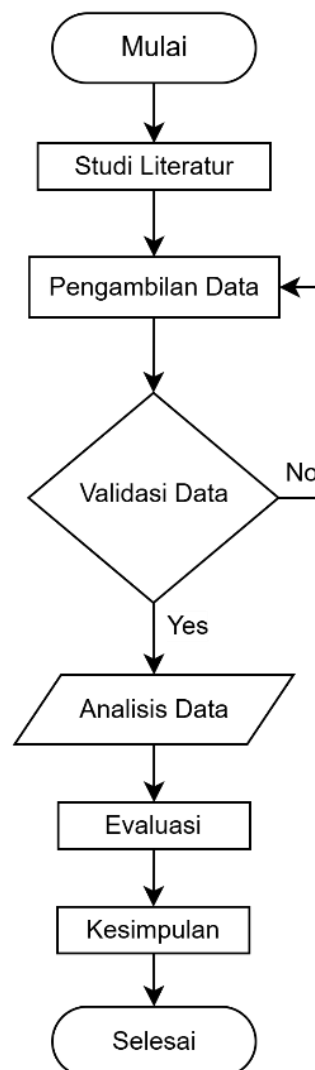


BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Desain Penelitian

Desain penelitian merujuk pada kerangka metodologi yang digunakan serta teknik-teknik yang dipilih dan diterapkan oleh peneliti dalam melaksanakan suatu penelitian, dengan tujuan untuk memperoleh hasil yang valid dan berjalan sesuai dengan rencana yang telah disusun dan ditetapkan dalam *flowchart* pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3. 1 *Flowchart* Desain Penelitian

3.2 Lokasi Penelitian



Gambar 3. 2 Gardu Induk Ujungberung 150 kV

Penelitian ini dilaksanakan di Gardu Induk Ujungberung yang terletak di Jalan Raya Tagog, Cinunuk, Cileunyi, Kabupaten Bandung, Jawa Barat, Indonesia yang merupakan gardu induk di bawah naungan PT PLN (Persero) UIT JBT (Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Tengah) – UPT Bandung (Unit Pelaksana Teknis Bandung) – ULTG Bandung Timur (Unit Layanan Teknis Gardu Induk Bandung Timur).



Gambar 3. 3 Lokasi Gardu Induk Ujungberung
(Sumber: *Google Maps*)

Gardu Induk Ujungberung merupakan salah satu gardu induk di daerah Bandung Timur yang memiliki peran vital dalam memastikan pemasokan energi listrik ke

area-area perumahan, fasilitas publik, dan industri. Visualisasi lokasi penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.3.

3.3 Instrumen Penelitian

Untuk memperoleh data penelitian yang insentif dan komprehensif, peneliti memerlukan instrumen penelitian sebagai alat yang digunakan untuk mengumpulkan data yang diperlukan dalam suatu penelitian. Instrumen ini berperan penting dalam memfasilitasi peneliti untuk mendapatkan informasi yang akurat dan relevan sesuai dengan tujuan penelitian.

3.3.1 Teknik Pengumpulan Data Penelitian

Terdapat uraian prosedur proses pengumpulan data penelitian yang dilakukan oleh peneliti, antara lain:

1. Studi Literatur

Studi literatur yang relevan dan konperhensif digunakan untuk memahami teori, konsep, dan kerangka kinerja terkait relai differensial pada transformator. Beberapa referensi dari jurnal ilmiah, buku, dan sumber terpercaya yang relevan membantu dalam membangun fondasi teoritis yang kuat untuk melaksanakan penelitian ini.

2. Observasi

Observasi akan menjadi salah satu metode utama dalam penelitian ini, yaitu secara langsung mengamati *single line diagram* garud induk peralatan transformator 4, CT, PMT, relai differensial, dan panel proteksi transformator 4 Gardu Induk Ujungberung untuk memahami pemahaman lebih dalam tentang kondisi fisik peralatan, kinerja operasional peralatan, dan kondisi aktual dilapangan terkait sistem proteksi khsusnya relai proteksi differensial yang bekerja pada transformator.

3. Wawancara

Setelah mendapatkan data yang sudah dikumpulkan, selanjutnya akan dilakukan wawancara bersama dosen pembimbing. Dosen pembimbing akan memberikan arahan dan masukan yang diperlukan selama proses penelitian. Kehadirannya akan sangat berharga dan bermanfaat dalam merancang, melaksanakan, dan menyelesaikan penelitian ini secara efektif.

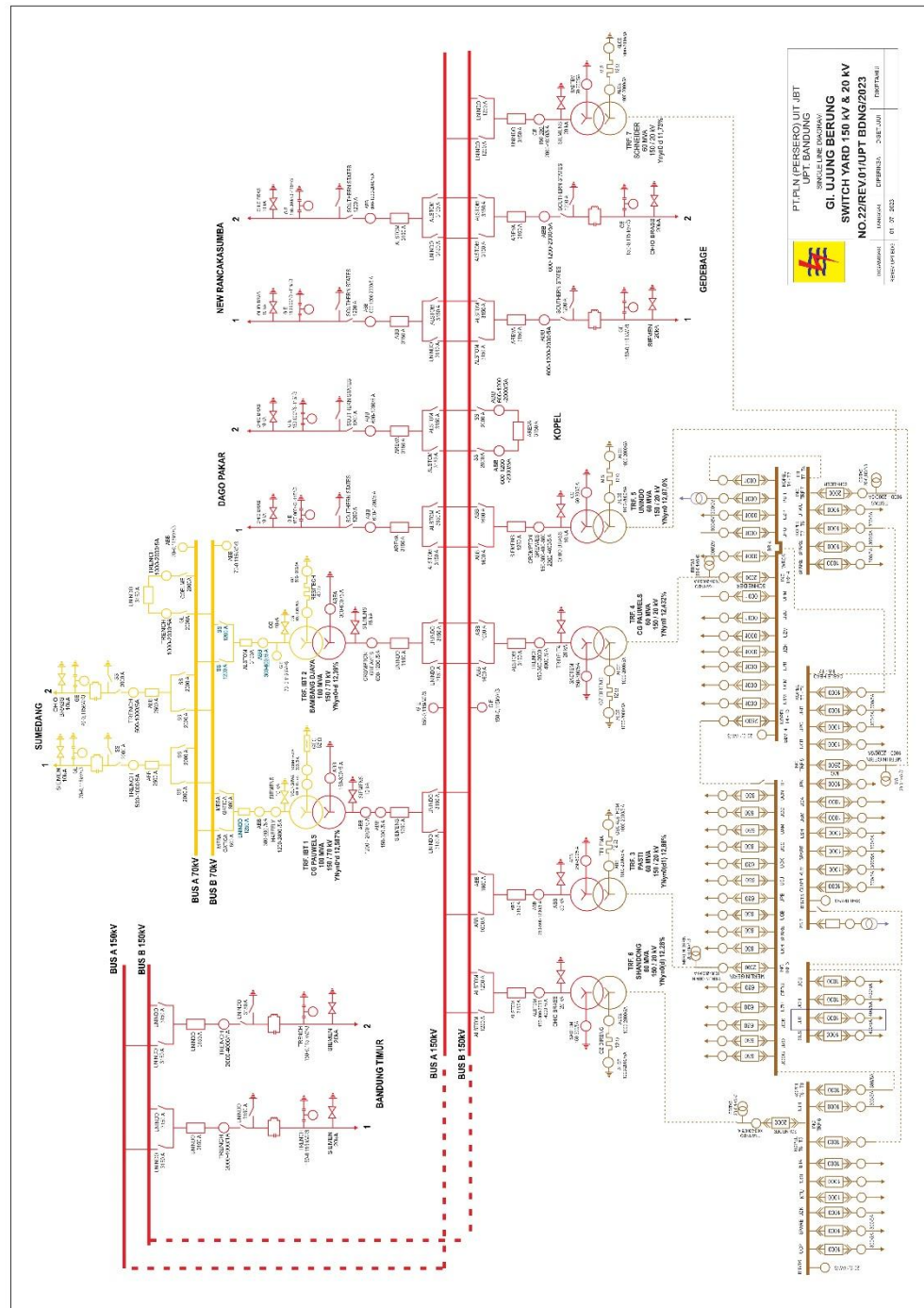
Melalui berbagai prosedur pengumpulan data tersebut, harapannya dapat mengumpulkan data penelitian yang akurat dan presisi sebagai landasan penting dalam melakukan analisis *setting* dan kinerja relai differensial. Data-data tersebut akan sangat membantu dalam mengidentifikasi berbagai *setting* dan kinerja relai differensial, serta ganguannya pada transformator. Melalui pengolahan data ini pula, berharap dapat merumuskan formulasi pengaturan baru yang dapat menjadikan relai diferensial bekerja secara efektif, sensitif, cepat, dan andal.

3.3.2 Data Penelitian

Data yang diperoleh dari Gardu Induk Ujungberung, antara lain:

1. *Single Line Diagram* Gardu Induk Ujungberung 150 kV

Single line diagram adalah bentuk refresentatif visual dari sebuah sistem tenaga listrik yang mencakup komponen-komponen seperti busbar, transformator, CT, PT, PMS dan PMT dengan menggunakan garis dan bentuk yang mewakili setiap komponennya. *Single line diagram* ini memberikan gambaran umum bagaimana aliran listrik dilirkan dari sumber ke beban-beban yang ada, seperti pada gambar di bawah ini.



Pada gambar di atas, memperoleh informasi *switchyard* gardu induk dari sumber listrik sampai dengan dialirkan ke beban-beban yang tersedia.

2. Spesifikasi Transformator

Spesifikasi Transformator 4 Gardu Induk Ujungberung 150 kV adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Spesifikasi Transformator 4

Unit Name	Transformator 4
Merk	CG Pauwels
Serial Number	3011100066
Year of Manufacture	2011
Standard	IEC 60076
Rated Power	150/20KV 60 MVA
Cooling	ONAN/ONAF-60/100%
Frequency	50 Hz
Phases	3
Connection Symbol	Yny0(d)

3. Spesifikasi CT

Spesifikasi *Current Transformer* (CT) pada Transformator 4 Gardu Induk Ujungberung adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Spesifikasi Current Transformer (CT) HV

Unit Name	CT I0SK 170
Year of Manufacture	2011
Merk	Trench
Rasio High Voltage (HV)	300/5 A
Frequency	50 Hz

Tabel 3. 3 Spesifikasi Current Transformer (CT) LV

Unit Name	CT I0SK 170
Year of Manufacture	2011
Merk	Trench
Rasio Low Voltage (LV)	2000/5 A
Frequency	50 Hz

4. Spesifikasi PMT

Spesifikasi Pemutus (PMT) pada Transformator 4 Gardu Induk Ujungberung adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 4 Spesifikasi Pemutus (PMT) 150 kV

Unit Name	GL 313 F1 P
Year of Manufacture	2011
Merk	Alstom

Rate Voltage	170 kV
Rate Normal Current	3150 A
Rate Operating Sequence	O-0.3s-CO-3min-CO

Tabel 3. 5 Spesifikasi Pemutus (PMT) 20 kV

Unit Name	HVX24-25-20E254
Year of Manufacture	2011
Merk	Schneider Electric
Rate Voltage	25 kV
Rate Normal Current	2000 A
Rate Operating Sequence	O-0.3s-CO-15s-CO

5. Spesifikasi Relai Differensial

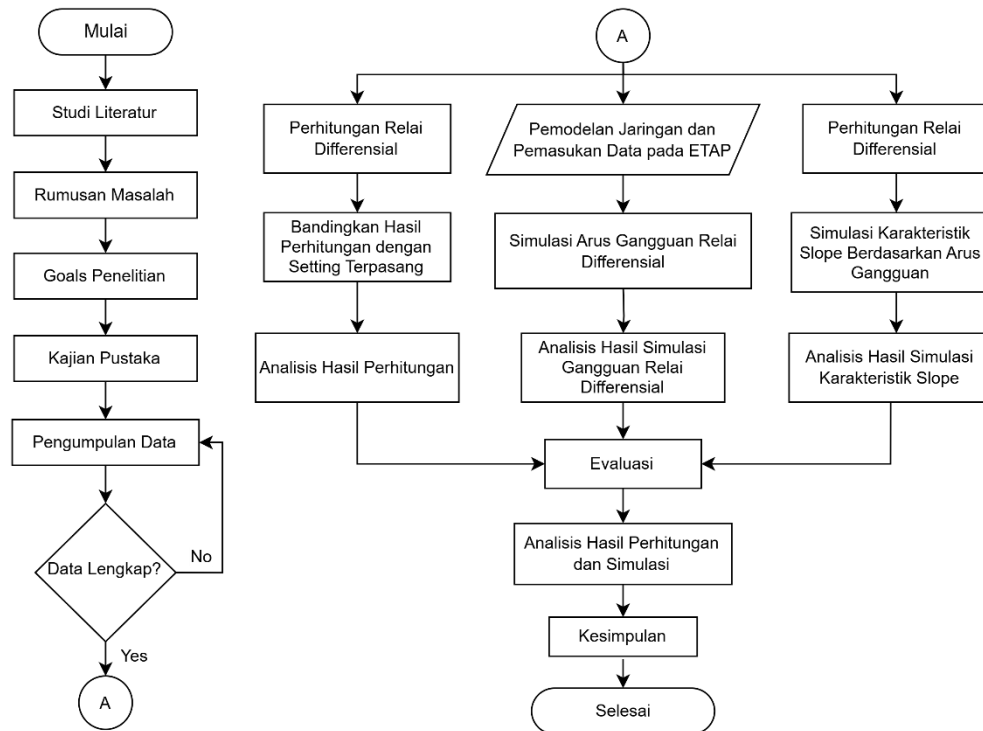
Spesifikasi relai differensial pada transformator 4 Gardu Induk Ujungberung adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 6 Spesifikasi Relai Differensial

Merk	Micom/Alstom
Inominal	1/5 A
Frecuncy	50/60 Hz
Vn	100-200

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian pada penelitian kali ini dituangkan dalam bentuk *flowchart* yang dapat dilihat pada gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3. 5 *Flowchart* Prosedur Penelitian

Flowchart pada gambar di atas merupakan gambaran proses penelitian atau analisis terkait relai differensial pada transformator 4 di Gardu Induk Ujungberung. Langkah awal dimulai dengan studi literatur untuk mencari referensi terkait penelitian yang diambil, penentuan rumusan masalah hingga pembuatan kajian pustaka. Kemudian, mencari data penunjang penelitian, mencakup pengumpulan informasi seperti SLD Gardu Induk, spesifikasi transformator, spesifikasi CT, spesifikasi PMT, spesifikasi relai differensial, dan data lainnya yang berkaitan dengan relai proteksi pada transformator.

Data tersebut kemudian diolah, dilakukan perhitungan, dan dimasukkan ke dalam *software* ETAP 19.0.1 yang digunakan untuk simulasi gangguan. Selain itu, dilakukan juga simulasi *slope* untuk mengetahui karakteristik relai differensial. Proses selanjutnya melibatkan kalkulasi parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja relai differensial pada transformator dan dibandingkan dengan data *setting* terpasang. Hasil dari kalkulasi ini digunakan untuk menyusun laporan analisis relai

differential pada transformator. Setelah analisis selesai, langkah terakhir adalah membuat kesimpulan berdasarkan temuan dari hasil penelitian. Oleh karena itu, *flowchart* di atas mencerminkan pendekatan yang terstruktur untuk memahami sistem proteksi pada transformator, menganalisis *setting* dan kinerja relai differential, dan menghasilkan rekomendasi yang relevan untuk keselamatan dan efisiensi sistem proteksi pada transformator di masa mendatang.

3.5 Analisis Data Penelitian

Analisis data penelitian merupakan langkah paling penting dalam melakukan analisis *setting* dan kinerja relai differential pada transformator. Pada penelitian ini menggunakan perangkat pendukung berupa:

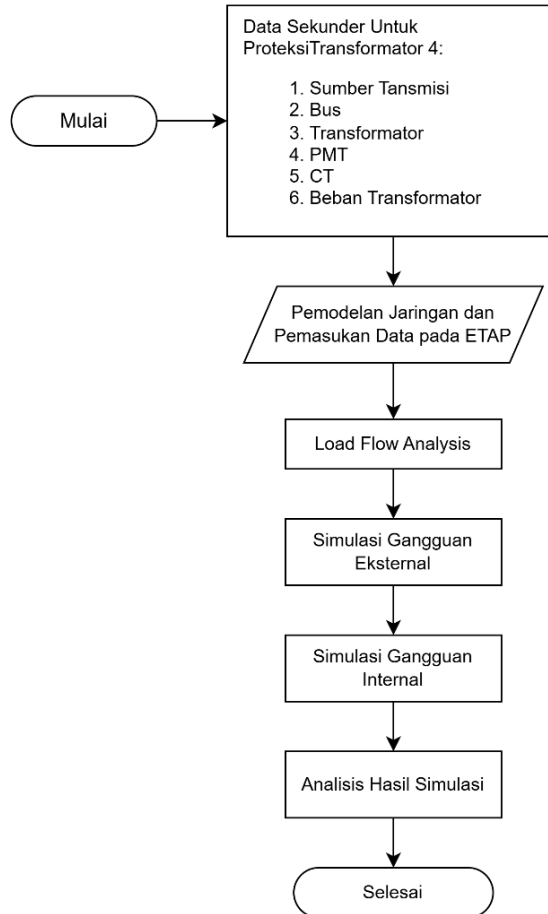
1. Laptop dengan spesifikasi sistem operasi *Windows 11 Home Single Language 23H2 64-bit operating system, x64-based processor; processor 11th Gen Intel(R) Core (TM) i5-1155G7 @ 2.50GHz RAM 8 GB*.
2. Aplikasi ETAP 19.0.1 untuk pemodelan jaringan, analisis data, dan simulasi gangguan.
3. Aplikasi Microsoft Excel untuk simulasi *slope* karakteristik relai differential pada transformator.

Data sekunder yang didapatkan dimasukkan ke dalam *software* ETAP dan Microsoft Excel, seperti spesifikasi transformator, relai differential, CT, PMT, beban, dan lain sebagainya. Simulasi gangguan dilakukan dalam *software* ETAP dan karakteristik *slope* relai differential pada *software* Microsoft Excel untuk memeriksa *setting* dan kinerja relai pada transformator. Analisis mendalam dilakukan untuk mengidentifikasi potensi titik risiko dan parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja transformator. Hasil analisisnya kemudian dibandingkan dengan data *setting* terpasang, apakah sesuai standar berdasarkan standar yang ada (SPLN dan IEEE) dan digunakan untuk melakukan evaluasi terhadap *setting* dan kinerja relai differential pada transformator yang diteliti.

Analisis data penelitian ini diharapkan memberikan hasil yang sangat memuaskan. Selain itu, dapat dijadikan sebagai saran, masukan, rujukan bahkan rekomendasi untuk meningkatkan kinerja relai differential sebagai pengaman untuk melindungi transformator.

3.5.1 Simulasi Menggunakan ETAP 19.0.1

Simulasi menggunakan *software* ETAP 19.0.1 digunakan untuk membuat jaringan berupa *single line diagram* dan untuk mengetahui operasi sistem.



Gambar 3. 6 *Flowchart* Simulasi Gangguan ETAP

Flowchart pada gambar 3.6 merupakan alur untuk melakukan simulasi gangguan menggunakan aplikasi ETAP, penjelasan tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Membuat Jaringan *Single Line Diagram*

Single line diagram yang digunakan berdasarkan data yang telah didapatkan dari operator Gardu Induk PLN Ujungberung, dibatasi hanya dari Bus B 150 kV sampai beban-beban yang ditanggung oleh transformator 4.

2. Analisis *Load Flow*

Sebelum melakukan simulasi gangguan, perlu adanya analisis *load flow* untuk mengetahui kondisi operasi jaringan sebelum terjadi gangguan. Hal

ini dilakukan untuk memastikan hasil *load flow* menunjukkan kondisi yang stabil dan sesuai dengan yang diharapkan.

3. Simulasi Gangguan Eksternal

Simulasi gangguan eksternal dilakukan untuk mengetahui apakah relai differensial bekerja atau tidak ketika terjadi gangguan hubung singkat diluar zona operasinya. Apabila relai mendeteksi adanya arus gangguan hubung singkat, maka kemungkinan besar relai tersebut mengalami maloperasi yang diakibatkan oleh beberapa hal seperti arus gangguan yang sangat besar dan polaritas atau *wiring* dari relai tersebut terbalik.

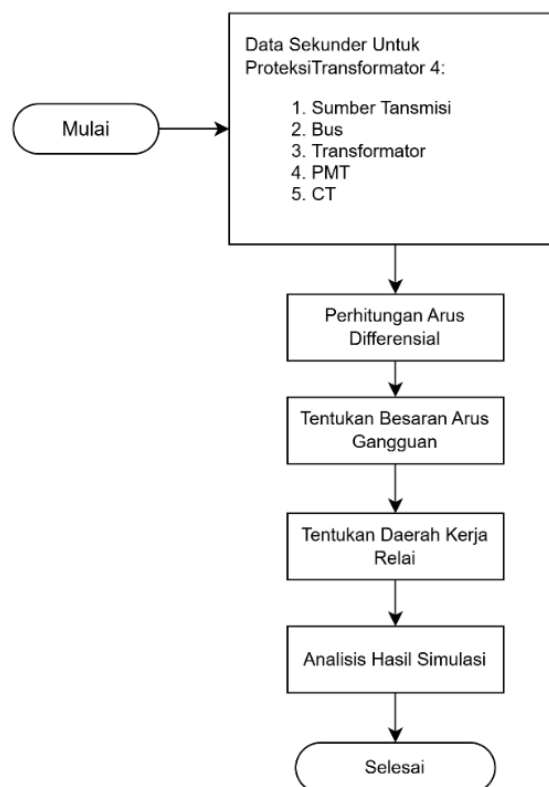
4. Simulasi Gangguan Internal

Simulasi gangguan internal dilakukan untuk mengetahui kinerja relai differensial dalam mendeteksi arus gangguan hubung singkat. Seberapa cepat dan selektif relai dalam mendeteksi gangguan hubung singkat dan memberikan perintah *trip* kepada PMT agar gangguan tersebut meluas.

Selain itu, simulasi yang dilakukan juga nantinya akan memperoleh nilai arus gangguan, nilai arus *setting* dan nilai arus operasi relai differensial.

3.5.2 Simulasi Karakteristik *Slope* Relai Differensial

Karakteristik kurva *slope* pada relai differensial menggunakan *software* Microsoft Excel dapat menggambarkan hubungan antara arus differensial (perbedaan arus) dan arus restraint/penahan (arus yang mengalir melalui relai). Karakteristik kurva *slope* ini penting karena dapat menentukan sensitivitas relai dalam mendeteksi gangguan internal sekecil mungkin dan stabilitas yang memungkinkan relai tidak melakukan perintah *trip* kepada PMT saat terjadi gangguan eksternal atau kondisi lainnya. Selain itu, dalam simulasi ini dilakukan untuk mengetahui perilaku relai differensial dalam berbagai kondisi operasi dan gangguan, tujuannya untuk memastikan bahwa relai memiliki *setting* yang tepat dalam melindungi transformator dari gangguan internal tanpa menyebabkan *trip* yang tidak perlu akibat gangguan eksternal.



Gambar 3. 7 Simulasi Karakteristik *Slope* Relai

Penjelasan tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Arus Differensial

Perhitungan arus differensial bertujuan untuk menghitung selisih antara arus sekunder dari sisi HV dan sisi LV transformator yang menjadi indikator adanya gangguan.

2. Menentukan Besaran Arus Gangguan

Besaran arus gangguan digunakan untuk mengetahui seberapa besar arus yang mengalir saat terjadi gangguan dan digunakan pula untuk menentukan *setting* relai yang tepat.

3. Menentukan Daerah Kerja Relai

Daerah kerja relai dilakukan untuk menentukan apakah relai differensial akan *trip* atau tidak berdasarkan nilai arus differensial dan *setting* relai. Dalam hal ini relai differensial memiliki karakteristik kurva *slope* yang menentukan daerah operasi dan daerah tidak beroperasi yang dinyatakan dalam persentase dan kurva.