

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

Dalam penulisan tugas akhir ini merujuk pada beberapa penelitian yang pernah dilakukan, yaitu:

Agus Santoso (2018) melakukan penelitian mengenai koordinasi proteksi *Over Current Relay* di penyulan palimanan PT. PLN rayon sumber Cirebon menggunakan software ETAP 12.6. Dari penelitian ini disimpulkan besar *delay instantaneous* ditentukan berdasarkan letak relay berada pada tahap keberapa. Semakin dekat relay dari pembangkit, maka semakin lama *delay instanteneous*.

Ary Satya Nugraha (2018) melakukan penelitian mengenai koordinasi proteksi *Over Current Relay* pada sistem kelistrikan industri di PT. Dian Swastatika Sentosa Plant 1, Tbk. Karawang. Dari penelitian ini disimpulkan saat mensimulasikan gangguan pada software ETAP, pengaman yang bekerja lebih dahulu adalah pengaman backup-nya. Hasil analisa menjelaskan bahwa hal tersebut tidak sesuai dengan standar koordinasi proteksi, karena seharusnya pengaman yang bekerja terlebih dahulu adalah pengaman utama. Apabila pada pengaman utama masih terjadi gangguan, maka pengaman backup yang akan bekerja. Selain tidak selektif dan terkoordinasi dengan baik, keadaan sebelum resetting ini secara tidak langsung membuat motor induksi akan berhenti bekerja jika pengaman backup yang terlebih dahulu bekerja sehingga menyebabkan proses produksi juga terhenti.

Penelitian yang dilakukan oleh Wahyu Arief Nugroho, dkk (2014) mengenai koordinasi penempatan peralatan proteksi jenis arus lebih (OCR) dan pelebur (FCO) di penyulang 20 kV dari GI 150/20 kV Mrica Banjarnegara. Dari penelitian ini menganalisis bahwa disaat terjadi gangguan hubung singkat OCR harus mampu bekerja lebih dulu agar FCO tidak perlu bekerja. Hal ini dikarenakan FCO berfungsi hanya sekali, dimana apabila FCO bekerja maka FCO

akan rusak dan harus diganti dengan yang baru. Oleh karena itu agar tidak perlu mengeluarkan banyak biaya untuk mengganti FCO dengan yang baru, maka OCR harus bisa bekerja dengan baik.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Pengertian Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Sistem Proteksi Tenaga Listrik merupakan sistem proteksi pada peralatan yang terpasang pada sistem tenaga listrik seperti generator, busbar, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, dll terhadap kondisi abnormal operasi sistem tenaga listrik tersebut (Syahputra 2017). Secara umum sistem proteksi tenaga listrik didefinisikan sebagai perangkat proteksi secara lengkap yang terdiri dari perangkat utama dan perangkat-perangkat lain yang dibutuhkan untuk melakukan fungsi tertentu berdasarkan prinsip-prinsip proteksi sesuai dengan definisi yang terdapat pada standar IEC 6255-20. Perangkat yang dimaksud adalah kumpulan perangkat proteksi seperti sekring, rele, dan lain-lainnya di luar perangkat trafo arus, perangkat pemutus tenaga yang biasa disingkat PMT, kontaktor, dan lain sebagainya. Dalam suatu perangkat proteksi sistem tenaga listrik juga dapat didefinisikan dalam skema proteksi dimana terdiri dari kumpulan proteksi yang berfungsi untuk melakukan proteksi di mana semua perangkat yang termasuk dalam sistem proteksi terlibat di dalamnya seperti rele, trafo arus, trafo tegangan, PMT, baterai, dan lain sebagainya.

2.2.2. Tujuan Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Dalam suatu sistem proteksi tenaga listrik tentu saja mempunyai tujuan, yaitu:

1. Untuk melindungi peralatan sistem tenaga listrik akibat gangguan sehingga dapat mencegah kerusakan pada peralatan tersebut.
2. Untuk mempercepat melokalisasi zona daerah yang terkena gangguan, sehingga daerah yang terganggu menjadi sekecil mungkin.
3. Meminimalisir terjadinya kecelakaan kerja terhadap manusia dan objek sekitarnya dari bahaya akibat gangguan sistem tenaga listrik.

2.2.3. Persyaratan Sistem Proteksi Tenaga Listrik

Dalam suatu sistem proteksi tenaga listrik, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi demi mengamankan peralatan-peralatan listrik yang ada. Maka dari itu, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh suatu sistem proteksi, yaitu:

1. Selektifitas

Yang dimaksud dengan selektif disini adalah kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengamanan, dimana hal ini menyangkut koordinasi pengaman dari sistem secara keseluruhan. Untuk mendapatkan keandalan yang tinggi, maka suatu pengaman harus mempunyai kemampuan selektif yang baik. Dengan demikian, segala tindakannya akan tepat dan akibatnya gangguan dapat diminimalisir menjadi sekecil mungkin. Dalam penerapan pada rele, berarti rele harus mempunyai daya beda, sehingga mampu dengan tepat memilih bagian yang terkena gangguan. Kemudian rele bertugas mengamankan peralatan dengan cara mendeteksi adanya gangguan dan memberikan perintah kepada pemutus tenaga (PMT) agar pemutus membuka kontakannya sehingga hanya memutuskan pada daerah yang terganggu.

2. Kecepatan

Pada suatu sistem proteksi tenaga listrik, kecepatan suatu rele proteksi sangat penting. Jika tidak di atasi dengan cepat, maka arus gangguan akan terus mengalir menjadi semakin besar dan akibatnya peralatan di suatu sistem akan rusak. Kecepatan bereaksi dari rele adalah saat rele mulai merasakan adanya gangguan sampai dengan pelaksanaan pelepasan circuit breaker (CB) karena komando dari relay tersebut. Waktu bereaksi ini harus diusahakan secepat mungkin sehingga dapat menghindari kerusakan pada alat serta membatasi daerah yang mengalami gangguan. Tujuan utamanya adalah untuk mengamankan kontinuitas pasokan daya dengan menghilangkan setiap gangguan sebelum gangguan tersebut berkembang atau meluas kearah yang membahayakan stabilitas dan hilangnya sinkronisasi sistem yang pada akhirnya dapat merusak sistem tenaga tersebut. Disamping itu, waktu kerja rele tidak boleh melampaui waktu penyetelan kritis

dan juga tidak boleh bekerja terlalu cepat (kurang dari 10ms). Intinya, kecepatan dan ketepatan kerja pada rele proteksi sangat diperlukan karena untuk menjaga kestabilan sistem agar tidak terganggu.

3. Kepekaan

Kepekaan adalah istilah yang sering dikaitkan dengan harga besaran penggerak minimum, seperti level arus minimum, tegangan, daya dan besaran lain dimana rele atau skema proteksi masih dapat bekerja dengan baik. Suatu rele disebut sensitif bila parameter operasi utamanya rendah. Artinya, semakin rendah besaran parameter penggerak maka perangkat tersebut dikatakan semakin sensitif. Sehingga rele harus dapat bekerja pada awal terjadinya gangguan.

4. Keandalan

Keandalan rele dihitung dengan jumlah rele bekerja atau mengamankan daerahnya terhadap jumlah gangguan yang terjadi. Keandalan rele dikatakan cukup baik apabila mempunyai harga: 90% - 99%. Misal, dalam satu tahun terjadi gangguan sebanyak 27 kali dan rele dapat bekerja dengan sempurna sebanyak 25 kali, maka:

$$\text{Keandalan Rele} = \frac{25}{27} \times 100\% = 92\%$$

Keandalan dapat dibagi menjadi 2 yaitu:

a. *Depenbility*

Yaitu tingkat ketepatan suatu alat proteksi untuk mampu bekerja saat gangguan terjadi. Dapat menyeleksi bagian yang terganggu secara tepat dan tidak gagal bekerja.

b. *Security*

Yaitu tingkat ketepatan suatu pengaman untuk tidak mengalami kesalahan ketika sedang bekerja (terjadi gangguan). Maksudnya adalah kondisi dimana pengaman tidak boleh bekerja yang bukan seharusnya bekerja.

2.2.4. Jenis Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Ada banyak gangguan-gangguan yang sering terjadi pada suatu sistem tenaga listrik. Diantaranya sebagai berikut:

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

Yang dimaksud dengan gangguan tegangan berlebih ialah ketika suatu sistem tenaga listrik mengalami gangguan akibat adanya kelainan pada sistem tersebut. Penyebab terjadinya gangguan ini karena adanya gangguan sistem yang disebabkan oleh sambaran petir dan dapat juga gangguan yang disebabkan oleh isolasi yang di akibatkan oleh perubahan secara tiba-tiba di rangkaian atau yang biasa disebut dengan gangguan *Transient Over Voltage*. Selain itu, dapat juga disebabkan oleh pembangkit yang mengalami over speed pada generator, kehilangan beban dan gangguan pada *Automatic Voltage Regulator (AVR)* sehingga terjadilah gangguan tegangan lebih Power Frekuensi.

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

Gangguan beban lebih merupakan suatu gangguan yang diakibatkan oleh nilai beban listrik yang terpasang melebihi batas nilai beban listrik yang telah di terapkan di lapangan. Ciri terjadinya beban lebih adalah ketika terjadinya arus berlebih pada komponen-komponen yang terpasang. Jika dibiarkan arus lebih ini akan menyebabkan panas sehingga dapat merusak peralatan sistem tenaga listrik yang dialiri arus berlebih tersebut.

3. Gangguan Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Gangguan hubung singkat adalah suatu jenis gangguan yang disebabkan oleh arus listrik yang melonjak secara tiba-tiba pada sistem tenaga listrik. Ada dua jenis gangguan hubung singkat yang ditinjau dari waktu berlangsungnya hubung singkat tersebut. Jika suatu gangguan hubung singkat berlangsung dengan waktu yang lama, penyebabnya adalah hubung singkat pada kabel, belitan trafo, dan generator. Sedangkan jika gangguan hubung singkat berlangsung sementara, penyebabnya adalah faktor alam seperti sambaran petir, ranting-ranting pohon

yang menyentuh kabel pada jaringan distribusi listrik, dan tiupan angin kencang yang membuat kabel bersentuhan.

Jika gangguan yang disebabkan gangguan hubung singkat pada distribusi tidak segera di atasi maka akan mengganggu kelangsungan sistem tenaga listrik itu sendiri. Berikut ini adalah dampak-dampak yang disebabkan oleh gangguan hubung singkat:

- a. Tegangan pada sistem jaringan akan menurun, bahkan di lokasi-lokasi tertentu tegangan tersebut hilang sama sekali dan dapat mengganggu kestabilan jaringan.
- b. Timbulnya pengaruh-pengaruh mekanis di komponen-komponen penunjang sistem tenaga listrik. Hal ini dapat mempengaruhi stabilitas pada isolator, kumparan trafo dan lain-lain.
- c. Saat hubung singkat terjadi, akan menimbulkan panas yang lama kelamaan menjadi meningkat akibat dari pengaruh thermis dan disaat bersamaan, suhu komponen-komponen pada sistem juga ikut meningkat seiring dengan arus hubung singkat tersebut. Hal ini dapat membahayakan peralatan-peralatan yang ada pada sistem.
- d. Dapat mengganggu kelangsungan pendistribusian listrik pada jaringan. Dikarenakan pada suatu sistem jaringan terdapat pemutus tenaga yang bekerja ketika adanya gangguan hubung singkat tersebut dan mungkin akan menyebabkan pemadaman listrik di daerah-daerah tertentu.

2.2.5. Penyebab Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Di suatu sistem tenaga listrik terdapat komponen-komponen yang sangat vital untuk kelangsungan pendistribusian listrik tersebut. Maka dari itu penyebab-penyebab gangguan pada sistem harus di minimalisir sekecil mungkin. Berikut ini beberapa faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan pada sistem, yaitu:

1. Faktor Internal

Merupakan gangguan yang timbul atau bersumber dari sistem itu sendiri yang disebabkan oleh komponen-komponen yang sudah tidak layak pakai, kondisi komponen yang sudah aus, dan lain sebagainya. Hal ini dapat

mengurangi ketahanan isolasi peralatan listrik dan sensitifitas rele-rele pengaman menjadi terganggu.

2. Faktor Eksternal

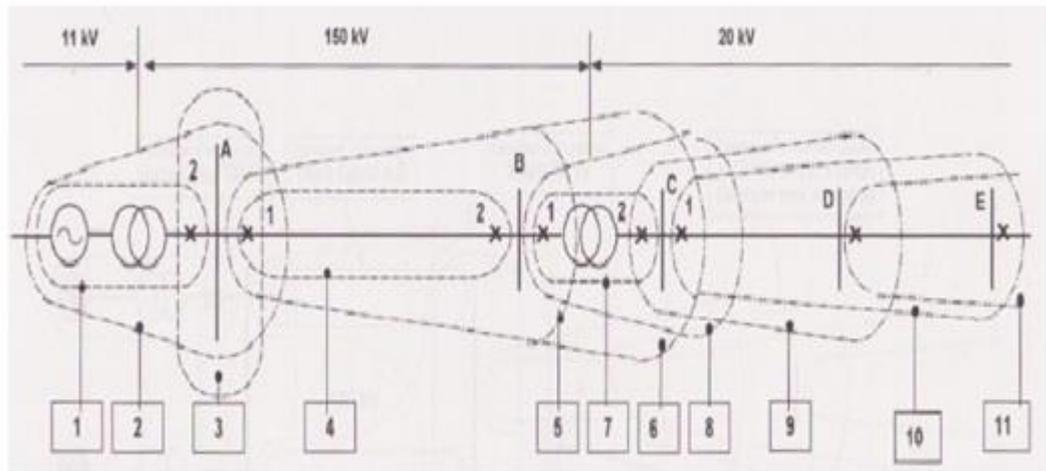
Merupakan gangguan yang berasal dari luar sistem. Biasanya disebabkan oleh faktor cuaca, adanya gempa bumi, terjadinya banjir dan sambaran petir di lingkungan sekitar sistem. Gangguan dari binatang, misalnya burung yang hinggap di penghantar, gigitan tikus, kalong juga termasuk gangguan eksternal.

3. Faktor Manusia

Faktor ini menjadi hal yang sangat penting dan merupakan tanggung jawab tersendiri bagi pekerja kelistrikan. *Human error* disebabkan oleh kelalaian manusia dalam proses kerja pada sistem. Maka dari itu, manusia yang ada di dalam proses penanganan sistem harus bekerja sesuai dengan standar yang sudah di atur. Misalnya keliru dalam mengkalibrasi suatu alat pengaman, salah menyambung kabel rangkain dan lain sebagainya.

2.2.6. Zona Proteksi Sistem Tenaga Listrik

Di dalam pengamanan suatu sistem tenaga listrik, seluruh komponen-komponen harus dilindungi dengan tetap menekankan selektifitas kerja dari rele proteksi. Untuk mencapai hal ini, zona proteksi sistem tenaga listrik dibagi menjadi beberapa daerah-daerah (zona) pengamanan. Setiap daerah yang diamankan umumnya terdiri dari satu atau lebih komponen sistem tenaga listrik. komponen-komponen tersebut adalah generator, bus bar, transformator, saluran udara dan beban. Demi untuk mencapai sistem proteksi yang baik, maka harus ada daerah yang tumpang-tindih (*overlap*). Saat terjadi gangguan pada komponen-komponen di sistem maka alat proteksi yang dipasang akan bekerja saling menutupi. Ringkasnya, ketika suatu rele proteksi pada zona proteksi utama tidak bekerja (mengalami *trouble*), maka harus ada pengaman pendukung (*backup*) untuk mengambil alih tugas rele yang gagal tadi. Berikut ini adalah diagram koordinasi zona proteksi utama dan pendukung:



Gambar 2.1. Diagram Koordinasi Zona Proteksi Utama dan Pendukung
(Sumber: <http://blog.unnes.ac.id/antosupri/sistem-proteksi/>)

Keterangan gambar:

1. Kawasan pengaman utama dari generator sampai ke trafo. Disini jenis rele yang digunakan adalah rele diferensial.
2. Pengaman cadangan generator sampai ke trafo dan sekaligus pengaman jauh Bus A. Jenis rele yang digunakan adalah rele arus lebih
3. Kawasan pengaman utama pada busbar A di tegangan 150kV dengan menggunakan jenis rele arus lebih
4. Pengaman utama zona 1 di A1 yang merupakan zona pengamanan dari Bus A sampai awal B. Jenis rele yang digunakan adalah rele jarak jauh.
5. Pengaman utama zona 2 di A1 yang mengamankan hanya di Bus B sekaligus pengaman cadangan jauh di sebagian trafo di Bus B. Jenis rele yang digunakan adalah rele jarak jauh.
6. Pengaman cadangan jauh trafo di Bus B sampai ke Bus C dengan menggunakan jenis rele jarak jauh.
7. Merupakan trafo diferensial sekaligus zona pengamanan trafo itu sendiri.
8. Pengaman cadangan lokal Trafo di sisi 150kV sekaligus pengaman cadangan jauh pada Bus C. Jenis rele yang digunakan adalah rele arus lebih

9. Daerah pengaman utama Bus C di sisi 20kV sekaligus pengaman cadangan jauh dari Bus C sampe ke Bus D. Disini rele yang digunakan adalah rele arus lebih.
10. Pengaman utama Bus C sampai ke Bus D sekaligus pengaman cadangan jauh Bus D sampai ke Bus E dengan menggunakan jenis rele arus lebih.
11. Pengaman utama pada Bus D sampe ke Bus E dengan menggunakan jenis rele arus lebih kemudian dilanjut ke pengaman cadangan jauh seksi berikutnya.

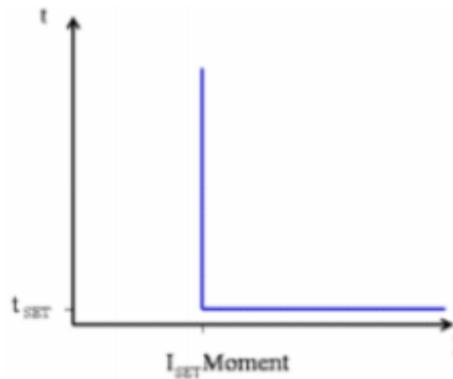
Dari penjelasan gambar diagram koodinasi zona proteksi pada sistem tenaga listrik di atas dapat dilihat suatu sistem yang di buat bertingkat dan berurutan dimulai dari pembangkit, gardu induk, saluran distribusi primer sampai ke beban dengan garis putus-putus sebagai petunjuk pembagian zona proteksi pada sistem tenaga listrik yang ada. Batas setiap zona proteksi menunjukkan bagian sistem yang bertanggung jawab untuk memisahkan gangguan yang terjadi di daerah tersebut dengan sistem lainnya. Dengan menerapkan sistem *overlap* maka, tidak ada sistem yang dibiarkan tanpa perlindungan. Tujuannya agar daerah yang terkena gangguan tetap dapat beroperasi sehingga dapat meminimalisir kemungkinan pemadaman listrik di daera-daerah tertentu.

2.2.7. Proteksi Dengan Menggunakan *Over Current Relay* (OCR)

Rele arus lebih merupakan peralatan proteksi yang bekerja mendeteksi kondisi abnormal pada sistem dengan cara melihat besar arus listrik yang mengalir. Rele ini dapat merasakan adanya arus lebih yang disebabkan karena adanya gangguan hubung singkat maupun adanya beban berlebih (*overload*) yang dapat merusak peralatan yang berada di wilayah sistem proteksi. Agar peralatan yang berada di wilayah sistem proteksi tidak rusak saat arus lebih melewatinya, maka peratan proteksinya harus bekerja pada *setting* waktu yang telah di tentukan. Berdasarkan karakteristik waktu kerjanya rele arus lebih dapat dibagi menjadi:

1. Rele arus lebih seketika (*moment in-stantaneous*)

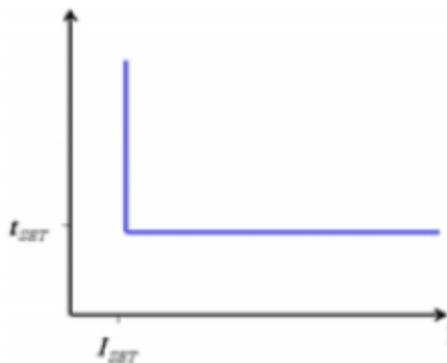
Merupakan rele arus lebih yang bekerja tanpa penundaan waktu, atau jangka waktu rele mulai saat arusnya pick-up sampai selesai dengan sangat singkat (sekitar 20 sampai 100 ms)



Gambar 2.2. Kurva Waktu Terhadap Arus Lebih Seketika
(Sumber: Sujito, 2005. Koordinasi Proteksi Arus Lebih Pada Jaringan Distribusi
Menggunakan Software EDSA 2005)

2. Rele arus lebih waktu tertentu (*defi-nite time*)

Rele arus lebih jenis ini terdiri dari elemen arus lebih dan elemen rele waktu. Jangka waktu rele mulai pick-up sampai selesai diperpanjang dengan nilai tertentu dan tidak tergantung besarnya arus yang menggerakkannya.



Gambar 2.3. Kurva Waktu Terhadap Arus Lebih Waktu Tertentu
(Sumber: Sujito, 2005. Koordinasi Proteksi Arus Lebih Pada Jaringan Distribusi
Menggunakan Software EDSA 2005)

3. Rele arus lebih berbanding terbalik (*invers time*)

Yang dimaksud dengan rele arus berbanding terbalik adalah rele arus lebih dimana waktu rele mulai pick-up sampai dengan selesainya kerja rele tergantung dari besarnya arus yang melewati kumparan relenya atau secara ringkasnya rele tersebut mempunyai sifat terbalik untuk nilai arus dan waktu bekerjanya.



Gambar 2. 4. Kurva Waktu Terhadap Arus Lebih Berbanding Terbalik
(Sumber: Sujito, 2005. *Koordinasi Proteksi Arus Lebih Pada Jaringan Distribusi Menggunakan Software EDSA 2005*)

2.2.8. Fuse Cut Out

Fuse Cut Out atau biasa disebut pengaman lebur merupakan alat pemutus yang akan melebur pada bagian komponen yang sudah dirancang khusus dan telah di sesuaikan ukurannya untuk membuka rangkaian di mana pelebur tersebut dipasang dan akan memutuskan arus listrik bila arus tersebut melebihi nilai dalam waktu tertentu. FCO dirancang untuk digunakan pada tegangan di atas 600 V. Umumnya FCO dipasang antara trafo distribusi dengan saluran distribusi primer. Saat terjadi gangguan, elemen fuse akan melebur dan memutuskan aliran arus listrik pada rangkaian sehingga akan melindungi trafo distribusi dari kerusakan akibat gangguan yang terjadi pada saluran primer.

Prinsip kerjanya adalah ketika terjadi gangguan arus maka fuse pada cut out akan putus, dan tabung ini akan lepas dari pegangan atas, dan menggantung di udara, sehingga tidak ada arus yang mengalir ke sistem. Cara kerjanya adalah

Keterangan : X_t = Reaktansi Transformator (Ω)
kV = Nilai tegangan pada sisi sekunder trafo (V)
MVA = *Nominal Rating* Trafo (MVA)

3. Perhitungan Impedansi Penyulang

Untuk mengitung nilai impedansi penyulang membutuhkan data jenis penghantar yang dipakai pada jaringan dan panjang jaringan serta luas penampang dari penghantar itu sendiri. Setelah data diketahui maka dapat dilakukan perhitungan impedansi untuk penyulang. Perhitungannya dapat dilihat pada bab pembahasan.

4. Perhitungan Impedansi Ekuivalen Jaringan

Untuk mencari nilai besaran impedansi ekuivalen jaringan harus mengetahui nilai impedansi penyulang terlebih dahulu. Impedansi ekuivalen jaringan terdiri dari beberapa perhitungan yaitu impedansi ekuivalen positif (Z_{1eki}), negatif (Z_{2eki}) dan nol (Z_{0eki}). Karena terhubung seri maka dapat menjumlahkan Z_{1eki} dan Z_{2eki} sedangkan untuk mengetahui nilai Z_{0eki} harus diketahui dulu belitan transformator yang terpasang.

5. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Terdapat tiga jenis arus gangguan hubung singkat yang di kelompokkan menurut fasa-fasanya yaitu:

1. Arus gangguan hubung singkat tiga fasa
2. Arus gangguan hubung singkat dua fasa
3. Arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat diatas dapat menggunakan rumus dasar perhitungan sebagai berikut:

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

Keterangan :

I = Arus yang mengalir di hambatan Z (A)

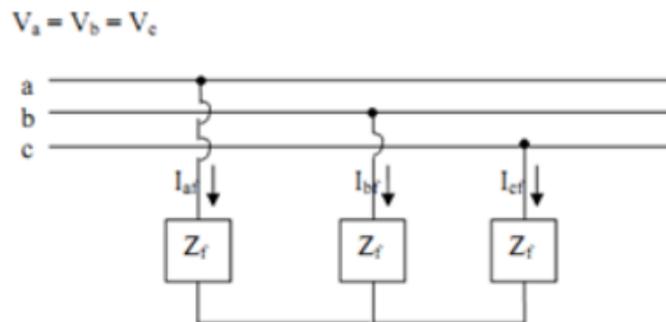
V = Tegangan dari sumber (V)

Z = Impedansi jaringan (ohm)

Impedansi jaringan terdiri dari nilai ekuivalen dari seluruh impedansi yang ada pada jaringan mulai dari sumber sampai dengan titik gangguan yang terjadi.

a. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat di ilustrasikan dengan gambar dibawah ini:



Gambar 2.5. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

(Sumber: <https://ikkkholis27.wordpress.com/2013/11/12/analisis-gangguan-hubung-singkat/>)

Pada dasarnya, untuk menghitung besarnya arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada suatu jaringan adalah menggunakan rumus perhitungan dasar sebagai berikut:

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

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat tiga fasa dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$I_{3\text{fasa}} = \frac{V_{ph}}{Z_{1eki}}$$

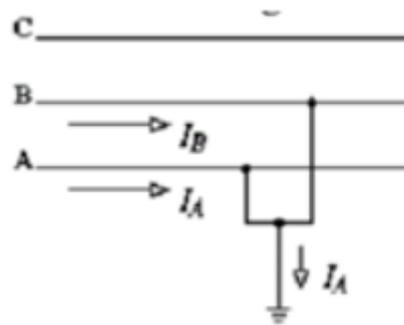
Dimana : $I_{3\text{fasa}}$ = Arus gangguan hubung singkat tiga fasa (A)

$$V_{\text{ph}} = \text{Tegangan fasa – netral jaringan } 20 \text{ kV} = \frac{20000}{\sqrt{3}} \text{ (V)}$$

$Z_{1\text{eki}}$ = Impedansi ekivalen urutan positif (*ohm*)

b. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Berikut ini adalah gambar ilustrasi arus gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah pada jaringan:



Gambar 2.6. Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

(Sumber: <https://ikkkholis27.wordpress.com/2013/11/12/analisis-gangguan-hubung-singkat/>)

Untuk menghitung arus gangguan hubung singkat dua fasa dapat menggunakan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{V_{\text{ph-ph}}}{Z_{1\text{eki}} + Z_{2\text{eki}}}$$

Karena $Z_{1\text{eki}} = Z_{2\text{eki}}$, maka dari rumus di atas dapat diuraikan menjadi sebagai berikut:

$$I_{2\text{fasa}} = \frac{V_{\text{ph-ph}}}{2 \times Z_{1\text{eki}}}$$

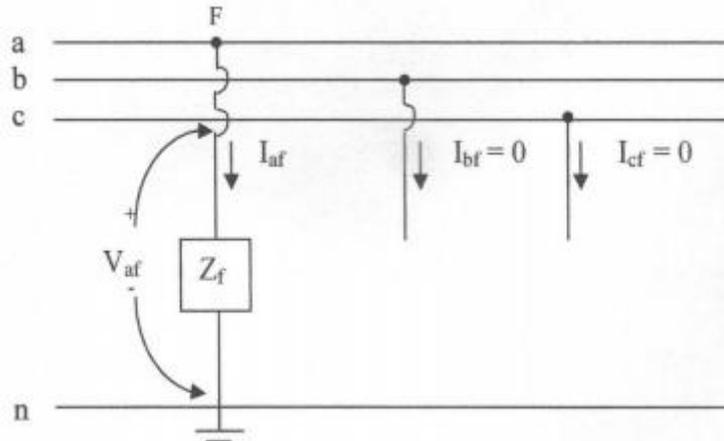
Keterangan : $I_{2\text{fasa}}$ = Arus gangguan hubung singkat dua fasa (A)

$Z_{1\text{eki}}$ = Impedansi urutan positif (ohm)

$V_{\text{ph-ph}}$ = Tegangan fasa-fasa pada jaringan 20 kV (V)

c. Perhitungan Arus Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah

Pada gambar di bawah ini dapat ditunjukkan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah:



Gambar 2.7. Gangguan Arus Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah
(Sumber: <https://ikkholis27.wordpress.com/2013/11/12/analisis-gangguan-hubung-singkat/>)

Untuk mendapatkan nilai besaran arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

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

karena $Z_{1eki} = Z_{2eki}$ maka dapat diuraikan menjadi rumus perhitungan nilai besaran arus gangguan satu fasa ke tanah sebagai berikut:

$$I_{1\text{fasa}} = \frac{3 \times V_{ph}}{2 \times (Z_{1eki} + Z_{0eki})}$$

Dimana:

$I_{1\text{fasa}}$ = Arus gangguan hubung singkat satu fas ke tanah (A)

V_{ph} = Tegangan fasa – netral jaringan 20 kV (V)

Z_{1eki} = Impedansi urutan positif (ohm)

Z_{0eki} = Impedansi urutan nol (ohm)

6. Perhitungan *Setting* Arus Rele Arus Lebih

Untuk mendapatkan nilai setelan rele arus lebih ada tahapan perhitungan yang dilakukan terlebih dahulu yaitu dengan menghitung arus nominal transformator. Setelah didapat nilai arus nominalnya maka selanjutnya menghitung arus *setting* di sisi primer dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Lalu untuk mendapatkan nilai arus *setting* di sisi sekundernya membutuhkan nilai rasio trafo arus atau CT yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder trafo. Berikut rumus perhitungan yang digunakan:

$$I \text{ set (sekunder)} = I \text{ set (primer)} \times \frac{1}{\text{Rasio CT}}$$

7. Perhitungan Setelan Waktu Rele Arus Lebih

Nilai setelan waktu pada rele arus lebih merupakan hal yang sangat penting dalam suatu proteksi jaringan. Nilai setelan ini berguna untuk waktu memutuskan arus ketika terjadi arus gangguan hubung singkat pada jaringan baiktu satu, dua, ataupun tiga fasa. Dalam menghitung nilai setelan waktu rele membutuhkan nilai arus gangguan 3 fasa yang terjadi pada titik tertentu. Di sisi lain, rele yang digunakan pada gardu induk gejayan adalah rele arus lebih dengan kurva SI (*standard inverse*). Berikut adalah rumus untuk mendapatkan nilai setelan waktunya:

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

Berikut ini adalah rumus perhitungan dari setiap jenis kurva rele arus lebih berdasarkan standar IEC yang digunakan untuk mendapatkan nilai setelan waktunya:

$$\text{SI} \quad t = \frac{0,14}{\left(I / I_p\right)^{0,02} - 1} \cdot T_p$$

$$\text{VI} \quad t = \frac{13,5}{(I/I_p)-1} \cdot T_p$$

$$\text{EI} \quad t = \frac{80}{(I/I_p)^2-1} \cdot T_p$$

$$\text{LTI} \quad t = \frac{120}{(I/I_p)-1} \cdot T_p$$

2.3.2 Perhitungan Fuse Cut Out

Saat terjadi hubung singkat pada sistem tenaga listrik, suhu konduktor akan naik dikarenakan lonjakan arus lebih sesaat akibat hubung singkat tersebut. Batas kenaikan yang diizinkan untuk konduktor dengan kawat aluminium *alloy* adalah 150⁰C. Nilai gangguan hubung singkat yang memiliki hubungan dengan batas suhu ini disebut kapasitas penyaluran sesaat. Kapasitas penyaluran sesaat akan berkaitan dengan waktu ketahanan konduktor terhadap kenaikan suhu akibat gangguan hubung singkat tersebut. Untuk mengetahui ketahanan konduktor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rumus sebagai berikut:

$$I = \frac{79,25 \times S}{\sqrt{t}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan: I = Arus yang terjadi (A)

S = Luas penampang konduktor (mm²)

t = waktu ketahanan pembebanan arus (s)

Dibawah ini merupakan standar luas penampang konduktor AAAC berdasarkan SPLN 64:1985 Tabel VIII.

Tabel 2.1. Standar KHA Konduktor AAAC berdasarkan SPLN 64:1985

Luas Penampang (mm ²)	KHA terus menerus penghantar AAAC (A)
16	105
25	135
35	170
50	210
70	255
95	320
120	365
150	425
185	490
240	585

(Sumber: PLN