

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Untuk membantu menyelesaikan pembuatan Proyek Akhir ini, maka beberapa materi referensi digunakan sebagai acuan penulis:

1. Blackburn, J. Lewis dan Thomas J. Domin. Taylor & Francis Group, LLC : 2007, dalam *Hand Book "Protective Relay Principles and Applications"*, nilai reaktansi telah ditunjukkan hanya untuk generator dan transformer. Secara teoritis, nilai-nilai impedansi harus digunakan, tetapi resistensi unit-unit ini kecil dan dapat diabaikan untuk studi kesalahan. Namun, jika beban dimasukkan, nilai impedansi harus digunakan kecuali nilainya kecil dalam kaitannya dengan reaktansi. Adalah penting bahwa semua nilai harus ditentukan dengan basis (tegangan jika ohm digunakan, atau MVA (kVA) dan kV jika per-satuan atau persen impedansi digunakan). Sebelum menerapkan ini ke jaringan urutan, semua nilai harus diubah menjadi satu basis umum. Biasanya, nilai per-satuan (persen) digunakan, dan basis umum dalam praktiknya adalah 100 MVA pada sistem kV tertentu.
2. Kadir, Abdul. ISTN: 2000, dalam bukunya yang berjudul "Distribusi dan Utilitas Tenaga Listrik", jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga listrik yang menyalurkan daya listrik dari gardu induk sub transmisi ke gardu distribusi. Jaringan ini merupakan jaringan tegangan menengah atau jaringan tegangan primer.
3. Basri, Hasan. ISTN: 1997, dalam bukunya yang berjudul "Sistem Distribusi Tenaga Listrik", menjelaskan tentang perhitungan arus gangguan dan aplikasi perhitungan arus gangguan hubung singkat dan setelan relai.
4. Sarimun, Ir. Wahyudi. Garamond: 2012, dalam bukunya yang berjudul "Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik" tentang karakteristik waktu kerja *instant (moment)* dan karakteristik waktu kerja *inverse*.

5. PT. PLN (Persero), dalam Buku SPLN 64:1985 tentang nilai impedansi urutan positif dan impedansi urutan nol kabel penghantar tipe AAAC.

## **2.2. Landasan Teori**

### **2.2.1. Sistem Distribusi**

#### **1. Sistem Distribusi Primer**

Sistem jaringan distribusi primer adalah bagian dari sistem tenaga listrik diantara Gardu Induk (GI) dan Gardu Distribusi. Jaringan distribusi primer ini umumnya terdiri dari jaringan tiga *phasa*, yang jumlahnya tiga kawat atau empat kawat. Penurunan tegangan transmisi dimulai dari pada gardu induk sub transmisi, dimana tegangan diturunkan ke tegangan yang lebih rendah mulai 500 kV ke sistem tegangan 150 KV atau ke sistem 70 kV, kemudian tegangan diturunkan ke tegangan 20 kV melalui gardu distribusi.

Pada sistem jaringan distribusi primer saluran yang digunakan untuk menyalurkan daya listrik pada masing-masing beban disebut penyulang (*feeder*). Sistem penyaluran daya listrik pada sistem jaringan distribusi primer dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

##### **a. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 6-20 kV**

Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel telanjang (tanpa isolasi) seperti kawat AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*), ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*), dll.

##### **b. Saluran Kabel Udara Tengah Menengah (SKUTM) 6-20 kV**

Jenis penghantar yang dipakai adalah kawat berisolasi seperti MVTIC (*Medium Voltage Twisted Insulated Cable*).

##### **c. Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) 6-20 kV**

Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel tanam berisolasi PVC (*Poly Venly Chloride*), XLPE (*Crosslink Polyethelene*).

## 2. Sistem Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder merupakan bagian dari jaringan distribusi primer dimana jaringan ini berhubungan langsung dengan konsumen tenaga listrik. Pada jaringan distribusi sekunder, sistem tegangan distribusi 20 kV diturunkan menjadi sistem tegangan rendah 380/220 V. Sistem penyaluran daya listrik pada jaringan distribusi sekunder dapat dibedakan menjadi dua:

### a. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

Jenis penghantar yang dipakai adalah kawat berisolasi, seperti kabel berisolasi seperti kabel LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*). Transmisi SUTR adalah bagian hilir dari sistem tenaga listrik pada tegangan distribusi, yang langsung memasok kebutuhan listrik tegangan rendah konsumen. Di Indonesia, tegangan operasi distribusi SUTR saat ini adalah 380/220 V.

### b. Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR)

Ditinjau dari segi fungsi, distribusi SKTR memiliki fungsi yang sama dengan distribusi SUTR. Perbedaan mendasar adalah SKTR ditanam di dalam tanah. Jika menggunakan SUTR sebenarnya dari segi jarak aman/ruang bebas (ROW) tidak ada masalah, karena SUTR menggunakan penghantar berisolasi.

## 2.2.2. Pengaman Sistem Distribusi

### 1. Pelebur (*Fuse*)

Pelebur (*Fuse*) atau *Fuse Cut Out* adalah suatu alat pemutus yang dengan meleburnya bagian dari komponen yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya. Memutuskan rangkaian dimana pelebur tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai tertentu. Elemen pelebur yang merupakan pemutus sirkuit dipanasi langsung oleh arus yang mengalir melewatinya dan akan rusak/putus bila dialiri arus lebih seperti keadaan beban lebih atau hubung singkat. Jadi pelebur dirancang meleleh pada waktu tertentu pada nilai arus gangguan tertentu.

## 2. Pemutus Rangkaian (*Circuit Breaker/CB*), Pemutus (PMT)

Pemutus rangkaian adalah saklar yang didesain untuk memutuskan arus gangguan hubung singkat, menghilangkan gangguan permanen dengan cara memisahkan dari bagian yang terganggu, bekerja secara otomatis.

## 3. Saklar Pemisah Beban (*Load Break Switch/LBS*)

LBS (*Load Break Switch*) adalah saklar yang didesain untuk memutuskan rangkaian listrik/arus beban pada kondisi berbeban yang hanya dipasang bersama dengan pemutus beban atau *recloser* yang berfungsi sebagai pengaman *back-up* nya, bekerja secara manual. LBS tidak mempunyai karakteristik waktu-arus (*instant*), sehingga pemutusan dilakukan oleh pengaman *back-up* nya.

## 4. Penutup Balik (*Recloser*)

Penutup balik (*Recloser*) adalah alat pelindung arus lebih yang waktu membuka-menutupnya dapat diatur guna menghilangkan gangguan sementara, atau memutus gangguan permanen, bekerja secara otomatis. *Recloser* dilengkapi dengan alat pengindra arus (relai arus).

## 5. *Arrester*

*Arrester* adalah alat untuk melindungi isolasi atau peralatan listrik terhadap tegangan lebih, yang diakibatkan karena sambaran petir atau tegangan transient dengan mengalirkan arus kejut ke tanah serta membatasi berlangsungnya arus ikutan dan mengembalikan keadaan jaringan pada kondisi semula tanpa mengganggu sistem tenaga listrik. Dimana peralatan ini terpasang pada jaringan udara tegangan menengah.

## 6. Relai (*Relay*)

Relai (*Relay*) adalah alat yang peka terhadap perubahan pada rangkaian yang dapat mempengaruhi bekerjanya alat lain.

### 2.2.3. Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat, dapat terjadi antar fasa (tiga fasa atau dua fasa), dua fasa ketanah dan satu fasa ketanah yang sifatnya temporer atau permanen.

#### 1. Gangguan Permanen

Gangguan hubung singkat permanen, biasa terjadi pada kabel atau belitan trafo tenaga yang disebabkan karena arus gangguan hubung singkat antar fasa atau fasa-tanah, sehingga penghantar menjadi panas yang berpengaruh pada isolasi tembus. Pada generator, yang disebabkan adanya gangguan hubung singkat atau pembebanan yang melebihi kemampuan generator. Sehingga rotor memasok arus dari eksitasi berlebih yang dapat menimbulkan pemanasan pada rotor yang dapat merusak isolasi tembus, terjadilah hubung singkat.

#### 2. Gangguan Temporer

Gangguan ini biasanya terjadi pada saluran udara tegangan menengah yang tidak mempengaruhi isolasi, antara lain:

- a. Disebabkan karena adanya sambaran petir pada penghantar listrik yang tergelar di udara (saluran udara tegangan menengah) yang menyebabkan *flashover* antara penghantar dengan *traves* melalui isolator.
- b. Pengantar tertiuap angin yang dapat menimbulkan gangguan antar fasa atau penghantar fasa menyentuh pohon yang dapat menimbulkan gangguan fasa ke tanah.

Gangguan ini yang tembus (*breakdown*) adalah isolasi udaranya, oleh karena itu tidak ada kerusakan yang permanen. Setelah arus gangguannya terputus, misalnya karena terbukanya *circuit breaker* oleh relai pengamannya, peralatan atau saluran yang terganggu tersebut siap dioperasikan kembali. Gangguan hubung singkat dapat merusak peralatan, antara lain:

#### a. Secara Thermis

Thermis atau pemanasan berlebih pada peralatan listrik yang dilalui oleh arus gangguan dapat merusak peralatan listrik. Panas

yang terjadi akan menaikkan suhu penghantar yang dilalui oleh arus gangguan. Jika terlalu lama, suhu penghantar akan naik sehingga dapat merusak isolasinya atau mempercepat penuaannya. Arus juga dapat merusak atau menghancurkan selain isolasi juga penghantar tersebut.

b. Secara Mekanis

Mekanis atau gaya tarik-menarik/tolak-menolak pada penghantar fasa yang terganggu karena adanya frekuensi elektris yang dapat menimbulkan frekuensi mekanis.

Dimana arus gangguan hubung singkat yang terjadi dapat menimbulkan gaya tarik-menarik atau tolak-menolak pada penghantar yang dilalui arus gangguan tersebut. Seperti material busbar, belitan pada trafo tenaga atau generator listrik, material ini harus memiliki kekuatan mekanis sehingga tahan terhadap gaya-gaya mekanis tersebut. Misal pada trafo tenaga saat terjadi gangguan listrik di sisi sekunder maka belitannya akan mengalami gaya radial dan *axial* yang dapat mengendurkan jepitan dan belitannya.

#### 2.2.4. Impedansi Saluran Distribusi

Nilai impedansi dari saluran distribusi tergantung dari jenis penghantar yang digunakan. Pada jaringan distribusi nilai reaktansi urutan positif dan negatifnya sama, jadi  $X_1=X_2=X_L$ . Impedansi urutan nolnya tergantung pada macam penghantarnya. Berdasarkan SPLN 64:1985, nilai impedansi urutan positif dan impedansi urutan nol untuk kabel AAAC sebagai berikut:

**Tabel 2.1.** Tahanan ( R ) dan reaktansi (  $X_L$  ) penghantar AAAC tegangan 20 kV (SPLN 64: 1985)

| Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Jari <sup>2</sup> mm | Urut | GMR (mm) | Impedansi urutan positif (Ohm / km) | Impedansi urutan Nol (Ohm / km) |
|-----------------------------------|----------------------|------|----------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 16                                | 2,2563               | 7    | 1,6380   | 2,0161 + j 0,4036                   | 2,1641 + j 1,6911               |
| 25                                | 2,8203               | 7    | 2,0475   | 1,2903 + j 0,3895                   | 1,4384 + j 1,6770               |

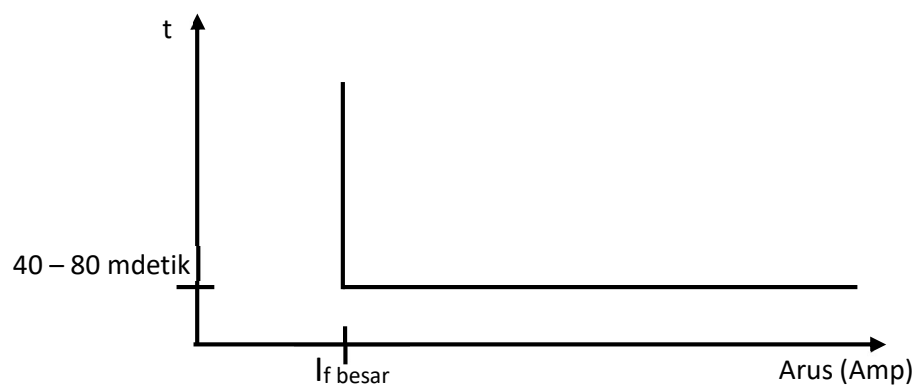
| Luas Penampang (mm <sup>2</sup> ) | Jari <sup>2</sup> mm | Urut | GMR (mm) | Impedansi urutan positif (Ohm / km) | Impedansi urutan Nol (Ohm / km) |
|-----------------------------------|----------------------|------|----------|-------------------------------------|---------------------------------|
| 35                                | 3,3371               | 7    | 2,4227   | 0,9217 + j 0,3790                   | 1,0697 + j 1,6665               |
| 50                                | 3,9886               | 7    | 2,8957   | 0,6452 + j 0,3678                   | 0,7932 + j 1,6553               |
| 70                                | 4,7193               | 7    | 3,4262   | 0,4608 + j 0,3572                   | 0,6088 + j 1,6447               |
| 95                                | 5,4979               | 19   | 4,1674   | 0,3096 + j 0,3449                   | 0,4876 + j 1,6324               |
| 120                               | 6,1791               | 19   | 4,6837   | 0,2688 + j 0,3376                   | 0,4168 + j 1,6324               |
| 150                               | 6,9084               | 19   | 5,2365   | 0,2162 + j 0,3305                   | 0,3631 + j 1,6180               |
| 185                               | 7,6722               | 19   | 5,8155   | 0,1744 + j 0,3239                   | 0,3224 + j 1,6114               |
| 240                               | 8,7386               | 19   | 6,6238   | 0,1344 + j 0,3158                   | 0,2824 + j 1,6034               |

### 2.2.5. Karakteristik Arus-Waktu

Hubungan kerja antara besar arus dan waktu kerja, antara lain:

#### 1. Karakteristik Waktu *Instant* (*Moment*)

Setelannya tanpa waktu tunda, tapi masih bekerja dengan waktu cepat sebesar 50 s/d 100 milidetik. Bekerjanya didasarkan pada besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih. Pada setelan koordinasi proteksi di sistem distribusi tegangan menengah disebut setelan karakteristik waktu *moment* / *instant* / cepat.



**Gambar 2.1** Grafik karakteristik waktu *moment*

#### 2. Karakteristik Waktu *Inverse*

Setelan proteksi dengan mempergunakan karakteristik waktu *inverse* adalah karakteristik yang grafiknya terbalik antara arus dan waktu. Dimana makin besar arus gangguan, semakin kecil waktu yang

dibutuhkan untuk memutus PMT. Karakteristik inverse sesuai dengan IEC 60255-3 dan BS 142 1996, sebagai berikut:

Waktu kerja *Recloser* :

$$t = \frac{\beta}{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^\alpha - 1} \times T_{ms} \dots\dots\dots(2.1)$$

Waktu tunda :

$$T_{ms} = \frac{\left(\frac{I_f}{I_{set}}\right)^\alpha - 1}{\beta} \times t \dots\dots\dots(2.2)$$

**Tabel 2.2** Faktor  $\alpha$  dan  $\beta$  tergantung pada kurva arus vs waktu

| <b>Nama Kurva</b>        | $\alpha$ | $\beta$ |
|--------------------------|----------|---------|
| <i>Standart Inverse</i>  | 0,02     | 0,14    |
| <i>Very Inverse</i>      | 1        | 13,2    |
| <i>Extremely Inverse</i> | 2        | 80      |
| <i>Long Inverse</i>      | 1        | 120     |

#### 2.2.6. Koordinasi Alat Proteksi

Proses memilih alat proteksi arus lebih dengan setelan/kurva waktu-arus tertentu, waktu urutan operasi kerjanya yang diatur disesuaikan dengan alat proteksi lainnya dan diterapkan pada jaringan distribusi, supaya gangguan yang terjadi pada saluran dapat dihilangkan, dikenal sebagai “koordinasi”.

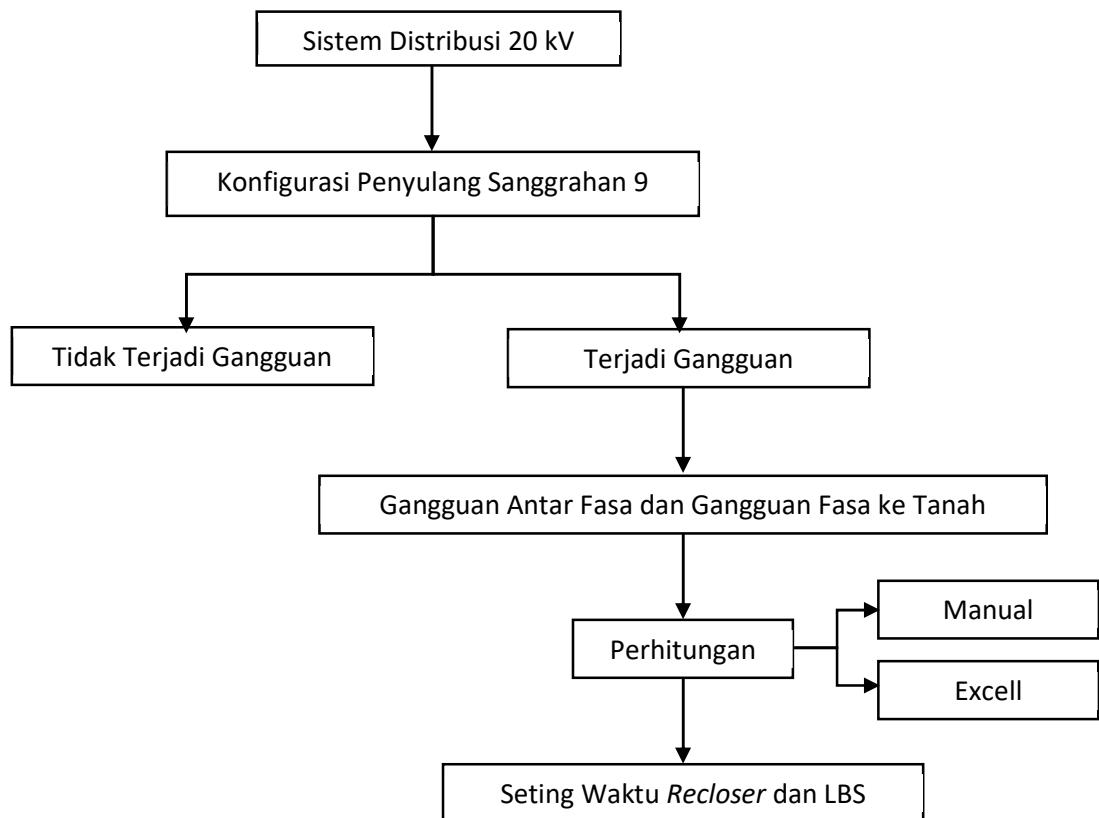
Bila terdapat dua alat pengaman yang terpasang dalam seri yang mempunyai karakteristik yang dilengkapi dengan urutan operasinya yang tertentu disebut ter-koordinasi atau selektif. Disini, alat tersebut yang disetel untuk bekerja terlebih dahulu guna memisahkan gangguan (atau memutus arus gangguan)didefinisikan sebagai alat proteksi (*protecting device*). Biasanya alat pelindung ini berdekatan dengan gangguan. Peralatan yang bertindak sebagai pelindung cadangan (*back up protection*), bekerja hanya bila alat proteksi gagal bekerja untuk menghilangkan gangguan, didefinisikan sebagai alat yang diproteksi (*protected device*). Manfaat dari koordinasi alat proteksi ini adalah:



1. Menghilangkan pemadaman akibat gangguan sementara.
2. Meminimalisir daerah/bagian yang terganggu supaya dapat mengurangi jumlah pelanggan yang mengalami pemadaman akibat gangguan yang terjadi.
3. Menentukan tempat terjadinya gangguan, dengan demikian lamanya waktu pemadaman dapat dipersingkat (*minimum*).

### 2.3. Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran yang dibahas dalam proyek akhir ini adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.2** Diagram perancangan penelitian