

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang dapat mengubah energi listrik, dimana energi listrik yang dihasilkan dapat disalurkan melalui jaringan transmisi menuju Gardu Induk (GI). Dengan peningkatan jumlah penduduk di Indonesia yang terus meningkat setiap tahunnya, hal ini akan mempengaruhi peningkatan jumlah beban listrik yang digunakan oleh masyarakat. Oleh karena itu, sistem kelistrikan harus dapat diandalkan dan mampu memenuhi kebutuhan listrik secara konstan [1]. Salah satu penunjangnya adalah sistem proteksi yang baik. Sistem proteksi merupakan sarana untuk mencegah atau membatasi kerusakan yang diakibatkan oleh gangguan pada peralatan dan menjamin kontinuitas distribusi listrik di Gardu Induk [2].

Hampir semua kegagalan rangkaian listrik pada sistem tenaga listrik adalah kegagalan hubung singkat. Jika tidak segera diatasi, peralatan akan mengalami kerusakan dengan sendirinya. Gangguan hubung singkat pada Gardu Induk adalah gangguan tiga fasa, gangguan dua fasa, dan gangguan satu fasa ke tanah [3]. Relai proteksi digunakan untuk mengatasi gangguan pada sistem tenaga listrik.

Sistem proteksi merupakan elemen penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk melindungi peralatan dan menjaga keandalan operasi sistem dari gangguan seperti hubung singkat, beban lebih, atau kondisi abnormal lainnya. Sistem ini bekerja dengan cara mendeteksi gangguan dan memisahkan bagian yang terganggu dari sistem yang sehat, sehingga mencegah kerusakan meluas dan memastikan kontinuitas penyaluran daya listrik [4]. Dalam implementasinya, sistem proteksi harus memenuhi kriteria seperti kecepatan, sensitivitas, selektivitas, dan keandalan untuk memastikan perlindungan optimal terhadap peralatan serta keselamatan manusia. Dengan demikian, keberadaan sistem proteksi tidak hanya menjaga kestabilan jaringan listrik tetapi juga meminimalkan potensi kerugian akibat gangguan.

Untuk memastikan keandalan sistem tenaga listrik, diperlukan sistem proteksi yang efektif. Salah satu solusi proteksi yang diandalkan adalah penggunaan relai arus lebih (*Over Current Relay* atau OCR) dan relai gangguan tanah (*Ground Fault Relay* atau GFR). relai arus lebih berfungsi mendeteksi adanya arus lebih, baik akibat gangguan hubung singkat maupun beban lebih (*overload*), yang berisiko merusak peralatan sistem tenaga dalam area proteksinya [6]. Sementara itu, relai gangguan tanah memiliki prinsip kerja serupa dengan relai arus lebih tetapi dengan perbedaan dalam aplikasinya. relai gangguan tanah dirancang untuk mendeteksi gangguan hubungan singkat ke tanah melalui *binary input* pada relai. Ketika gangguan terdeteksi, relai gangguan tanah akan mengaktifkan *binary output* untuk memberikan perintah pemutusan, sehingga melindungi sistem dari potensi kerusakan akibat gangguan tanah [6]. Dalam penerapannya, relai arus lebih (OCR) dan relai gangguan tanah (GFR) memanfaatkan input arus yang diperoleh dari *Current Transformer* (CT). Pada sistem tenaga listrik yang kompleks, Kedua alat proteksi ini dipasang pada sisi *high voltage* dan *low voltage* Gardu Induk, oleh karena itu koordinasi relai pada sisi *high voltage* dan *low voltage* dijaga, karena koordinasi antar relai sangat menentukan keandalan sistem proteksi [7], [8].

Koordinasi antara kedua jenis relai ini penting seperti relai arus lebih dan relai gangguan tanah untuk memastikan bahwa setiap waktu hanya satu relai yang memutuskan sirkuit listrik jika terjadi gangguan. Jika terjadi koordinasi yang buruk, maka beberapa relai mungkin dapat memutuskan sirkuit, mengakibatkan pemadaman listrik yang lebih besar dari yang sebenarnya diperlukan dan juga menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik lainnya [9].

Penelitian [11] menyelidiki kesulitan yang terkait dengan penentuan nilai TMS dan PS relai gangguan bumi dan arus lebih di Gardu Induk. Penelitian [12], [13], [14] [15] membahas mengenai evaluasi koordinasi relai pada relai arus lebih dan relai gangguan tanah apakah masih sesuai dengan standar atau tidak. Pada penelitian [14] melakukan pemeriksaan pada relai arus lebih yang mendapatkan hasil bahwa relai tersebut tidak mematuhi standar yang diterapkan. Pada penelitian [15] ini dilakukan simulasi ETAP 12.6 yang mendapatkan hasil bahwa urutan kerja

dan waktu operasi relai saat terjadi gangguan sudah sesuai urutan dari hasil simulasi dengan nilai *setting* yang telah dikoordinasikan.

Berdasarkan hasil observasi lapangan, pada tahun 2020 terjadi gangguan meluas berupa *breakdown* di sisi *incoming* pada trafo 1 di Gardu Induk Majalaya yang diakibatkan oleh kegagalan koordinasi relai arus lebih yang terjadi karena kesalahan *setting* dari sistem proteksi. Kegagalan koordinasi relai arus lebih diawali dengan adanya gangguan pada penyulang serta ada *finger* disisi *incoming* yang bermasalah yang menyebabkan menjadi *bad contact*. Kondisi operasi normal bay trafo, lalu terjadi inisiasi gangguan dari jaringan 20kV, saat kejadian penyulang tidak mengalami *trip* sehingga dieksekusi langsung oleh sisi *incoming* yang menyebabkan sisi *incoming* pada trafo 1 mengalami *breakdown*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis akan mengevaluasi koordinasi relai arus lebih dan relai gangguan tanah yang terjadi pada saat trafo 1 di Gardu Induk Majalaya mengalami *breakdown* serta koordinasi relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada saat ini dengan cara perhitungan manual dan simulasi menggunakan aplikasi ETAP. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah koordinasi relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada saat ini sudah sesuai dengan SPLN atau belum.

## 1.2 State of The Art

Dalam menyusun penelitian ini, literatur yang relevan telah ditinjau sebelumnya untuk meningkatkan pemahaman dan mengidentifikasi kesenjangan penelitian yang dapat dikembangkan lebih lanjut. Adapun referensi utama penelitian terlampir pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Referensi utama penelitian.

Judul	Peneliti	Tahun
<i>Coordination Tool for Overcurrent and Earth-Fault Relays at A 33/11 KV Power Distribution Substation in Basrah City.</i>	Basim Talib Kadhem, Nashaat K. Yaseen, Sumer S. Hardan, Mofeed Turkey Rashid [11]	2024

Judul	Peneliti	Tahun
<i>Effect of non-standard characteristics of overcurrent relay on protection coordination and maximizing overcurrent protection level in distribution network.</i>	Abdallah Reda, Amal F. Abdelgawad, Mohamed Ibrahim [12]	2022
<i>Review on Coordination of Time Overcurrent Relays in Electrical Distribution Network</i>	Godfrey Mhagama, Ndyetabura Y. Hamisi, Shililiandumi Naiman [13]	2024
<i>Performance Evaluation of Overcurrent Relay and Ground Fault Relay Coordination in Distribution Feeder</i>	Azriyenni Azhari Zakri, Rezky Almi Ramadhan, Wahri Sunanda [14]	2024
Studi Koordinasi Relai Pengaman (Over Current Relay dan Ground Fault Relay) Pada Sistem Kelistrikan PLTU, PT. Rekind Daya Mamuju Dengan Menggunakan Program ETAP 12.6	Firdaus, Fatma S, Syarifuddin Kasim, Andi Imran [15]	2023

Berdasarkan Tabel 1.1 Referensi dapat diambil analisa bahwa terdapat beberapa penelitian yang mengembangkan tentang koordinasi relai. Penelitian [11] menyelidiki kesulitan yang terkait dengan penentuan nilai TMS dan PS relai gangguan bumi dan arus lebih di gardu induk distribusi daya 33/11 kV di Basrah menggunakan elemen pengaturan sesaat. Relai arus lebih dan gangguan bumi disimulasikan dalam dua skenario: satu dengan pengaturan waktu tunda dan satu dengan pengaturan segera. Penelitian ini didasarkan pada pengumpulan data nyata, dan pengaturannya mempertimbangkan arus hubung singkat pada titik terjauh dari penyulang terpanjang. Hasilnya menunjukkan efektivitas skema koordinasi yang

diusulkan, yang mengurangi waktu operasi *trip* sebesar 20% dibandingkan dengan studi kasus yang disajikan dengan tetap menjaga koordinasi antara proteksi primer dan cadangan.

Penelitian [12] menggunakan kemampuan model 7SJ602 (relai arus lebih dan gangguan bumi) untuk kinerja yang lebih baik dan respons yang lebih cepat. Model Siemens 7SJ602 dihubungkan ke sistem radial nyata dari Gardu Induk Mesir untuk melindungi pengumpan. Penelitian ini menghasilkan tiga kategori untuk penanganan masalah koordinasi. Kategori pertama mengusulkan model non standar untuk relai OC 7SJ602 untuk membiasakan diri dengan perilaku jaringan dan menangani masalah koordinasi. Kategori kedua adalah untuk meningkatkan kategori pertama sehingga model yang diusulkan meminimalkan waktu *trip* relai sekitar 78,9%. Penambahan kategori ketiga adalah untuk membangun perlindungan cadangan baru di relai untuk meningkatkan tingkat perlindungan jaringan di bawah kegagalan relai. Kontribusi baru dari karya ini adalah desain relai multikarakteristik untuk memecahkan masalah koordinasi karena perilaku arus gangguan jaringan dan memaksimalkan tingkat proteksi dengan menciptakan proteksi cadangan mandiri di mana relai dapat beroperasi sebagai cadangan untuk dirinya sendiri saat terjadi kegagalan. Munculnya proteksi cadangan mandiri dapat mengurangi waktu *trip* proteksi cadangan dan interval waktu koordinasinya masing-masing sekitar 56,85% dan 69%.

Penelitian [13] melaporkan survei tentang koordinasi relai arus lebih waktu dalam jaringan distribusi listrik jaringan mikro. Tinjauan tersebut menemukan bahwa terdapat penelitian terbatas pada aturan kontrol terdistribusi dari koordinasi multiagen relai proteksi. Pada penelitian ini juga ditemukan bahwa tren algoritma koordinasi difokuskan pada algoritma yang terinspirasi dari alam. Pada penelitian ini menghasilkan persentase studi berdasarkan metode proteksi diferensial adalah 24%, sedangkan persentase studi berdasarkan relai arus lebih adalah 76%. Sebagian besar sistem proteksi diferensial diimplementasikan dalam saluran transmisi daya di mana relai diferensial yang dipasang di gardu transmisi menggunakan perbedaan arus untuk mendeteksi gangguan saat berkomunikasi dengan relai jarak jauh melalui saluran telekomunikasi.

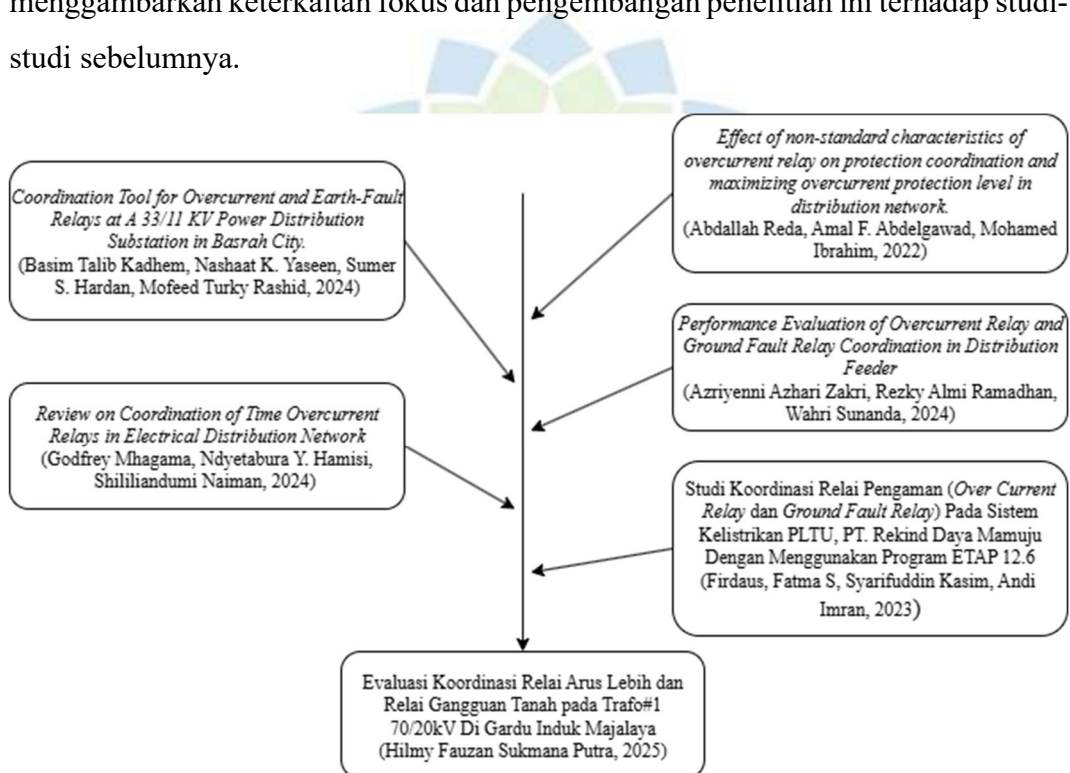
Penelitian [14] membahas mengenai evaluasi koordinasi relai pada relai arus lebih dan relai gangguan tanah. Pada penelitian ini melakukan pemeriksaan pada relai arus lebih yang mendapatkan hasil bahwa relai tersebut tidak mematuhi standar IEC 60255 dan akibatnya menyesuaikan waktu klasifikasi menjadi 0,402 detik. Demikian pula, hasil pemeriksaan relai gangguan tanah tidak memenuhi standar dan memerlukan penyesuaian waktu evaluasi menjadi 0,492 detik.

Penelitian [15] dilaksanakan berdasarkan studi kasus di PT. Rekind Daya Mamuju. Penelitian [15] merupakan penelitian deskriptif yang bersifat *ex-post facto*, yang bertujuan untuk mengetahui hasil *setting* koordinasi relai pengaman (relai arus lebih dan relai gangguan tanah), dan urutan kerja dan waktu operasi relai pengaman saat terjadi gangguan pada sistem kelistrikan PT. Rekind Daya Mamuju. Data sistem kelistrikan yang diperoleh berupa *Single Line Diagram* PLTU Mamuju 2x25 MW, data peralatan proteksi, dan data koordinasi relai pengaman yang kemudian diolah dan dianalisis menggunakan program ETAP 12.6. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kurva *invers time* relai arus lebih sisi sekunder trafo 0,4 kV di-*setting* dengan arus *pickup* sebesar 0,45 s, relai sisi primer trafo 6,3 kV 0,25 s dan relai yang terhubung antara unit I dan unit II 0,84 s. Nilai seting relai gangguan tanah untuk kurva *definite time* sisi sekunder arus *pickup* 0,4 s, dan relai sisi primer 0,2 s. *Interval* waktu kerja relai untuk memutus gangguan sebesar 0,3 s. Koordinasi relai pengaman PLTU Mamuju unit I dan Unit II sudah bekerja dengan baik dengan nilai hasil plot kurva tidak ada yang *overlapping* ataupun *miss-coordination* satu sama lain. Urutan kerja dan waktu operasi relai saat terjadi gangguan sudah sesuai urutan dari hasil simulasi dengan nilai *setting* yang telah dikoordinasikan.

Dari berbagai penelitian terdahulu yang telah dilakukan, terlihat bahwa fokus utama sebagian besar kajian berada pada upaya peningkatan koordinasi dan efisiensi kerja relai arus lebih serta relai gangguan tanah melalui optimasi nilai *setting*, penggunaan model relai tertentu, hingga penerapan algoritma berbasis kecerdasan buatan. Namun, penelitian-penelitian tersebut umumnya dilakukan pada sistem distribusi atau jaringan mikro dengan kondisi sistem yang berbeda dari Gardu Induk Majalaya. Perbedaan utama penelitian ini terletak pada objek dan konteks kajian, yaitu evaluasi koordinasi relai arus lebih dan relai gangguan tanah



pada Trafo 1 Gardu Induk Majalaya yang mengalami gangguan aktual (*breakdown*). Penelitian ini tidak hanya meninjau aspek perhitungan dan simulasi, tetapi juga menganalisis penyebab terjadinya gangguan koordinasi yang disebabkan oleh kesalahan *ratio* CT serta mengevaluasi ulang *setting* relai dengan membandingkan hasil lapangan dan hasil simulasi menggunakan ETAP. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi praktis dalam memastikan kesesuaian *setting* relai terhadap standar SPLN serta meningkatkan keandalan sistem proteksi pada gardu induk transmisi. Hubungan antara penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis dapat dilihat secara lebih jelas pada Gambar 1.1 yang menggambarkan keterkaitan fokus dan pengembangan penelitian ini terhadap studi-studi sebelumnya.



Gambar 1.1 Hubungan penelitian.

### 1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil perhitungan nilai *setting* arus dan waktu kerja relai pada relai arus lebih dan relai gangguan tanah dalam mengamankan sistem proteksi pada tahun 2020 dan tahun 2025.

2. Bagaimana hasil simulasi pada koordinasi antar relai arus lebih pada titik terpasang beserta relai gangguan tanah pada sistem proteksi trafo di Gardu Induk Majalaya pada tahun 2020 dan tahun 2025.

#### 1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan perhitungan nilai *setting* arus dan waktu kerja relai pada relai arus lebih dan relai gangguan tanah yang baik agar tidak mengalami gangguan koordinasi relai.
2. Melakukan simulasi menggunakan aplikasi ETAP pada koordinasi antar relai arus lebih pada titik terpasang beserta relai gangguan tanah.

#### 1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang didapatkan serta diharapkan dari penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada bidang ilmu ketenagalistrikan khususnya pada keilmuan sistem transmisi, dan sistem proteksi mengenai evaluasi koordinasi relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada trafo 70/20kV.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat membantu petugas lapangan menilai akurasi *setting* relai arus lebih dan gangguan tanah serta mengidentifikasi potensi ketidaksesuaian koordinasi proteksi pada trafo sehingga penyesuaian parameter dapat dilakukan secara tepat melalui simulasi pada ETAP.

#### 1.6 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

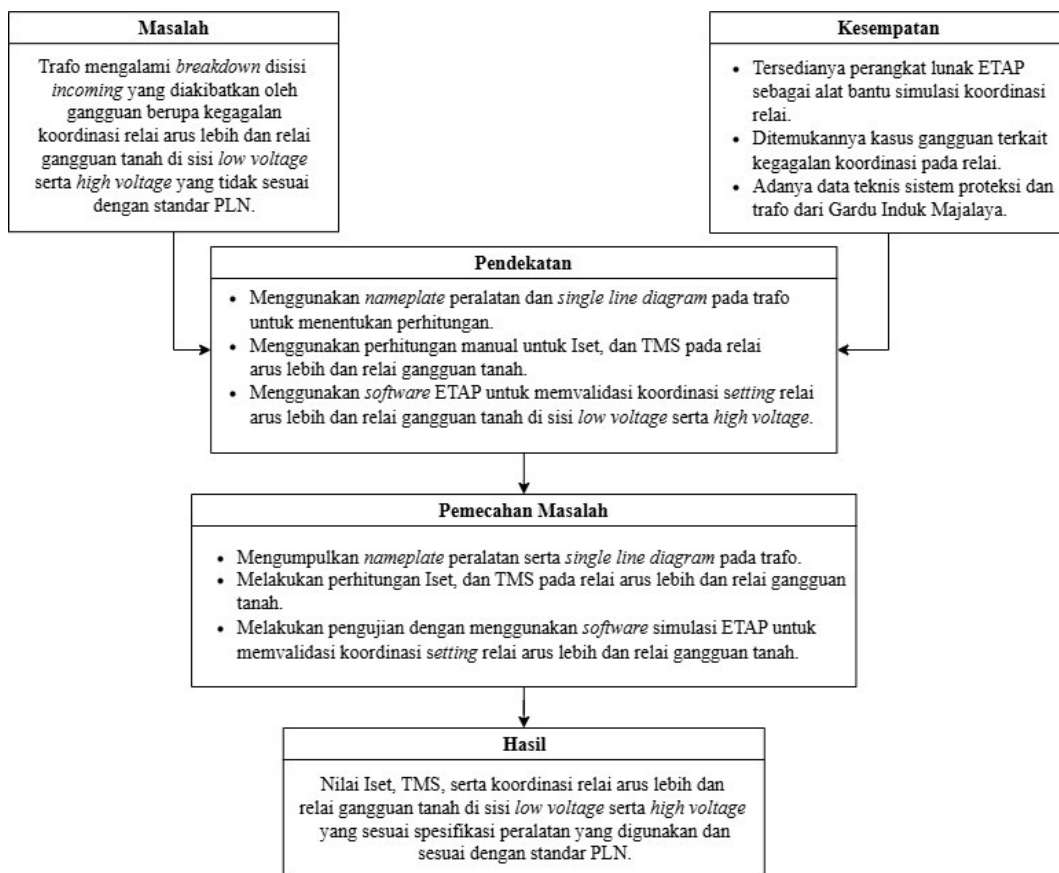
1. Pada penelitian ini relai arus lebih dan relai gangguan tanah menggunakan karakteristik *standard inverse*.
2. Penelitian ini menggunakan data yang dikumpulkan pada tahun 2020 dan tahun 2025.



3. Data pengkoordinasian relai yang disajikan hanya data hasil pengkoordinasian relai secara perhitungan manual dan data yang ada di lapangan serta hasil simulasi yang dilakukan pada aplikasi ETAP.

### 1.7 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran yang mendasari penelitian evaluasi koordinasi relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada trafo#1 70/20kV di Gardu Induk Majalaya ini dijelaskan pada Gambar 1.2.



Gambar 1.2 Kerangka pemikiran.

### 1.8 Sistematika Penulisan

Struktur penulisan tugas akhir ini terdiri dari enam bab yang membahas berbagai aspek terkait penelitian. Uraian singkat mengenai isi dari setiap bab dijelaskan sebagai berikut:

## **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan mengenai ide-ide yang mendasari dilakukannya penelitian evaluasi koordinasi relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada Trafo#1 70/20kV di Gardu Induk Majalaya secara umum. Penjelasan latar belakang serta konsep pada penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan hasil penelitian yang baik dan berkualitas.

## **BAB II TEORI DASAR**

Bab ini membahas hal-hal mendasar yang perlu dipahami sebelum pelaksanaan penelitian. Dalam penelitian ini, diperlukan penguasaan teori-teori yang relevan dan mendukung proses evaluasi koordinasi relai arus lebih serta relai gangguan tanah pada Trafo #1 70/20 kV di Gardu Induk Majalaya.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi diagram alir serta langkah-langkah proses pemecahan masalah yang terdapat pada penelitian secara sistematis agar mendapatkan hasil yang diinginkan serta dapat diimplementasikan dari penelitian evaluasi koordinasi relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada Trafo#1 70/20kV di Gardu Induk Majalaya.

## **BAB IV PERANCANGAN DAN SIMULASI KOORDINASI SISTEM PROTEKSI**

Bab ini berisi mengenai proses *setting* relai serta simulasi pada ETAP pada Trafo#1 70/20kV di Gardu Induk Majalaya, dimulai dari perhitungan arus dasar, perhitungan *setting* relai arus lebih dan relai gangguan tanah (sisi primer dan sisi sekunder), perhitungan TMS relai arus lebih dan relai gangguan tanah pada sisi *Low Voltage* dan *High Voltage*, lalu pemodelan *single line diagram* serta simulasi koordinasi sistem proteksi pada ETAP.

## **BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menyajikan hasil dari perhitungan manual arus *setting* dan TMS pada relai arus lebih dan gangguan tanah serta hasil simulasi pada ETAP pada Trafo#1 70/20kV di Gardu Induk Majalaya.

## **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian sebagai jawaban atas rumusan masalah, serta memuat saran yang dapat dijadikan acuan dalam pengembangan sistem proteksi.

