

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem ketenagalistrikan merupakan suatu sistem yang mempunyai lima sub sistem utama yaitu pembangkit listrik, sistem transmisi, Gardu Induk, sistem distribusi dan beban [1]. Keandalan sistem tenaga listrik sangatlah penting untuk kelancaran distribusi listrik kepada masyarakat, karena energi listrik sudah menjadi bagian yang tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan sehari-hari. Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat seiring dengan kemajuan teknologi. Di sisi lain, terdapat tantangan dalam menjaga keandalan dan kestabilan sistem tenaga listrik yang semakin kompleks [2]. Oleh karena itu diperlukan sistem proteksi yang mampu melindungi peralatan listrik seperti transformator, dari potensi gangguan yang dapat merusak komponen dan mengganggu distribusi listrik.

Sistem proteksi merupakan bagian yang sangat penting dari infrastruktur sistem tenaga, yang bertujuan untuk mendeteksi jika terdapat kondisi yang abnormal pada sistem tenaga listrik dan melokalisasi peralatan yang terganggu dari sistem yang sehat dengan cara memerintahkan *trip* pada *circuit breaker*, sehingga sistem dapat terus berfungsi [3]. Salah satu proteksi pada sistem kelistrikan yaitu *overcurrent relay* yang berfungsi untuk melindungi peralatan seperti transformator dari gangguan arus berlebih.

Transformator merupakan komponen krusial dalam sistem transmisi, termasuk pada *interbus transformer*. Transformator berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan sesuai dengan kebutuhan sistem sehingga proteksi terhadapnya perlu dilakukan sesuai dengan standar yang berlaku. Kondisi interbus transformer yang tidak dilindungi dengan baik dapat menyebabkan kegagalan sistem yang luas [4]. Oleh karena itu, proteksi terhadap *interbus transformer* perlu diperhatikan, termasuk ketika terjadi perubahan karakteristik sistem seperti *uprating current transformer* [5]. Gangguan yang biasa terjadi pada sistem kelistrikan yaitu gangguan hubung singkat, gangguan arus lebih, serta gangguan akibat fluktuasi tegangan. Gangguan arus lebih dapat terjadi akibat beban berlebih atau hubungan singkat yang menyebabkan arus mengalir melebihi kapasitas yang

ditentukan, yang berpotensi merusak komponen sistem kelistrikan, termasuk transformator [3].

*Overcurrent relay* pada transformator berfungsi sebagai alat yang sangat penting dalam mendeteksi kondisi arus berlebih secara cepat guna mencegah kerusakan yang lebih parah. *Overcurrent relay* bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengamanan tertentu dengan jangka waktu tertentu. Prinsip kerja *relay* arus yaitu berdasarkan besaran arus lebih akibat adanya gangguan hubung singkat. Lalu memberikan perintah *trip* ke *circuit breaker* sesuai dengan karakteristik waktunya guna meminimalisir kerusakan alat akibat gangguan [6]. Oleh karena itu, penting untuk melakukan evaluasi dan *resetting overcurrent relay*, terutama apabila terdapat perubahan atau *uprating* pada *current transformer*, baik karena peningkatan kapasitas atau karena perbaikan kualitas.

*Current transformer* mengubah nilai arus yang besar menjadi arus yang dapat digunakan untuk pengukuran [7]. *Setting overcurrent relay* harus disesuaikan dengan rasio *current transformer* yang terpasang, agar proteksi berfungsi dengan andal dalam menghadapi gangguan [8]. Pada studi kasus ini pergantian *current transformer* dikarenakan *current transformer* hanya mempunyai tiga inti pada sisi sekunder, terdapat satu inti yang melayani dua fungsi sekaligus, hal ini menurunkan akurasi dan performa sistem proteksi akibat pembagian fungsi yang tidak seimbang [9]. Untuk mengatasi hal ini dilakukan penggantian *current transformer* menjadi lima inti, sehingga setiap inti memiliki fungsi masing-masing tanpa adanya penumpukan dua fungsi sekaligus untuk mengoptimalkan kinerja proteksi.

Selain itu, berdasarkan data historis di PT PLN Gardu Induk Ujung Berung, *Current Transformer* yang digunakan pada transformator sudah memiliki usia operasional melebihi 30 tahun. *Current Transformer* dirancang untuk masa pakai 30 tahun serta memiliki masa perawatan hampir nol, dengan persyaratan seperti minyak tertutup rapat dari udara dan bagian eksternal *Current Transformer* terbuat dari bahan yang tahan terhadap korosi [10]. Setelah melewati dari umur tersebut, risiko penurunan performa dan kegagalan operasional menjadi lebih tinggi. Oleh karena itu, penggantian *current transformer* ini memerlukan

penyesuaian ulang *setting* pada *overcurrent relay* supaya sesuai dengan parameter sistem yang baru.

Perubahan rasio *current transformer* akibat *uprating* mengakibatkan *setting overcurrent relay* yang lama tidak sesuai lagi. *Setting overcurrent relay* sangat bergantung pada rasio *current transformer* yang digunakan, sehingga ketika terjadi perubahan pada *current transformer*, maka nilai *setting* dan koordinasi waktu *overcurrent relay* harus disesuaikan [11], [12]. Jika tidak disesuaikan, maka *overcurrent relay* bisa merespons gangguan terlalu lama, terlalu cepat, atau bahkan gagal bekerja saat terjadi gangguan. Proses *resetting* juga harus disertai dengan simulasi, karena sistem proteksi tidak boleh diuji langsung pada sistem aktual karena mempunyai risiko yang tinggi. Oleh karena itu, simulasi menggunakan ETAP untuk memvalidasi nilai *setting* arus berdasarkan hasil perhitungan, waktu respons dan koordinasi antar relay [13].

Penelitian sebelumnya banyak yang berfokus pada perhitungan ulang *setting Overcurrent Relay* dan *recloser* akibat adanya peningkatan (*uprating*) pada transformator gardu induk [14], [15] [12]. Peneliti lain membahas perhitungan ulang *setting Overcurrent Relay* dan *recloser* akibat adanya *manuver* jaringan dari penyulang 05 ke penyulang 07 Gardu Induk Weleri Kendal. Karena adanya *manuver* jaringan maka *relay outgoing* dan *recloser* yang terpasang di kesua saluran ini mengalami *overlapping* [16]. Beberapa peneliti lainnya juga membahas evaluasi *Overcurrent Relay* di sistem distribusi daya, dengan fokus pengujian langsung dengan simulasi berbagai gangguan [11]. Penelitian lainnya, melakukan evaluasi performa sistem proteksi pada *Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay* pada transformator 60MVA. Penelitian tersebut bertujuan untuk menganalisis apakah *setting relay* berfungsi dengan baik dalam melindungi transformator terhadap gangguan hubung singkat tiga fasa, fasa ke tanah. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi arus hubung singkat menggunakan ETAP dan menguji *setting* arus dan waktu pada *relay* untuk memastikan *relay* bekerja sesuai standar PLN dan IEC 60255 [17].

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung *setting* arus *Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay* setelah *uprating Current Transformer*, serta melakukan

simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP untuk melihat waktu respon dan koordinasi relay apakah setting sudah sesuai dengan SPLN dan IEC 60255 [18]. Simulasi ETAP digunakan karena *software* ETAP merupakan piranti analisis yang komprehensif untuk desain dan pengujian sistem tenaga listrik dan mudah digunakan dalam membuat, mengedit diagram garis tunggal (SLD) [19].

## 1.2 Penelitian Terkait

Penelitian terkait adalah suatu penegasan keaslian penelitian yang akan dilakukan dan menjelaskan perbandingan terhadap riset sebelumnya yang menjadi acuan dalam pembuatan tugas akhir ini. Dalam tahap ini, penelitian akan diuraikan secara singkat sebagai bentuk memperkuat alasan mengapa penelitian ini dilakukan. Tabel 1.1 adalah referensi jurnal penelitian sejenis yang dilakukan beberapa peneliti sebelumnya.

Tabel 1. 1 Penelitian Terkait

Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian
Dwi Songgo Panggayudi, Marwan Rosyadi, Reynanda Bagus Widyo Astomo.	2021	Koordinasi Setting Proteksi Akibat Uprating Transformator 70/11,5 KV Menggunakan DIgSILENT 15.1.7 dan ETAP 16 [12]
Mohamed.D.Hamouda, Omar.G.Mrehel, dan AlSadiq M. Omar Alkeesh	2024	<i>Practical Evaluation of Overcurrent Protective Relay Performance in Power Distribution System</i> [20]
Hilmi Wirda dan Waluyo	2024	Analisis Simulasi Pengujian Proteksi Overcurrent Relay Pada Sisi Primer dan Sekunder Transformator 1 New-Rancakasumba [21]

Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian
Fikri Fatwa Ulhuda, Azriyenni Azhari Zakri, dan Umair Ali	2024	<i>The Evaluation of Overcurrent relay and Ground Fault Relay Settings on Power Transformers</i> [22]

Penelitian [20] oleh Mohamed.D.Hamouda, dkk membahas mengenai prosedur pengujian *relay* OCR dengan menggunakan alat uji OMICRON. Pengujian yang dilakukan yaitu uji arus *pickup*, arus *drop-off*, dan uji *trip time characteristics*. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi dan menganalisa kinerja *Overcurrent Relay* dengan dua skenario yang berbeda yaitu tipe karakteristik *definite time* dan karakteristik standar invers. *Test pickup* dan *drop-off* yang dilakukan untuk memeriksa arus setting minimum *pickup* dengan nilai Iset 1 A, hasil tes mencatat 1,003 A dalam hal ini masih dalam batas toleransi. Uji *trip time characteristics* bertujuan untuk mengukur waktu dari awal gangguan hingga *Overcurrent Relay* bekerja, dari *test* yang dilakukan, didapat waktu *trip range* 0,028 hingga 0,0332 detik.

Penelitian [12] oleh Dwi Songgo Panggayudi, dkk membahas mengenai koordinasi setting *Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay* akibat *uprating* transformator dari 6 MVA menjadi 30 MVA di Gardu Induk Driyorejo. *Uprating* dilakukan karena transformator sudah berusia 32 tahun dan setelah dilakukan *commissioning test* hasilnya transformator sudah tidak memenuhi standar pada aspek tan-delta dan tahanan isolasi belitan. Hasil perhitungan *setting* proteksi didapat nilai *setting* sisi primer trafo yaitu sisi 70 KV OCR 3A/300A TMS 0,3 SI dengan waktu tunda instan, sisi sekunder trafo 11,5 KV OCR 4,5A/1800A dengan waktu tunda 0,4 – 0,6 s, sisi penyulang OCR 6A/480A dengan waktu tunda 0,1 – 0,3, GFR sisi 70KV TMS 0,8 SI, dan GFR sisi penyulang 0,5A/40A TMS 0,2 SI. hasil pengujian menunjukkan bahwa simulasi kinerja koordinasi *relay* proteksi transformator sudah sesuai dengan standar yang dijadikan pedoman. Pada simulasi

DigSILENT dan ETAP didapat bahwa *relay* proteksi bekerja sesuai dengan daerah kerjanya dan urutan kerja proteksi sudah sesuai dengan grafik koordinasi proteksi.

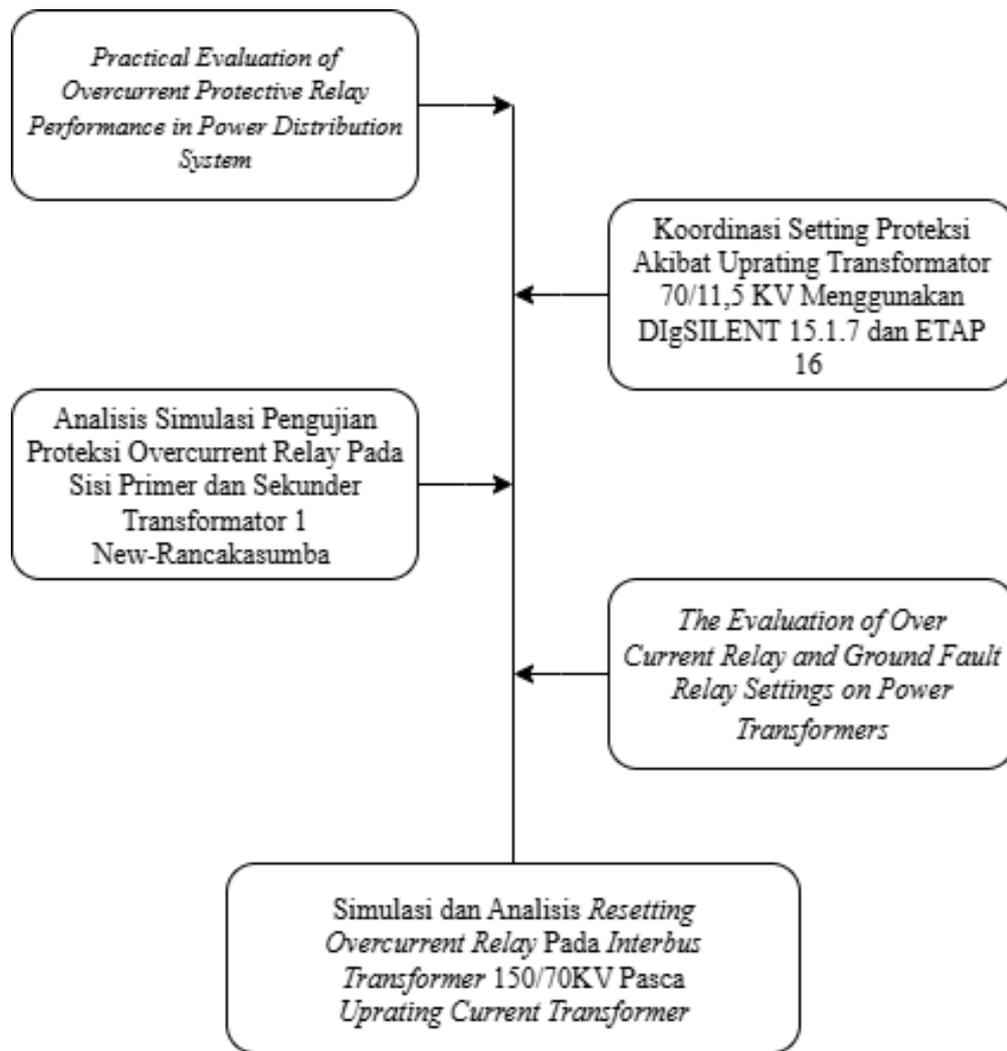
Penelitian [21] oleh Hilmi Wirda membahas *setting* proteksi *Overcurrent Relay* pada sisi primer dan sekunder transformator dengan menggunakan simulasi ETAP. Tujuan penelitian adalah menentukan waktu kerja *relay* yang sesuai dengan perubahan beban dan arus gangguan pada transformator. Metode IDMT digunakan untuk menghitung waktu minimum kerja *relay*, dengan hasil 0,44095 detik di sisi tegangan tinggi (HV) dan 0,1484 detik di sisi tegangan rendah (LV). Simulasi perubahan beban menunjukkan bahwa variasi beban mempengaruhi arus gangguan dan waktu kerja *relay*. Waktu kerja *relay* yang didapatkan pada pengujian lapangan adalah 1,9015 detik di sisi HV dan 0,8945 detik di sisi LV, yang masih dalam batas wajar sesuai standar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengaturan *relay Overcurrent Relay* sudah sesuai dengan standar IEC 60255-1 untuk perlindungan transformator. Penelitian ini menyimpulkan bahwa *relay* bekerja dengan baik dan dapat digunakan untuk melindungi transformator dari gangguan arus lebih.

Penelitian [22] oleh Fatwa Ulhuda F, dkk. berfokus pada analisis *setting Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay* pada transformator daya 60 MVA di Gardu Induk Bagan Batu. Metode yang digunakan yaitu pengumpulan data spesifikasi transformator dan *setting relay* yang ada, dan pemodelan *Single Line Diagram* (SLD). Simulasi dilakukan menggunakan *software* ETAP untuk menganalisis arus gangguan akibat kesalahan hubung singkat yang nantinya data arus hubung singkat digunakan untuk menentukan nilai *setting relay*. Hasil penelitian menunjukkan nilai *setting Overcurrent Relay* pada transformator 150 KV adalah 0,92 detik. Untuk transformator 20KV, nilai *setting Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay* yaitu 0,40 detik dan 0,20 detik. Data lapangan dan hasil analisis memiliki perbedaan pada waktu kerja *relay* sebesar 5%. Dapat disimpulkan *setting Overcurrent Relay* transformator 60 MVA di Gardu Induk Bagan Batu telah sesuai dengan standar PLN yang ada.

Seperti dalam penelitian [11], yang juga membahas pengaturan *overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay* pada transformator setelah proses *uprating*, serta menggunakan simulasi untuk memastikan kinerja proteksi sesuai standar.

Penelitian ini akan lebih memfokuskan pada analisis perubahan pengaturan waktu kerja dan nilai arus *Overcurrent Relay* pada transformator 150/70 kV pasca *uprating Current Transformer*. Dengan metode simulasi ETAP, didapat perubahan arus gangguan yang terjadi setelah *uprating Current Transformer* terhadap pengaturan waktu kerja *relay Overcurrent Relay*. Sama seperti penelitian [15] dan [16] yang menggunakan simulasi ETAP untuk menganalisis waktu kerja *relay* berdasarkan arus gangguan, penelitian ini memberikan pemahaman lebih mengenai bagaimana *uprating Current Transformer* memengaruhi kebutuhan *resetting relay* dan apakah pengaturan tersebut masih sesuai dengan standar operasional yang ditetapkan untuk melindungi transformator. Penelitian ini akan memberikan kontribusi dalam optimasi pengaturan proteksi pada transformator pasca *uprating current transformer*, sama dengan studi yang telah dilakukan pada transformator di Gardu Induk Driyorejo [11] dan Bagan Batu [17]. Setelah melakukan studi literatur dari berbagai penelitian terdahulu yang sesuai dengan topik penelitian yang akan diangkat, maka penelitian ini melakukan analisis *setting* nilai arus *overcurrent relay bay interbus transformers* akibat *uprating Current Transformer* dengan menggunakan standar *inverse* untuk *trip time characteristic*.





Gambar 1. 1 Penelitian Terkait

### 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dirumuskan beberapa hal berikut:

1. Bagaimana nilai *setting* arus pada *Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay* pada *interbus transformer* 150/70 kV dalam melakukan pengamanan terhadap sistem proteksi?
2. Bagaimana nilai waktu respon *Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay* pada *interbus transformer* 150/70 kV dalam melakukan pengamanan terhadap sistem proteksi?

3. Bagaimana koordinasi kerja *Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay* ketika terjadi gangguan hubung singkat pada sistem proteksi *interbus transformer* 150/70 kV?

#### 1.4 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan manual nilai *setting* arus pada *Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay interbus transformer* 150/70 kV.
2. Melakukan simulasi menggunakan ETAP untuk mendapatkan waktu respon *Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay interbus transformer* 150/70 kV.
3. Melakukan simulasi menggunakan ETAP untuk mendapatkan koordinasi kerja *Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay interbus transformer* 150/70 kV.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

##### 1 Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi akademik mengenai perkembangan di bidang keilmuan sistem transmisi, dan sistem proteksi khususnya analisis *setting Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay* pada *interbus transformer* 150/70 kV.

##### 2 Manfaat Praktis

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi lebih untuk bagaimana *setting* ulang *Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay* akibat dari *uprating Current Transformer*.

## 1.6 Batasan Masalah

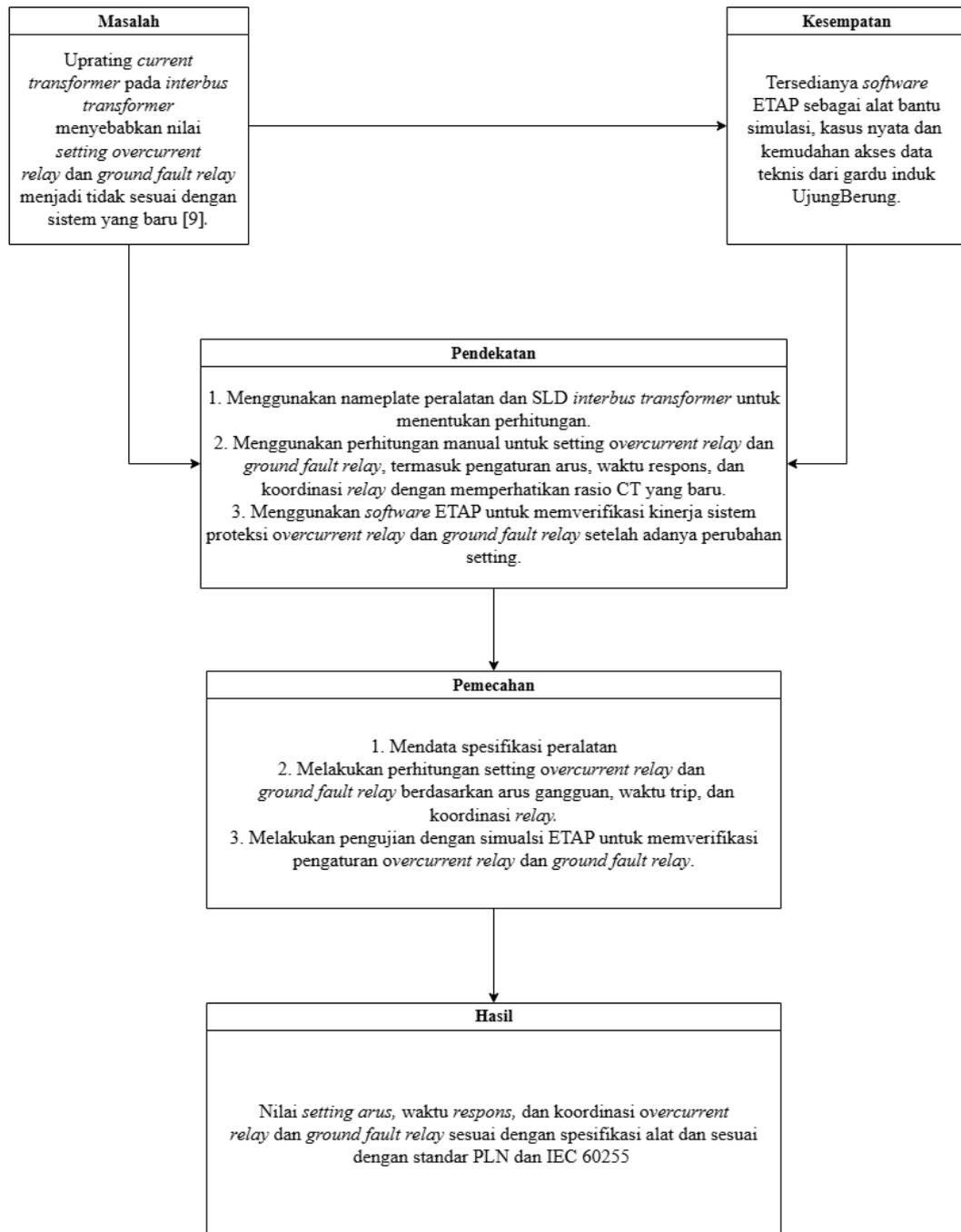
Tujuan batasan masalah yaitu supaya menghindari adanya penyimpangan atau perluasan topik, agar penelitian lebih terarah dan mudah dibahas, sehingga dapat mencapai tujuan penelitian. Beberapa batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada *interbus transformer* 1 150/70 kV Gardu Induk UjungBerung.
2. Menggunakan *interbus transformer* berkapasitas 100 MVA.
3. Penelitian ini hanya menggunakan karakteristik waktu kerja *standar inverse* sesuai dengan standar PLN dan IEC 60255.
4. Nilai *setting* arus digunakan untuk semua fasa.
5. Menggunakan *software* ETAP untuk membuat *single line diagram* dan melakukan simulasi sistem proteksi.
6. Simulasi gangguan yang digunakan yaitu, gangguan tiga fasa untuk *overcurrent relay* dan gangguan satu fasa ke tanah untuk *ground fault relay*



## 1.7 Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir yaitu berisi alur pemikiran yang memuat uraian sistematis hasil perumusan masalah penelitian yang diperkirakan dapat diselesaikan melalui pendekatan yang dibutuhkan. Untuk mengatasi masalah tersebut, kerangka berpikir ini dapat dijabarkan pada gambar 1.2.



Gambar 1. 2 Kerangka Berpikir

## 1.8 Sistematika penulisan

Sistematika penulisan merupakan suatu tahap penyusunan data dan penulisan dalam suatu laporan yang terdiri dari enam bab agar dapat menghasilkan penulisan yang baik, diantara-ya sebagai berikut:

### BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan tentang latar belakang, penelitian terkait, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah, kerangka berpikir, dan sistematika penulisan.

### BAB II TEORI DASAR

Pada bab ini berisi tentang teori dasar yang digunakan dalam penelitian serta memberikan gambaran yang digunakan dalam penelitian ini.

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menjelaskan metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan ketika melakukan penelitian, jadwal penelitian Simulasi dan Analisis *Resetting Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay* Pada *Interbus Transformer 150/70 kV Pasca Uprating Current Transformer*.

### BAB IV PEMODELAN DAN SIMULASI SISTEM PROTEKSI

Pada bab ini berisi tentang pemodelan sistem *interbus transformer 150/70 kV* di Gardu Induk UjungBerung, termasuk konfigurasi *single line diagram*, spesifikasi peralatan proteksi, *input* data ke dalam *software* ETAP, dan menjelaskan proses simulasi gangguan tiga fasa dan fasa ke tanah.

### BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menyajikan hasil perhitungan manual nilai setting *Overcurrent Relay* dan *Ground Fault Relay*, waktu *respons relay* berdasarkan hasil simulasi ETAP, dan kurva koordinasi *Time Current Characteristic (TCC)*.

### BAB VI PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang menjawab rumusan masalah, serta saran yang dapat dijadikan referensi dalam pengembangan sistem proteksi.