tegangan induksi (Gambar. 2.4).



Gambar 2. 4 Elektromagnetik pada Transformator

2.7 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Gangguan yang terjadi pada system tenaga listrik sangat beragam besaran dan jenisnya. Gangguan dalam sistem tenaga listrik adalah keadaan tidak normal dimana keadaan ini dapat mengakibatkan terganggunya kontinuitas pelayanan tenaga listrik. Secara umum klasifikasi gangguan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh 2 faktor, yaitu:

1. Gangguan yang berasal dari sistem
2. Gangguan yang berasal dari sistem luar.

Penyebab gangguan yang berasal dari dalam sistem antara lain:

1. Tegangan dan arus tidak normal.
2. Pemasangan yang kurang baik.
3. Kesalahan mekanis karena proses penuaan.
4. Beban lebih.
5. Kerusakan material seperti isolator pecah, kawat putus, kegagalan isolasi atau kabel cacat isolasinya.

Sedangkan untuk gangguan yang berasal dari luar sistem antara lain.

1. Gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain.

Gangguan ini terjadi pada sistem kelistrikan bawah tanah.

2. Pengaruh cuaca seperti hujan, angin, serta surja petir. Pada gangguan surya petir dapat mengakibatkan gangguan tegangan lebih dan dapat menyebabkan gangguan hubung singkat karena tembusnya isolasi peralatan (breakdown).

3. Pengaruh lingkungan seperti pohon, binatang dan benda-benda asing serta akibat kecerobohan manusia.

Berikut ini persamaan untuk menghitung arus gangguan hubung singkat 1 phasa ke tanah.

$$Z_{s1} = R_1 + X_1 \dots\dots\dots (2.1)$$

$$Z_{s2} = R_2 + X_2 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$Z_{s0} = R_0 + X_0 \dots\dots\dots (2.3)$$

$$Z_1 = Z_{s1} + j.X_{tp1} + j.X_{ts1} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$Z_2 = Z_{s2} + j.X_{tp2} + j.X_{ts2} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$Z_0 = \left\{ \frac{(Z_{s0} + j.X_{tp0}) \times j.X_{tt0}}{(Z_{s0} + j.X_{tp0}) + j.X_{tt0}} \right\} + j.X_{ts0} + R_{NGR} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$I_{f1\phi 20} = \frac{3}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \times I_{base\ LV} \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana,

R1 : Tahanan impedansi sumber urutan positif (pu)

X1 : Reaktansi impedansi sumber urutan positif (pu)

R2 : Tahanan impedansi sumber urutan negatif (pu)

X2 : Reaktansi impedansi sumber urutan negatif (pu)

R0 : Tahanan impedansi sumber urutan nol (pu)

X0 : Reaktansi impedansi sumber urutan nol (pu)

Zs1 : Impedansi sumber urutan positif (pu)

Z_{s2} : Impedansi sumber urutan negatif (pu)

Z_{s0} : Impedansi sumber urutan nol (pu)

$X_{tp1}, X_{ts1}, X_{tt1}$: Impedansi transformator urutan positif (pu)

$X_{tp2}, X_{ts2}, X_{tt2}$: Impedansi transformator urutan negatif (pu)

$X_{tp0}, X_{ts0}, X_{tt0}$: Impedansi transformator urutan nol (pu)

Z_1 : Impedansi total urutan positif (pu)

Z_2 : Impedansi total urutan negatif (pu)

Z_0 : Impedansi total urutan nol (pu)

R_{NGR} : Tahanan *neutral grounding resistance* (pu)

I_b LV : Arus dasar *low voltage* (A)

$I_{f1\phi 20}$: Arus hubung singkat 1 phasa sisi 20 kV (A)

Bila disingkirkan dari sekian lama gangguan, maka bisa menjadi sesak.

1. Gangguan yang bersifat temporer, yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan sewaktu-waktu memutuskan bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena alat bekerjanya pengamanan dapat berubah gangguan permanen.
2. Gangguan yang bersifat permanen, dimana untuk membebaskannya diperlukan tindakan dan menghilangkan penyebab gangguan tersebut.

Untuk gangguan yang bersifat sementara setelah arus gangguannya terputus misalnya karena PMT terbukanya oleh relai pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Sedangkan pada gangguan permanen terjadi kerusakan yang bersifat permanen sehingga baru dapat

dioperasikan kembali setelah bagian yang rusak diperbaiki atau diganti. Pada saat terjadi gangguan akan mengalirkan arus yang sangat besar pada fasa yang terganggu menuju titik gangguan; dimana gangguan arus tersebut mempunyai harga yang jauh lebih besar dari rating arus maksimum yang diperbolehkan, sehingga terjadi kenaikan suhu yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik yang digunakan.

2.8 Karakteristik Relay

Relay adalah komponen elektromekanis atau elektronik yang digunakan untuk mengendalikan aliran listrik dalam suatu rangkaian listrik. Mereka berperan dalam membuka atau menutup jalur listrik berdasarkan sinyal atau kondisi tertentu. Waktu pemutusan gangguan merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam menentukan suatu skema proteksi. Hal ini dikarenakan suatu peralatan proteksi harus dikoordinasikan waktunya dengan peralatan proteksi yang lain agar hanya peralatan proteksi yang paling dekat dengan gangguan saja yang bekerja. Waktu pemutusan suatu peralatan proteksi berkaitan erat dengan karakteristik dari peralatan proteksi tersebut (Andikapati, 2019).

2.8.1 Instantaneous (Cepat)

Relay proteksi ini mengacu pada pemutusan segera relay saat arus atau tegangan melebihi ambang batas yang ditentukan. Relay dengan karakteristik ini akan langsung memutuskan sirkuit tanpa adanya penundaan waktu. Kurva karakteristiknya adalah garis lurus vertikal di sepanjang sumbu waktu, menunjukkan bahwa relay akan memutuskan dengan waktu yang sangat singkat.

2.8.2 *Definite Time* (Waktu Tetap)

Pada relay proteksi ini memiliki waktu pemutusan yang tetap dan dapat diatur sebelumnya. Ketika arus atau tegangan melebihi ambang batas yang ditentukan, relay dengan karakteristik waktu tetap akan memulai hitungan mundur sesuai dengan waktu tetap yang ditentukan sebelumnya, dan setelah waktu tersebut tercapai, relay akan memutuskan sirkuit. Kurva karakteristiknya biasanya berbentuk garis horizontal yang mewakili waktu tetap yang ditentukan sebelumnya.

2.8.3 *Inverse* (Invers)

Pada relay proteksi mengacu pada pemutusan yang berbanding terbalik dengan besar arus gangguan. Artinya, semakin besar arus gangguan, waktu pemutusan relay menjadi lebih cepat. Ini berarti relay dengan karakteristik waktu invers memberikan perlindungan lebih cepat untuk arus gangguan yang lebih besar, sementara memberikan penundaan pemutusan untuk arus yang lebih kecil. Kurva karakteristiknya umumnya berbentuk kurva melengkung yang menunjukkan hubungan invers antara arus dan waktu pemutusan. Terdapat 4 macam relay *Inverse* yaitu :

1) *Standart Inverse* (SI)

Standard Inverse adalah karakteristik yang menunjukkan perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja relay yang standar. Rumus karakteristik relay *standard inverse* dapat dilihat pada persamaan 2.1 berikut.

$$SI = \frac{T_{ms} \times 0,14}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^{0,02} - 1} \dots\dots\dots$$

(2.1)

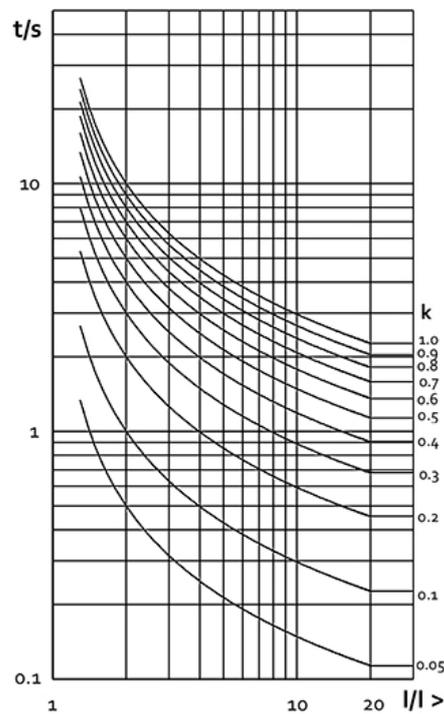
Dimana,

Tms : *Time Multiple Second*

If : Arus hubung singkat (arus gangguan) (A)

Is : Arus kerja (arus *setting*) (A)

Untuk lebih jelasnya mengenai *standart inverse* dapat dilihat kurva karakteristiknya pada Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2. 5 Kurva Karakteristik *Standart Inverse*

Sumber : Asrida 2020

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat pada sumbu Y menunjukkan rentang waktu kerja relay dan pada sumbu X menunjukkan

hasil bagi dari arus gangguan dan arus setting. Berdasarkan grafik tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar hasil baginya, maka semakin cepat waktu tunda kerja dari relay.

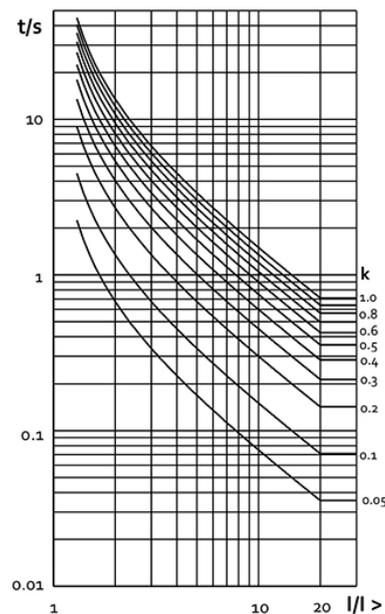
2) *Very inverse* (VI)

Very Inverse merupakan karakteristik yang menunjukkan, perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja relai yang lebih tinggi dari *standar Inverse*. Rumus karakteristik relai *very inverse* dapat dilihat pada persamaan 2.2 berikut.

$$VI = \frac{T_{ms} \times 1,35}{\frac{I_f}{I_{set}} - 1} \dots\dots\dots$$

(2.2)

Untuk lebih jelasnya mengenai *very inverse* dapat dilihat kurva karakteristiknya pada Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2. 6 Kurva Karakteristik *Very Inverse*
Sumber : Asrida 2020

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat pada sumbu Y menunjukkan rentang waktu kerja relai dan pada sumbu X menunjukkan hasil bagi dari arus gangguan dan arus *setting*. Berdasarkan grafik tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar hasil baginya, maka semakin cepat waktu tunda kerja dari relai. Dengan kurva yang lebih tajam dibanding *standard inverse*.

3) *Extremely Inverse* (EI)

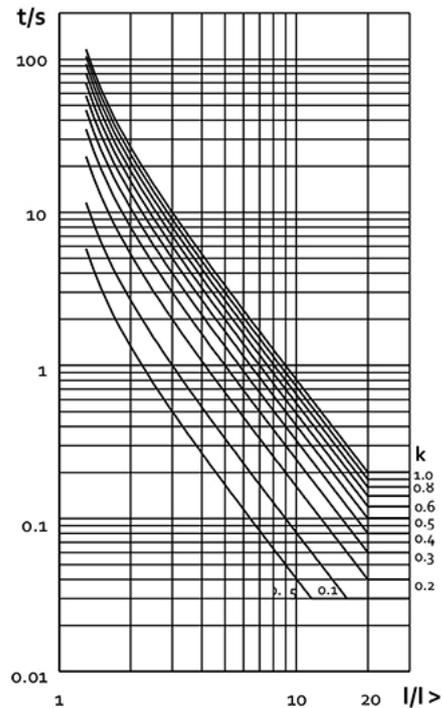
Extremely Inverse adalah karakteristik yang menunjukkan, perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja relai yang lebih cepat/tinggi dari *standard* dan *very inverse*.

Rumus karakteristik relai *extremely inverse* dapat dilihat pada persamaan 2.3 berikut.

$$EI = \frac{T_{ms} \times 80}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^2 - 1} \dots\dots\dots$$

(2.3)

Untuk lebih jelasnya mengenai *extremely inverse* dapat dilihat kurva karakteristiknya pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.7 Kurva Karakteristik *Extremely Inverse*
Sumber : Asrida. 2020

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat pada sumbu Y menunjukkan rentang waktu kerja relai dan pada sumbu X menunjukkan hasil bagi dari arus gangguan dan arus *setting*. Berdasarkan grafik tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar hasil baginya, maka semakin cepat waktu tunda kerja dari relai. Dengan kurva yang lebih tajam dibanding *very inverse*.

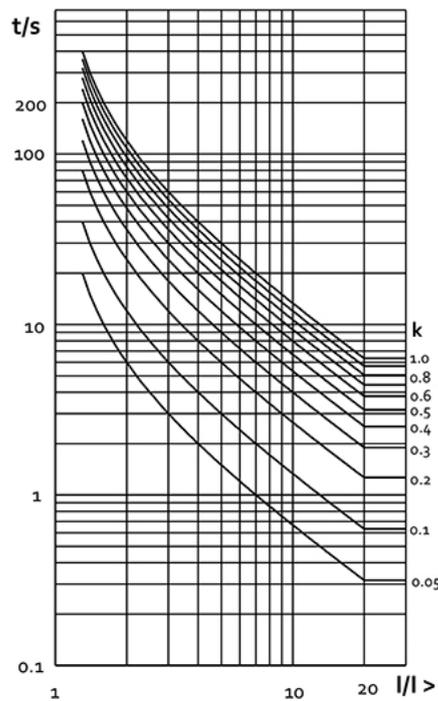
4) *Long Time Inverse* (LTI)

Long Time Inverse merupakan karakteristik yang menunjukkan, perbandingan antara besar arus dengan waktu kerja relai yang lebih lambat/ rendah diantara karakteristik yang lain. Rumus karakteristik relai *long time inverse* dapat dilihat pada persamaan 2.4 berikut.

$$LTI = \frac{T_{ms} \times 120}{\frac{I_f}{I_{set}} - 1} \dots\dots\dots$$

(2.4)

Untuk lebih jelasnya mengenai *long time inverse* dapat dilihat kurva karakteristiknya pada Gambar 2.8 berikut.



Gambar 2.8 Kurva Karakteristik *Long Time Inverse*
Sumber : Asrida. 2020

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat pada sumbu Y menunjukkan rentang waktu kerja relai dan pada sumbu X menunjukkan hasil bagi dari arus gangguan dan arus *setting*. Berdasarkan grafik tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar hasil baginya, maka semakin cepat waktu tunda kerja dari relai, tetapi memiliki waktu tunda kerja relai yang lebih lambat/ rendah diantara karakteristik yang lain.

2.9 Relay SBEF

Dua tahap relay proteksi merupakan komponen yang berperan dalam sistem pengamanan jaringan distribusi. Adapun relai harus mampu bekerja selektif, yaitu dapat membedakan secara cermat dalam mengatasi gangguan agar kerja koordinasi antar relai proteksi di sistem dapat bekerja dengan baik. Karena sesuai dengan fungsinya relay SBEF merupakan relay yang berfungsi untuk melindungi NGR dari panas baik akibat hubung singkat maupun arus urutan nol mengalir ke titik netral transformator secara terus menerus.

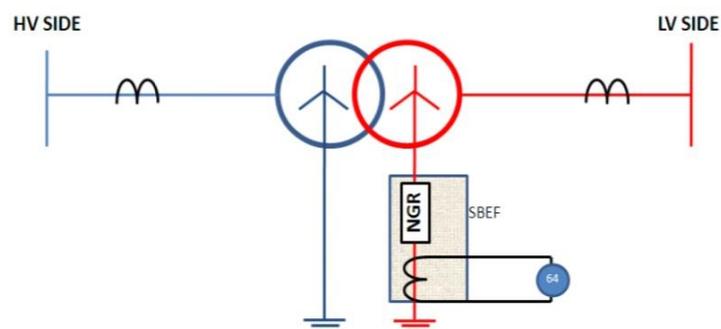
Pada transformator daya salah satu pengamanan yang terpasang adalah rele diferensial. Rele diferensial merupakan pengamanan utama pada transformator, rele diferensial mengamankan peralatan dari gangguan yang terjadi di dalam transformator. Fungsi utama dari relay ini adalah bertugas untuk mendeteksi adanya ketidaknormalan pada sistem tenaga listrik ketika terjadi gangguan pada sistem dan selanjutnya mengirimkan sinyal kepada pemutus (circuit breaker) untuk memutuskan jaringan yang sedang mengalami gangguan.

Transformator tenaga merupakan peralatan yang sangat penting bagi penyaluran daya listrik sehingga perlu adanya perlindungan guna bekerja tetap handal. Sistem proteksi adalah sistem berupa perlindungan pada peralatan listrik guna menghindari kerusakan peralatan serta menjaga stabilitas penyaluran tenaga listrik.

Karakter dari relay jenis ini berfungsi untuk mengamankan NGR (Neutral Grounding Resistant) dari kerusakan akibat panas. Ketika arus hubung singkat atau arus urutan nol yang mengalir ke titik netral transformator secara terus

menerus (*continue*) maka akan terjadi panas. Prinsip kerja relay tersebut sama dengan relay gangguan ke tanah (GFR) dan dipasang hanya untuk pentanahan yang sifatnya tidak langsung. Karakteristik waktu kerja SBEF adalah kurva landai (*long time inverse*).

Filosofi relay ini adalah untuk mengamankan NGR dari kerusakan akibat panas. Panas bisa dihasilkan karena arus hubung singkat atau arus urutan nol yang mengalir ke titik netral transformator secara terus menerus (*continue*). Prinsip kerja relay ini sama dengan relay gangguan ke tanah (GFR) dan dipasang hanya untuk pentanahan yang bukan pentanahan langsung. Karena terdapat berbagai nilai dari resistansi pentanahan titik netral maka *settingnya* pun harus mempertimbangkan nominal dan ketahanan termis dari resistansi pentanahan itu sendiri, sehingga karakteristik waktu relay ini menjadi sangat penting. Adapun karakteristik waktu kerja SBEF adalah kurva landai (*long time inverse*). skema *wiring* SBEF dapat dilihat pada Gambar 2.9 berikut.



Gambar 2. 9 Skema Wiring Standby Earth Fault (SBEF)

Penyetelan relay SBEF ini mempertimbangkan faktor – faktor sebagai berikut:

- 1) Pola pentanahan netral trafo;
- 2) Ketahanan termis tahanan netral trafo (NGR);
- 3) Ketahanan pelindung kabel disisi NGR (khususnya pada sistem dengan netral yang ditanahkan langsung atau dengan NGR tahanan rendah);
- 4) Sensitivitas relai terhadap gangguan tanah;
- 5) Pengaruh konfigurasi belitan trafo (dilengkapi dengan belitan delta atau tidak).

Untuk pemilihan waktu dan karakteristik SBEF dengan memperhatikan ketahanan termis NGR. Karena arus yang mengalir ke NGR sudah dibatasi oleh resistansi terpasang pada NGR itu sendiri. Karena nilai arus yang flat, maka pemilihan karakteristik waktu disarankan menggunakan *definite* atau *long time inverse*.

Untuk menghitung *setting* dari relai SBEF harus berdasarkan besar tahanan sisi sekunder trafo dan untuk mengetahui waktu tunda dan tms dari relai SBEF fungsi 2 tahap dapat dilihat pada persamaan 2.8, 2.9 dan 2.10 sebagai berikut:

$$t_s = 0,5 \times t_{\max} \text{ NGR} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$T_{ms} \text{ tahap 1} = \frac{\left(\frac{\ln \text{NGR}}{I_{set}} - 1\right) \times t_s}{120} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$T_{ms} \text{ tahap 2} = \frac{\left(\frac{\ln \text{NGR}}{I_{set}} - 1\right) \times (t_s + 1)}{120} \dots\dots\dots (2.10)$$

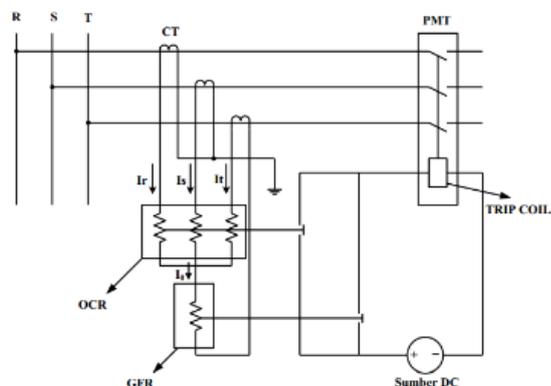
Dimana,

t_s = waktu tunda (s)

In NGR = arus nominal NGR (A)

2.10 Relay GFR

Peralatan proteksi yang sering digunakan pada sistem distribusi adalah over current relay (OCR) dan ground fault relay (GFR), yaitu relai yang berfungsi memberi perintah PMT untuk membuka, sehingga saluran yang terganggu dipisahkan dari jaringan. Relai hubung tanah yang lebih dikenal dengan GFR (*Ground Fault Relay*). Relai hubung tanah adalah suatu relai yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu bekerja apabila terjadi gangguan hubung singkat phasa ke tanah. Relai gangguan tanah akan efektif apabila digunakan pada sistem tenaga listrik untuk pentanahan netral langsung atau dengan penahan netral dengan tahanan rendah. Relai hubung tanah pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan relai arus lebih namun berbeda dalam kegunaannya. Bila relai OCR mendeteksi adanya hubung singkat antar phasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat ke tanah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.10 mengenai Rangkaian Pengawatan relai GFR.



Gambar 2. 10 Rangkaian Pengawatan Relai GFR

Setting relay GFR pada sisi primer dan sisi sekunder transformator tenaga terlebih dahulu harus dihitung arus nominal transformator tenaga. Arus setting untuk relay GFR baik pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga adalah sebagai berikut:

$$I_{set} (\text{prim}) = 0,2 \times I_{\text{nominal trafo}} \dots \dots \dots (2.11)$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setting sekunder yang dapat disetkan pada relay GFR, maka harus dihitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder transformator tenaga. Cara yang sama juga digunakan pada setting OCR.

$$I_{gfr} = \frac{0,2 \cdot I_{nom}}{CT} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan:

I_{gfr} = Arus pada relay GFR

I_{nom} = Arus nominal pada transformator

CT = Rasio Transformator

2.11 Komponen Simetris

2.9.1. Besaran Per Unit

Pada daya yang besar, saluran transmisi biasanya dioperasikan pada tegangan beberapa ratus ribu volt atau beberapa ratus kilovolt (kV). Dayanya beberapa juta watt, volt-ampere, atau VAR atau biasa disebut dengan satuan

MW, MVA atau MVAR. Arusnya biasanya beberapa ribu ampere atau kiloampere (kA). Para insinyur sistem tenaga biasanya menyatakan tegangan, arus, dan daya dalam persen atau per-unit (pu). Besaran per-unit adalah rasio antara besaran sebenarnya terhadap besaran dasar. Secara historis, ini dilakukan untuk menyederhanakan perhitungan numerik yang dibuat dengan tangan. Meskipun keuntungan ini telah dihilangkan dengan menggunakan komputer, keuntungan lain tetap ada : (Grigsby, 2017)

- Parameter perangkat cenderung jatuh ke dalam kisaran yang relatif sempit, membuat nilai yang salah menjadi mencolok.
- metode didefinisikan untuk menghilangkan transformator ideal sebagai komponen rangkaian.
- tegangan yang melalui sistem tenaga biasanya mendekati kesatuan

Berikut ini persamaan untuk menghitung nilai *base*.

$$Z_b \text{ HV} = \frac{V_{hv}^2}{S_b} \dots\dots\dots$$

(2.13)

$$Z_b \text{ LV} = \frac{V_{lv}^2}{S_b} \dots\dots\dots$$

(2.14)

$$I_b \text{ HV} = \frac{S}{V_{hv} \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$I_b \text{ LV} = \frac{S}{V_{lv} \times \sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$X_{t1} = \frac{S_b}{S} \times X_{t\%} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana,

Z_b HV : Impedansi dasar *high voltage* (pu)

Z_b LV : Impedansi dasar *low voltage* (pu)

I_b HV : Arus dasar *high voltage* (A)

I_b LV : Arus dasar *low voltage* (A)

2.9.2. Analisa Hubung Singkat

Sistem tenaga yang besar, dengan wilayah yang luas, sangat rentan dengan kemungkinan terjadinya kerusakan peralatan akibat suatu gangguan hubung singkat, baik yang bersifat temporer, seperti penghantar udara terkena ranting patah atau layang-layang. Juga yang bersifat permanen seperti kawat penghantar yang putus atau juga petir dan proses *switching* (manuver jaringan) yang menimbulkan tegangan berlebih yang bisa menyebabkan terjadinya *flashover* pada isolator.

Banyaknya kemungkinan gangguan hubung singkat yang mungkin mengakibatkan kerusakan pada peralatan, maka perlu dilakukan analisa hubung singkat dengan tujuan sebagai berikut :

- 1) Untuk menentukan kemampuan memutus (*breaking capacity*) dari suatu pengaman (*Circuit Breaker*).

2) Untuk menentukan *setting* relai proteksi yang harus dipasang agar peralatan pengaman tersebut bekerja secara optimal.

Gangguan tidak simetris pada saluran transmisi tiga fasa dapat disebabkan oleh hubung singkat, perbedaan impedansi akibat pembebanan yang tidak sama, dan penghantar terbuka (*open circuit*). Untuk melakukan analisis dalam rangkaian tiga fasa yang tidak seimbang dapat dilakukan dengan menggunakan metoda komponen simetris.

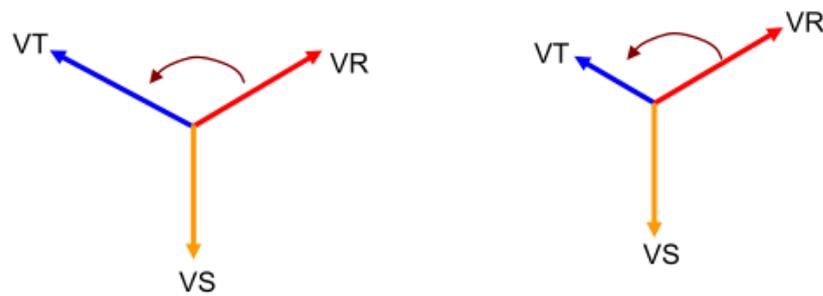
Teori komponen simetris pertama kali diperkenalkan pada tahun 1918 oleh ilmuwan Amerika yang bernama CL Fortescue. Setelah dilakukan berbagai pengkajian dan penyelidikan serta uji coba, maka beberapa tahun metoda komponen simetris menjadi populer dan hingga saat ini banyak digunakan oleh para enjinir untuk melakukan berbagai perhitungan dan analisa gangguan.

Dasar pemahaman dalam metoda komponen simetris adalah bagaimana suatu sistem yang tidak seimbang pada rangkaian tiga fasa dapat diuraikan menjadi fasor-fasor yang seimbang. Himpunan fasor-fasor inilah yang disebut komponen simetris.

2.9.3. Pengertian Fasor Komponen Simetris

Pada jaringan tiga fasa seimbang fasor urutan fasa mempunyai besaran yang sama dengan pergeseran sudut fasor sebesar 120° , dimana urutan fasanya berlawanan arah jarum jam mengikuti urutan fasa pada generator (Gambar 2.11 kondisi fasor komponen simetris.a). Jika terjadi hubung singkat, misalkan pada fasa-T, maka fasor tegangan menjadi tidak seimbang lagi, dimana besaran

fasor-T menjadi lebih kecil, sedangkan fasor lainnya (V_R & V_S) dimungkinkan menjadi lebih besar dari sebelumnya (Gambar 2.11.b)



(a) Kondisi Seimbang

(b) Kondisi Gangguan pada Fasa T

Gambar 2. 11 Kondisi Fasor Komponen Simetris

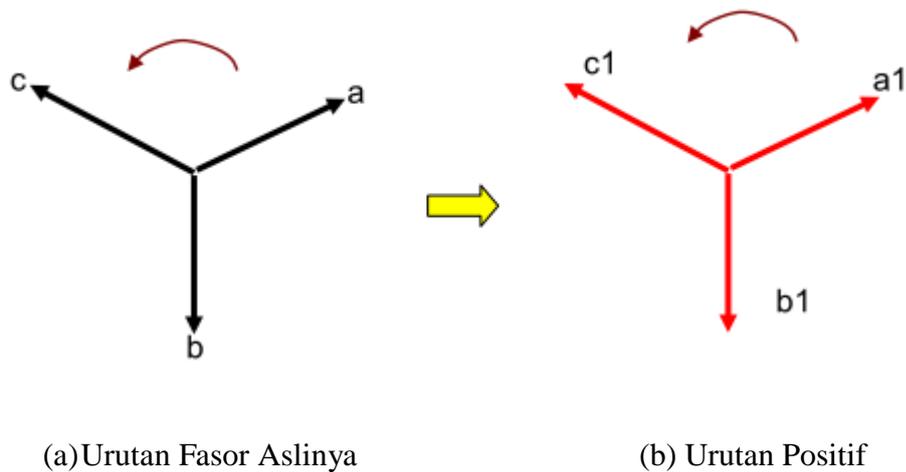
Menurut teori komponen simetris, fasor -fasor pada jaringan tiga fasa yang tidak seimbang dapat diuraikan menjadi 3 fasor yang seimbang, yaitu :

1) Komponen urutan positif

Sifat-sifat :

- a) Terdiri dari 3 fasa masing-masing fasor mempunyai besaran yang sama dan setiap fasa diberi notasi 1 : a_1 , b_1 dan c_1 .
- b) Beda sudut antar fasor adalah 120° .
- c) Mempunyai urutan fasa yang sama dengan fasor aslinya, yaitu berlawanan dengan arah jarum jam.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.12.

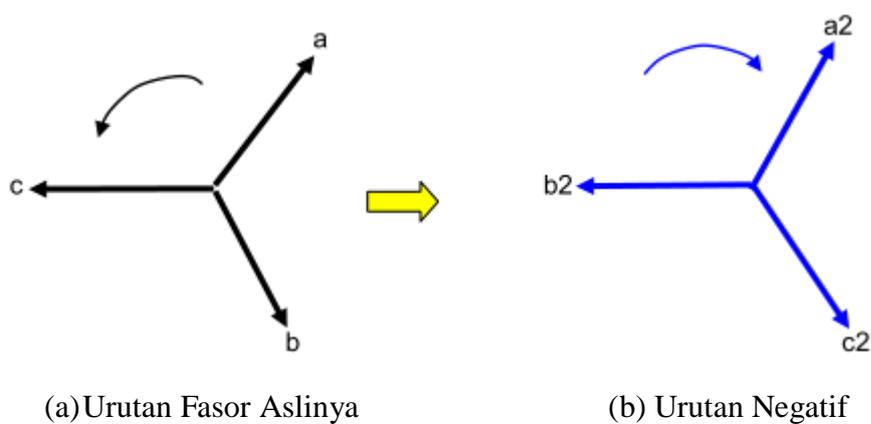


Gambar 2. 12 Urutan Fasor Komponen Positif

2) Komponen urutan negatif

Sifat-sifat :

- Terdiri dari tiga fasa masing-masing fasor mempunyai besaran yang sama dan setiap fasa diberi notasi 2 : a_2 , b_2 dan c_2 .
- Beda sudut antar fasor adalah 120° .
- Mempunyai urutan fasa yang berlawanan arah dengan fasor aslinya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.13.

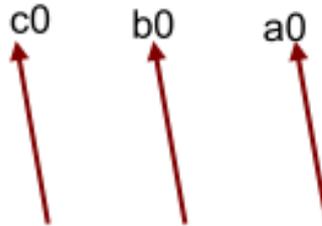


Gambar 2. 13 Urutan Fasor Komponen Negatif

3) Komponen urutan nol

Sifat-sifat :

- a) Terdiri dari 3 fasa masing-masing fasor mempunyai besaran yang sama dan setiap fasa diberi notasi 0 : a0, b0 dan c0
- b) Antara fasor satu dengan fasor lainnya tidak terdapat perbedaan sudut. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Urutan Fasor Komponen Urutan Nol

2.12 Software ETAP 19.0.1

ETAP (Electric Transient and Analysis Program) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time.

Etap merupakan software yang digunakan untuk melakukan desain/perencanaan sistem kelistrikan yang ada di suatu Industri atau Wilayah. Software ini sangat bermanfaat untuk melakukan berbagai analisa yang sangat membantu untuk mempermudah pekerjaan. Dalam perancangan dan analisa sebuah sistem tenaga listrik, sebuah software aplikasi sangat dibutuhkan untuk merepresentasikan kondisi real sebelum sebuah sistem direalisasikan. ETAP (Electric Transient and Analysis Program) PowerStation 16.0.0 merupakan salah satu software aplikasi yang digunakan untuk mensimulasikan sistem tenaga listrik. ETAP mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, dan online untuk

pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik.

Analisa sistem tenaga listrik yang dapat dilakukan ETAP antara lain:

1. Analisa aliran daya
2. Analisa hubung singkat
3. Arc Flash Analysis
4. Starting motor
5. Koordinasi proteksi
6. Analisa kestabilan transien, dll.