

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Desain Penelitian**

Penelitian dilakukan dengan menggunakan data yang diperlukan untuk melakukan analisis koordinasi OCR dan *setting* ulang OCR di Penyulang SGN 04 Gardu Induk Sanggrahan. Setelah mendapatkan data yang diperoleh dari Gardu Induk Sanggrahan berupa data spesifikasi peralatan dan proteksi Gardu Induk Sanggrahan, selanjutnya data tersebut diolah untuk mendapatkan nilai gangguan hubung singkat pada simulasi lokasi gangguan yang ditetapkan.. Selain itu, dihitung juga secara matematis dan simulasi menggunakan ETAP 12.6.0 untuk mendapatkan nilai waktu kerja OCR ketika terjadi gangguan hubung singkat dan overload agar dapat dilakukan *setting* ulang OCR sehingga peralatan listrik pada penyulang SGN 04 mendapatkan proteksi yang baik.

#### **3.2 Tempat Penelitian**

Proses pengambilan data pada penelitian ini berasal dari Penyulang SGN 04 Gardu Induk Sanggrahan. Gardu induk ini merupakan salah satu gardu induk yang berada di Jawa Tengah. Alamat lengkapnya berada di Jl. Urip Sumoharjo No. 82 C, Magelang, Jawa Tengah, Indonesia.

#### **3.3 Pengumpulan Data**

Dalam penelitian ini, pengumpulan data yang berkaitan dengan penelitian dilakukan dengan tahap-tahap yang memiliki tujuan untuk mencari dan menjawab permasalahan.

##### **1. Studi Literatur**

Mengkaji teori sebagai penunjang penelitian yang berasal buku, internet, jurnal nasional, jurnal internasional, dan artikel ilmiah yang berhubungan dengan penelitian ini, khususnya dalam bidang sistem proteksi yang berhubungan dengan koordinasi OCR.

##### **2. Diskusi**

Diskusi dilakukan dengan dosen pembimbing berkaitan dengan topik skripsi ini, yaitu mengenai sistem proteksi tenaga listrik, khususnya mengenai sistem koordinasi OCR.

### 3. Observasi

Observasi dilakukan dengan pengumpulan data-data yang berupa *one line* diagram Gardu Induk Sanggrahan, data teknis Transformator tenaga pada Gardu Induk Sanggrahan, spesifikasi OCR sisi *incoming* pada Gardu Induk Sanggrahan, spesifikasi OCR sisi *outgoing* penyulang SGN 04 20 kV.

### 3.4 Data Penelitian

Dalam penelitian ini, dibutuhkan data-data pendukung yang menunjang agar tujuan penelitian tercapai. Adapun data-data tersebut adalah sebagai berikut:

#### 3.4.1 Data Penyulang SGN 04

Dalam penyaluran tenaga listrik, penyulang SGN 04 memiliki panjang penghantar 23 km. Dalam pembahasan ini, akan dihitung arus hubung singkat yang terjadi di penyulang tersebut.

Tabel 3.1 Kapasitas Penyulang SGN 04

| Penyulang | Panjang (km) | Arus (A) | Beban (MVA) | Tegangan Pangkal Terukur (kV) |
|-----------|--------------|----------|-------------|-------------------------------|
| SGN 04    | 23           | 247,3    | 8,9         | 21                            |

#### 3.4.2 Data Gardu Induk Sanggrahan

Gardu Induk yang berlokasi di Jawa Tengah ini, tegangan tinggi 150 kV diturunkan menjadi tegangan menengah 20 kV dan disalurkan ke penyulang distribusi melalui tiga transformator tenaga 150/20 kV dengan beban maksimal masing-masing transformator sebesar 60 MVA. Agar transformator tidak mengalami kerusakan dan gangguan tidak meluas jika penyaluran energi listrik mengalami gangguan, khususnya gangguan hubung singkat yang dapat mengakibatkan arus berlebih maka diperlukan *setting* OCR yang sangat baik. Adapun data-data yang diperlukan untuk melakukan analisis tersebut adalah sebagai berikut:

## 1. Transformator 2

### a. Data Transformator Tenaga

|                            |             |
|----------------------------|-------------|
| Merk                       | : UNINDO    |
| Daya                       | : 60 MVA    |
| Tegangan                   | : 150/20 KV |
| Impedansi (Z%)             | : 12,45     |
| Rasio CT (20 kV)           | : 2000/5    |
| Hub. Belitan Transformator | : YNyn0+d   |
| Jumlah Tap                 | : 18        |

### b. Data OCR sisi *Incoming* 20 kV

|                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| Merk                 | : ALSTOM          |
| Type                 | : MICOM P141      |
| Karakteristik        | : Standar Inverse |
| I <i>setting</i> OCR | : 0,92 A          |
| Ratio CT             | : 300/1           |
| TMS OCR              | : 0,33            |

### c. Data OCR sisi *Outgoing* SGN 04 20KV

|                      |                   |
|----------------------|-------------------|
| Merk                 | : ALSTOM          |
| Type                 | : MICOM P141      |
| Karakteristik        | : Standar Inverse |
| I <i>setting</i> OCR | : 5,2 A           |
| Ratio CT             | : 2000/5          |
| TMS OCR              | : 0,15            |

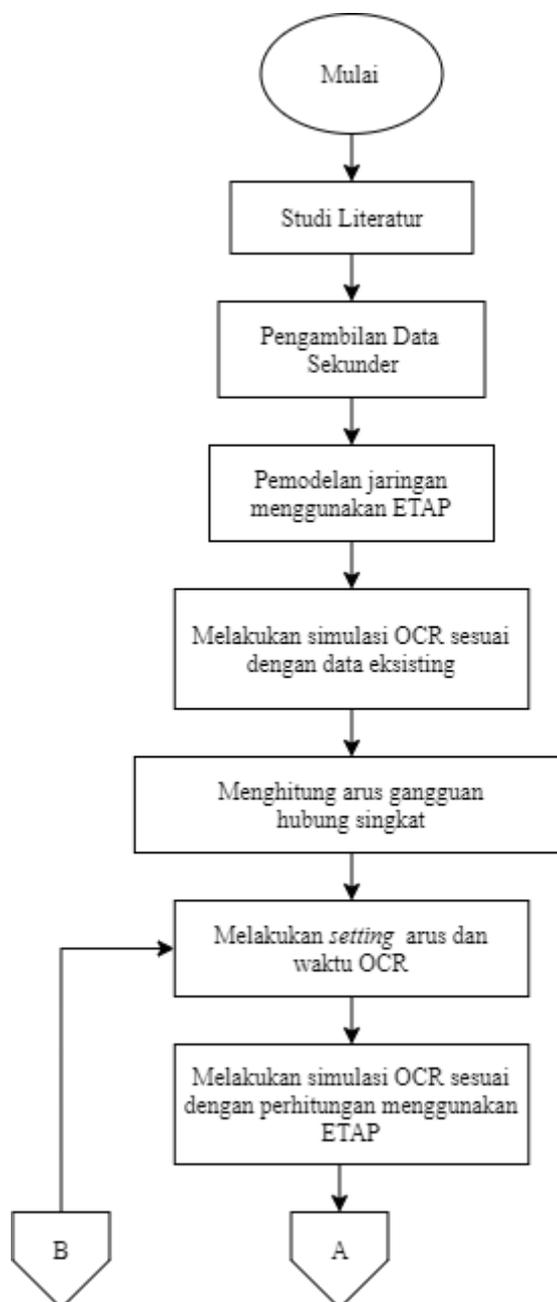
### d. Data Penghantar

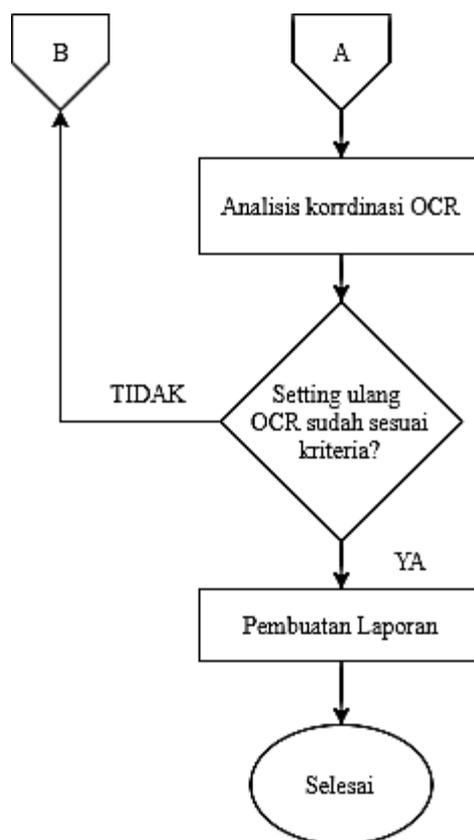
Tabel 3.2 Data Penghantar Penyulang SGN 04

| Jenis penghantar | KHA   | Ukuran (mm <sup>2</sup> ) | Panjang Penghantar (Km) | Impedansi urutan positif (Z <sub>1</sub> ) | Impedansi urutan nol (Z <sub>0</sub> ) |
|------------------|-------|---------------------------|-------------------------|--|--|
| A3C              | 585 A | 240 mm <sup>2</sup>       | 23 km                   | 0,1344 +<br>j0,3158                        | 0,2826 +<br>j1,6033                    |

### 3.5 Prosedur Penelitian

Dalam melaksanakan penelitian ini, dilakukan prosedur-prosedur penelitian berikut agar tujuan penelitian dapat tercapai. Berikut tahapan prosedur penelitian yang dilakukan:





Gambar 3.1 *Flowchart* Penelitian

Dari *flowchart* penelitian pada gambar 3.1, berikut adalah penjelasan singkat mengenai *flowchart* tersebut:

### 1. Studi Literatur

Kegiatan Studi Literatur yaitu kegiatan yang dilakukan untuk mencari informasi sebagai dasar teori dalam pelaksanaan penelitian. Dasar teori yang dikaji berasal dari buku, jurnal, maupun internet.

### 2. Pengambilan Data Sekunder

Penelitian ini mengambil data sekunder pada penyulang SGN 04 Gardu Induk Sanggrahan yang dijadikan acuan data untuk melakukan analisis koordinasi OCR pada kondisi eksisting dan melakukan *setting* ulang untuk perbaikan koordinasi OCR.

### **3. Pemodelan Jaringan Menggunakan ETAP**

Pada tahap ini, dilakukan pembuatan *one line diagram* penyulang SGN 04 Gardu Induk Sanggrahan menggunakan ETAP 12.6.0 yang selanjutnya akan dilakukan analisis dari pemodelan jaringan tersebut.

### **4. Melakukan Simulasi OCR Sesuai dengan Data Eksisting**

Dari data *setting* OCR eksisting yang didapatkan, dilakukan simulasi menggunakan *software* ETAP. Hasil simulasi ini akan menunjukkan kurva koordinasi OCR *setting* eksisting. Dari kurva tersebut dapat dilihat koordinasi *setting* OCR eksisting

### **5. Menghitung Arus Gangguan Hubung Singkat**

Setelah mendapatkan data simulasi simulasi OCR menggunakan data eksisting, selanjutnya dilakukan perhitungan arus gangguan hubung singkat. Perhitungan arus hubung singkat pada penelitian ini dihitung untuk arus gangguan hubung singkat 3 fasa dan gangguan hubung singkat fasa ke fasa dengan lokasi gangguan 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% panjang penyulang.

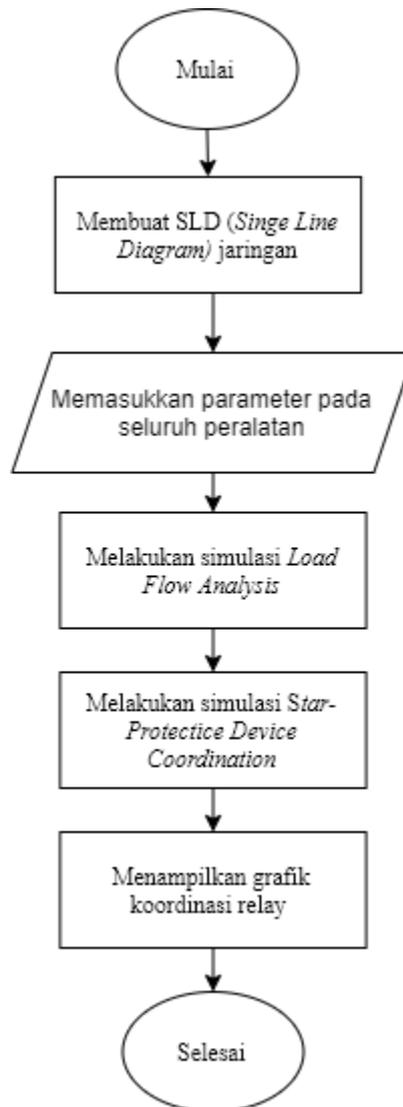
### **6. Melakukan *Setting* Arus dan Waktu OCR**

Pada tahap ini, dilakukan *setting* arus dan waktu OCR yang digunakan untuk menghitung nilai TMS setiap relay. Hasil dari perhitungan ini dilakukan untuk menghitung waktu kerja relay yang akan dilakukan koordinasi antar relay tersebut.

### **7. Melakukan Simulasi OCR Sesuai dengan Pethitungan Menggunakan ETAP**

Hasil perhitungan OCR, selanjutnya dilakukan simulasi dengan aplikasi ETAP 12.6.0. ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) Power Station merupakan sebuah *software* yang digunakan untuk melakukan simulasi sistem tenaga listrik. Fitur yang terdapat pada ETAP bermacam-macam, salah satunya dapat digunakan untuk melakukan simulasi koordinasi proteksi. Hasil dari simulasi ini berupa kurva koordinasi OCR. Dari kurva ini dapat dilihat koordinasi antar OCR dan selektifitas sistem pengamanan hubung singkat pada penyulang SGN 04.

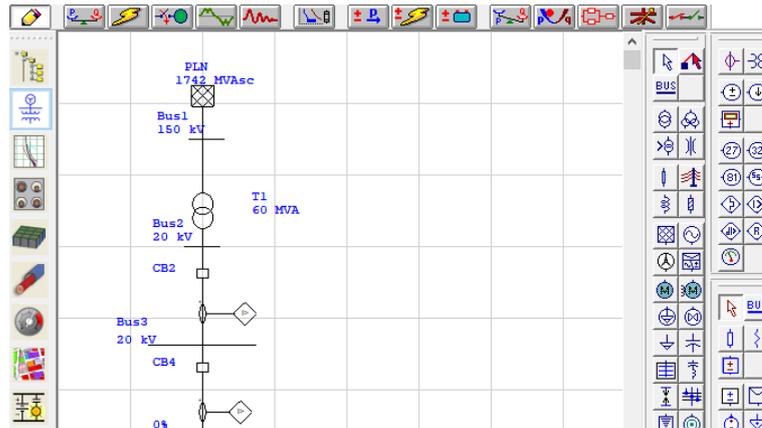
Langkah-langkah dalam melakukan simulasi pada aplikasi ETAP ditunjukkan pada *flowchart* berikut:



Gambar 3.2 *Flowchart* Simulasi Menggunakan ETAP 12.6.0.

a. Membuat SLD (*Single Line Diagram*)

Langkah pertama yang harus dilakukan adalah membuat SLD jaringan Penyulang SGN 04 Gardu Induk Sanggrahan. Untuk membuat SLD jaringan, terdapat pilihan di bagian *select mode* dan memasukkan komponen-komponen peralatan jaringan pada bagian *edit toolbar*.



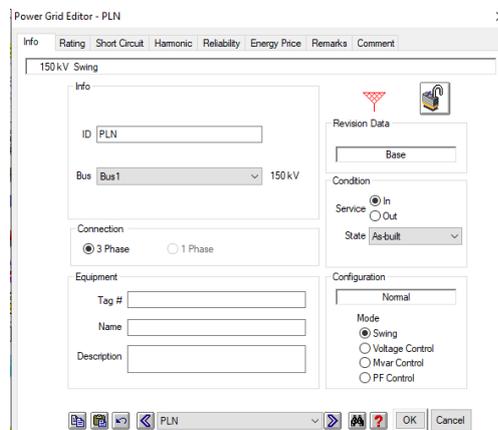
Gambar 3.3 Tampilan Pembuatan *Single Line Diagram*

b. Memasukkan Parameter pada Seluruh Peralatan

Setelah membuat SLD jaringan, langkah selanjutnya adalah memasukkan seluruh parameter pada seluruh peralatan sesuai dengan data dan perhitungan yang telah didapatkan. Parameter ini sangat berpengaruh terhadap simulasi yang dijalankan pada ETAP, sehingga parameter yang dimasukkan harus selengkap mungkin.

1) *Power Grid*

*Power grid* merupakan sumber energi dari sistem. Dalam simulasi ini, power grid merupakan Gardu Induk Sanggrahan yang memasok tenaga listrik pada Penyulang SGN 04 dengan *rating* tegangan 150 kV. Pada simulasi ini, mode *power grid* dipilih menggunakan mode *Swing*. Mode ini dimodelkan sebagai penyuplai beban yang dinamis.



Gambar 3.4 Pengisian Parameter Power Grid

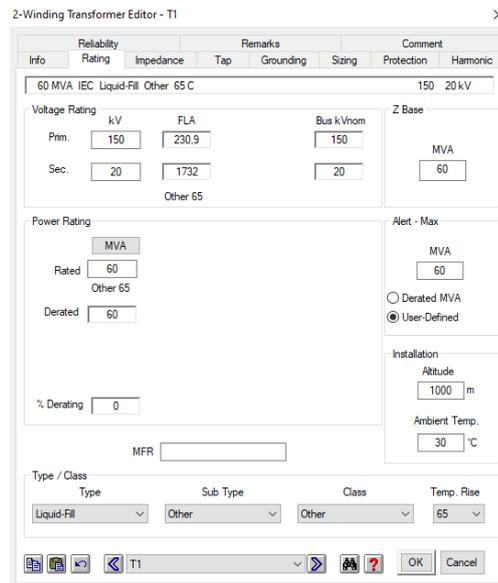
## 2) Bus

Bus merupakan salah satu bagian pada sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menghubungkan dan menyalurkan tenaga listrik dari suatu peralatan ke peralatan lainnya. Dalam pengisian parameter bus, nominal tegangan diisi sesuai dengan nominal tegangan pada sistem.

Gambar 3.5 Pengisian Parameter Bus

## 3) *Winding Transformer*

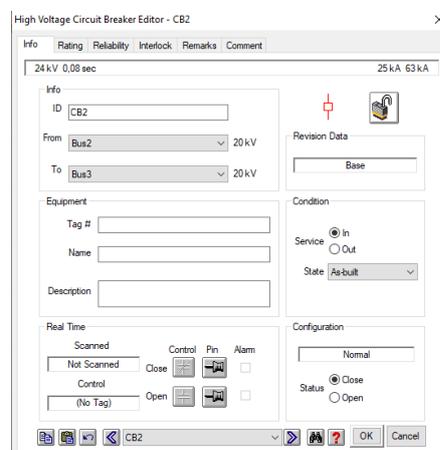
Langkah selanjutnya adalah mengisi parameter pada transformator. Transformator merupakan salah satu komponen penting dalam melakukan simulasi pada ETAP karena digunakan dalam simulasi aliran daya. Transformator menentukan konversi tegangan dari bus satu ke bus lainnya. Parameter yang harus diisi pada transformator di antaranya adalah nominal tegangan primer dan sekunder, kapasistas daya transformator, dan data impedansi transformator yang didapatkan dari data di lapangan dan perhitungan.



Gambar 3.6 Pengisian Parameter *Winding Transformer*

#### 4) *High Voltage Circuit Breaker*

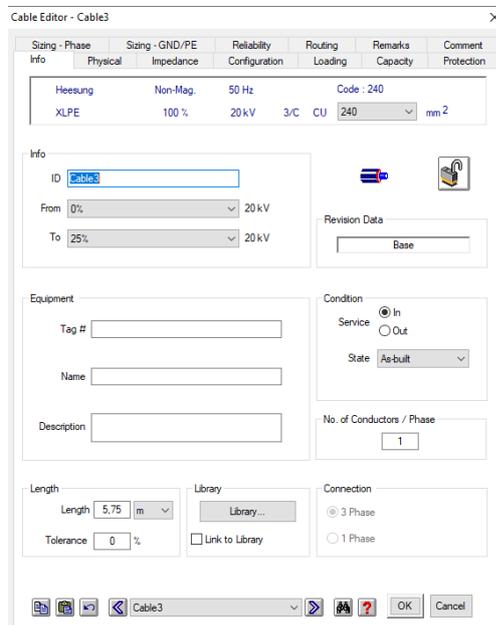
*Circuit breaker* atau pemutus tenaga merupakan komponen yang berfungsi sebagai proteksi untuk memutuskan jaringan jika mengalami gangguan hubung singkat maupun beban berlebih. Pada ETAP 12.6.0, terdapat dua jenis *circuit breaker*, yaitu LVCB (*Low Voltage Circuit Breaker*) dan HVCB (*High Voltage Circuit Breaker*). Dalam simulasi ini digunakan HVCB (*High Voltage Circuit Breaker*) karena memiliki nominal tegangan yang tinggi. Dalam pengisian parameter HVCB, yang harus diperhatikan adalah pengisian *rating* tegangan HVCB, dan *rating* arus maksimal.



Gambar 3.7 Pengisian Parameter *High Voltage Circuit Breaker*

## 5) Cable

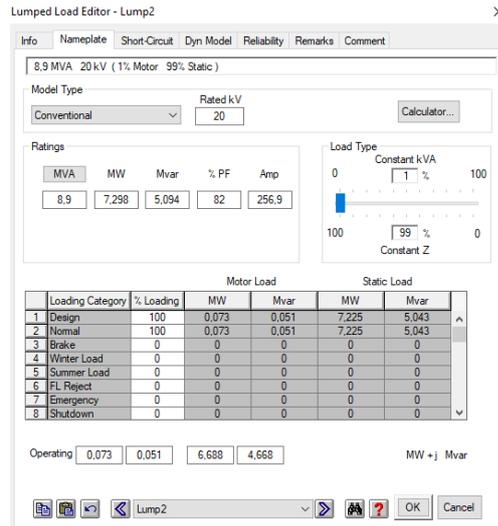
Kabel merupakan penghantar listrik untuk menghubungkan gardu induk ke pusat beban. Pada gambar 3.7 merupakan tampilan pengisian *cable editor* ETAP 12.6.0. Parameter yang harus diisi pada *cable editor* di antaranya adalah panjang penghantar, tebal penghantar, dan impedansi penghantar.



Gambar 3.8 Pengisian Parameter *Cable Editor*

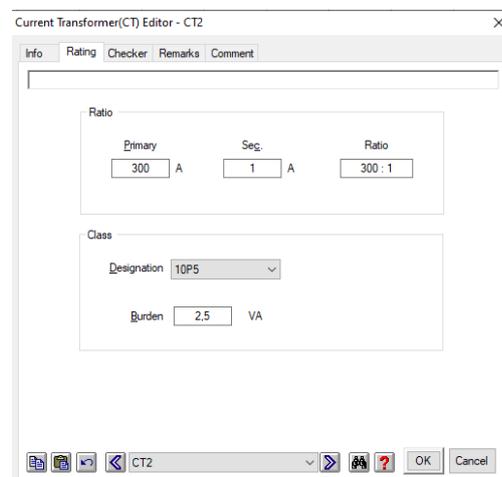
## 6) Lump Load

*Lump Load* merupakan gabungan beban antara beban motor dan beban statis. Pada pengaturan *Lump Load*, dapat diatur perbandingan antara beban motor dan beban statis. Pilihan penggunaan *Lump Load* biasanya digunakan untuk menyederhanakan beban dalam satu bus. Data-data yang diperlukan dalam pengisian parameter *lump load* adalah daya total *Lump Load* (MVA), besar tegangan *lump load* (kV), dan perbandingan antara beban motor dan beban statis (%).

Gambar 3.9 Pengisian Parameter *Cable Editor*

### 7) *Current Transformer*

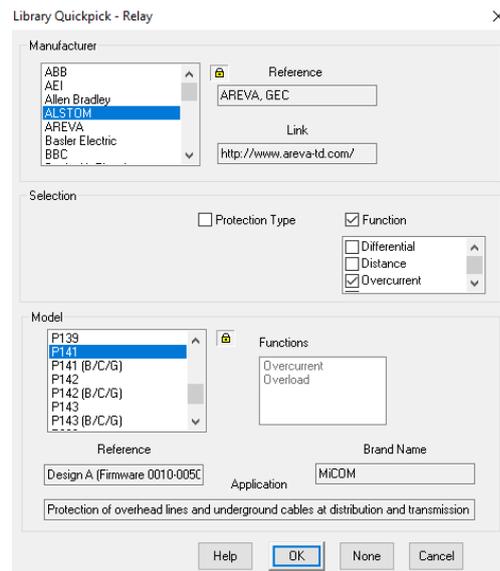
Salah satu peralatan penting dalam sistem proteksi adalah *Current Transformer* (CT). CT berfungsi untuk mengkonversikan arus yang lebih tinggi ke lebih rendah. Arus yang sudah dikonversikan oleh CT kemudian dialirkan ke OCR untuk dideteksi apakah termasuk arus gangguan atau bukan. Parameter CT yang harus diisi adalah rasio primer/sekunder CT, kelas CT, dan beban burden. Dalam pengisian kelas CT, arti dari kode 10P5 adalah error CT maksimum 10% dan *accuracy limit factor* tidak melebihi 5 kali lipat.

Gambar 3.10 Pengisian Parameter *Current Transformer*

### 8) *Over Current Relay*

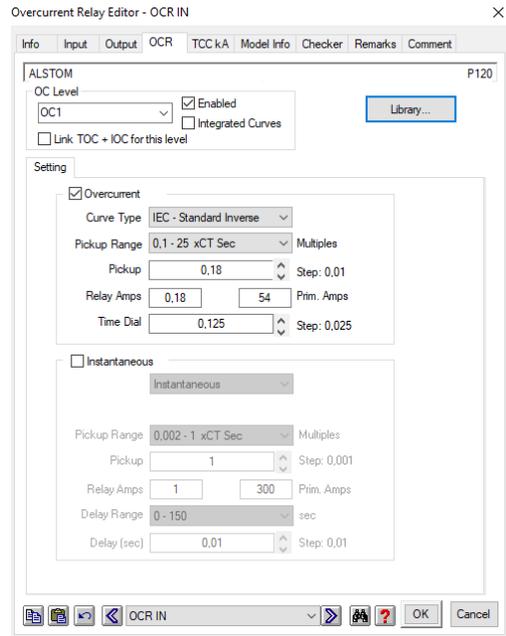
Setelah melakukan pengaturan CT, selanjutnya melakukan penyetelan *Over Current Relay (OCR)*. Pengaturan OCR dilakukan pada *OCR Incoming* dan *OCR Outgoing*. Langkah-langkah dalam pengaturan OCR adalah sebagai berikut:

- Melakukan pemilihan manufaktur pada OCR yang sesuai dengan data di lapangan, yaitu ALSTOM MICOM P141. Manufaktur OCR ini tersedia pada pilihan *library*.



Gambar 3.11 Pemilihan Manufaktur OCR

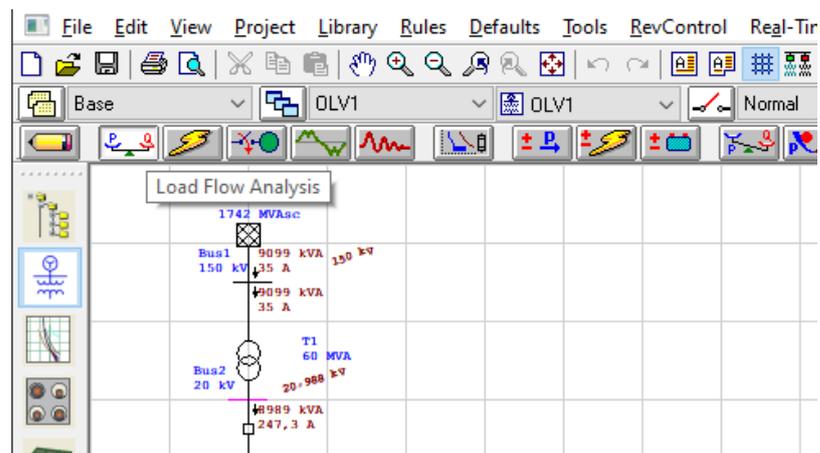
- Selanjutnya adalah pengisian data relay. Data yang harus diisi adalah:
  - a) Tipe kurva. Kurva yang dipilih adalah *standard inverse*
  - b) Arus *pickup* yang didapat dari hasil perhitungan
  - c) Time Dial yang merupakan nilai TMS yang didapatkan dari hasil perhitungan



Gambar 3.12 Pengisian Parameter OCR

c. Melakukan Simulasi *Load Flow Analysis*

Setelah memasukkan seluruh parameter pada SLD, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi *Load Flow Analysis*. Pada gambar 3.12 merupakan tampilan mode *Load Flow Analysis*.

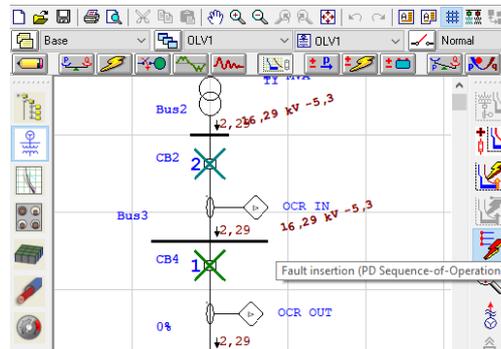


Gambar 3.13 Tampilan Mode *Load Flow Analysis*

Simulasi ini dilakukan untuk melihat aliran daya hasil pemodelan SLD dari keseluruhan jaringan dan membandingkan dengan data eksisting dari lapangan.

d. Melakukan Simulasi *Star-Protective Device Coordination*

Langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi koordinasi OCR dengan menu pilihan *Star-Protective Coordination*. Pada menu ini dapat dipilih bagian bus yang akan disimulasikan mengalami gangguan dengan memilih *run fault insertion*.



Gambar 3.14 Tampilan Simulasi *Star-Protective Coordination*

Hasil simulasi koordinasi relay dapat ditampilkan dengan memilih *sequence viewer*. Pada tampilan ini, dapat dilihat urutan pemutusan jaringan listrik yang dilakukan oleh setiap relay dan *circuit breaker*.

Sequence-of-Operation Events - Output Report: Running Koordinasi OCR

3Phase (Symmetrical) fault on bus: 0%

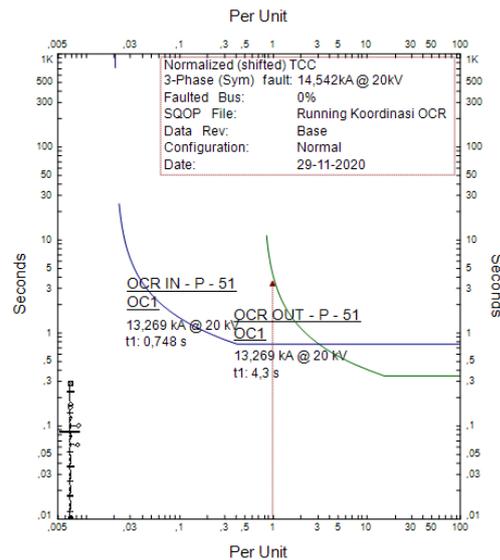
Data Rev.: Base Config: Normal Date: 29-11-2020

| Time (ms) | ID      | I (kA) | T1 (ms) | T2 (ms) | Condition                           |
|-----------|---------|--------|---------|---------|-------------------------------------|
| 748       | OCR IN  | 13.269 | 748     |         | Phase - OC1 - 51                    |
| 831       | CB2     |        | 83.0    |         | Tripped by OCR IN Phase - OC1 - 51  |
| 4300      | OCR OUT | 13.269 | 4300    |         | Phase - OC1 - 51                    |
| 4383      | CB4     |        | 83.0    |         | Tripped by OCR OUT Phase - OC1 - 51 |

Gambar 3.14 Tampilan *Sequence Viewer Star-Protective Coordination*

e. Menampilkan Grafik Koordinasi Relay

Hasil koordinasi OCR yang telah disimulasikan dapat diamati dengan grafik kurva melalui mode *Create Star View*. Pada grafik ini akan terlihat karakteristik OCR yang dipilih. Pada gambar 3.15 merupakan grafik kurva arus terhadap waktu dari OCR *incoming* dan OCR *Outgoing*.



Gambar 3.15 Tampilan Kurva Arus Terhadap Waktu pada *Star View*

## 8. Analisis Koordinasi OCR

Pada tahap ini, setelah melihat kurva koordinasi OCR hasil simulasi, dilakukan analisis koordinasi dari relay-relay tersebut. Koordinasi peralatan proteksi harus memenuhi syarat selektifitas, cepat, andal, dan selektif untuk meminimalisasi daerah padam saat terjadi gangguan hubung singkat. Jika hasil *setting* ulang relay tidak sesuai, maka kembali ke tahap *setting* ulang waktu dan arus OCR. Namun apabila sudah sesuai syarat, maka dapat dilakukan ke tahap pembuatan laporan.

## 9. Pembuatan Laporan

Semua kegiatan penelitian yang telah dilakukan dari awal hingga akhir selanjutnya dilakukan pembuatan laporan. Laporan dibuat sesuai Pedoman Penulisan Karya Ilmiah UPI Tahun 2019.