

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Listrik merupakan suatu hal yang sangat penting bagi kehidupan sehari-hari. Seperti yang diketahui, konsumsi energi listrik per kapita adalah total jumlah energi listrik yang digunakan di suatu wilayah, dibagi dengan jumlah penduduknya dalam periode satu tahun [1]. Menurut laporan dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI, konsumsi listrik per kapita di Negara Indonesia pada tahun 2022 mencapai 1.173 kWh/kapita. Kebutuhan konsumsi energi listrik tersebut meningkat sebesar 4% dibandingkan pada tahun sebelumnya [2]. Kebutuhan listrik oleh masyarakat yang cukup besar jumlah penduduknya bahkan bertambah di setiap tahunnya membuat energi listrik menjadi salah satu energi yang perlu diperhatikan keandalan dalam proses penyalurannya.

Sistem operasi tenaga listrik yang diterapkan di Negara Indonesia memiliki empat pembagian bidang operasi. Ketiga sistem operasi tersebut, yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi, sistem distribusi, dan juga sistem pemanfaatan tenaga listrik. Proses penyaluran energi listrik dari pihak penyedia hingga sampai ke pihak penerima konsumen tentunya dibutuhkan sistem operasi tenaga listrik yang handal. Sistem operasi tenaga listrik yang handal memiliki arti, yaitu apabila sistem tersebut bisa mencatu tenaga listrik dengan stabil dan berkesinambungan.

Energi listrik yang dihasilkan dari generator pada sistem pembangkitan tersebut kemudian melalui proses transmisi ke dalam jaringan tegangan ekstra tinggi sebesar 500kV atau pada jaringan tegangan tinggi sebesar 150kV yang disebut pihak *dispatcher* (penyalur). Proses penyaluran energi listrik dari sistem transmisi tersebut kemudian didistribusikan kepada konsumen (pemanfaatan energi listrik) melalui jaringan tegangan menengah sebesar 20kV. Besaran tegangan listrik tersebut kemudian diturunkan tegangannya sesuai ketentuan yang diterima oleh pihak konsumen, yaitu sebesar 220/380V.

Sistem distribusi atau penyaluran tenaga listrik adalah proses penyaluran energi listrik dari sistem transmisi atau pusat gardu induk yang memiliki level tegangan tertentu yang kemudian diturunkan ke level yang lebih rendah sebelum digunakan oleh pihak konsumen nantinya. Kompleks dan juga panjangnya sistem operasi tenaga listrik memiliki potensi resiko terkena gangguan yang tinggi dan juga beragam. Oleh karena itu, perlu adanya sistem proteksi yang handal dalam jaringan tegangan listrik dengan harapan pihak konsumen atau pemanfaatan tenaga listrik dapat menikmati energi listrik dengan baik tanpa adanya *trip* (gangguan) yang terjadi saat proses penyaluran tenaga listrik.

Proteksi sistem tenaga listrik adalah sistem proteksi yang dipasang pada peralatan-peralatan di sistem tenaga listrik, seperti misalnya pada generator, transformator, saluran jaringan, dan peralatan sistem tenaga listrik lainnya. Hal tersebut sebagai proteksi peralatan tersebut terhadap kondisi abnormal operasi sistem itu sendiri [3].

Hubung singkat dan kondisi abnormal lainnya sering terjadi pada sistem tenaga listrik. Tanpa relai proteksi dan juga *circuit breaker* (CB) untuk melindungi bagian-bagian sistem tenaga, arus tinggi dari hubung singkat atau jenis gangguan lainnya dapat merusak peralatan-peralatan pada sistem tenaga listrik. Gangguan pada sistem tenaga listrik adalah segala macam kejadian yang menyebabkan kondisi pada sistem tenaga listrik menjadi abnormal. Salah satu yang menyebabkan kondisi ini adalah gangguan hubung singkat. Berdasarkan dari pembagiannya, gangguan dibagi menjadi dua, yaitu gangguan simetris dan juga gangguan tidak simetris. Gangguan simetris, misalnya tiga fasa ke tanah. Sedangkan, gangguan tidak simetris, misalnya satu fasa ke tanah, hubung singkat dua fasa dan hubung singkat dua fasa ke tanah.

Relai proteksi digunakan untuk mendeteksi dan/atau mengidentifikasi disfungsi peralatan pada sistem tenaga listrik, serta juga menginstruksikan pemutus tegangan untuk mengisolasi bagian sistem yang sedang mengalami gangguan dari sistem lainnya yang tidak terjadi gangguan. Relai proteksi tidak dapat memprediksi atau mencegah kegagalan, namun relai hanya beroperasi setelah terjadi kegagalan.

Salah satu relai proteksi yang digunakan untuk pengamanan pada peralatan operasi sistem tenaga listrik adalah relai diferensial.

Relai diferensial memiliki prinsip kerja, berupa membandingkan nilai arus yang masuk dengan nilai arus yang keluar dari zona yang diproteksinya melalui transformator arus [4]. Ketika terjadi perbedaan nilai arus, maka relai diferensial akan mendeteksi adanya gangguan dan juga akan memberikan sinyal kepada PMT (Pemutus Tegangan) untuk membuka (*trip*) apabila terjadi perbedaan [5].

Perbedaan pada relai diferensial dengan alat proteksi sistem tenaga listrik lainnya terletak pada prinsip kerjanya, yaitu berupa perbedaan nilai arus antara arus masuk dengan nilai arus keluar. Relai ini lebih efektif untuk menangani gangguan yang terjadi pada kondisi internal suatu transformator [6]. Pada gangguan di luar daerah pengamanannya, relai diferensial tidak akan bekerja karena nilai besaran arus masukan dan keluaran masih sama besarnya (di dalam daerah pengamanan).

Relai diferensial bekerja tanpa koordinasi dengan relai yang lain, sehingga kerja relai ini dalam jangka waktu yang singkat. Relai diferensial juga tidak dapat dijadikan sebagai pengamanan cadangan dan relai tersebut memiliki batas daerah pengamanan dimana kedua relai diferensial dibatasi oleh transformator arus atau *current transformer* [7].

Relai diferensial sebagai proteksi sistem ketenagalistrikan memiliki peran sangat penting. Dalam pelaksanaan tugas akhir ini, penulis ingin merancang modul *trainer* sebagai wadah simulasi cara kerja relai diferensial melalui pembelajaran interaktif bagi penggunaannya. Hasil akhir dari pelaksanaan tugas akhir ini nantinya dihasilkan sebagai *pilot project* tahap awal dari upaya solusi permasalahan karena perlu adanya kemampuan daya saing yang harus dimiliki oleh para mahasiswa atau staf teknisi yang memiliki peminatan bekerja di suatu perusahaan atau industri operasi sistem tenaga listrik.

Dengan latar belakang permasalahan-permasalahan yang telah diuraikan di atas, maka pelaksanaan dalam cipta karya Tugas Akhir dengan mengangkat judul “**Rancang Bangun Modul Trainer Simulasi Relai Diferensial Berbasis Arduino Mega 2560**” diharapkan dapat untuk memberikan kontribusi terhadap solusi dari permasalahan yang sudah dijelaskan pada paragraf-paragraf sebelumnya.

Dalam proses pembuatan rancang bangun ini, akan digunakan sebuah mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pusat pengendalian sistem proteksi terhadap adanya gangguan pada transformator yang telah diatur melalui proses pemrograman sebelumnya. Sistem yang dibuat oleh penulis akan memberikan simulasi proteksi pada sebuah transformator *step-down* 220 VAC ke 24 VAC dengan nilai maksimum arus sebesar 3A. Kemudian, akan diberikan beban lampu yang diletakkan pada daerah dalam zona proteksi maupun luar zona proteksi dari relai diferensial. Hal tersebut dengan maksud juga sebagai simulasi gangguan yang ditimbulkan apabila terjadi penambahan arus yang mengakibatkan timbul adanya perbedaan nilai arus. Apabila perbedaan nilai arus melebihi *set-point* yang telah ditentukan maka relai akan memutuskan aliran untuk memproteksi transformator dari gangguan yang terjadi di dalam jaringan tenaga listrik tersebut.

## 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan dari pelaksanaan Tugas Akhir ini yang telah dijelaskan sebelumnya, sistem proteksi ketenagalistrikan dari alat relai diferensial terhadap proteksi terjadi adanya gangguan pada transformator memiliki peranan sangatlah penting. Oleh karena itu, para calon *engineer* pada industri operasi sistem tenaga listrik haruslah memiliki pemahaman yang memadai dan juga kemampuan praktis yang cakap. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan cara melakukan pembelajaran interaktif oleh para ahli profesional kepada para calon tersebut. Pembelajaran tersebut juga dapat ditunjang melalui sebuah modul *trainer* atau modul praktikum pembelajaran dalam hal ini relai diferensial sebagai salah satu alat proteksi ketenagalistrikan.

Rumusan masalah yang dapat diambil dari penjelasan latar belakang dari Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Modul *Trainer* Simulasi Relai Diferensial Berbasis Arduino Mega 2560” antara lain sebagai berikut:

1. Sistem ketenagalistrikan haruslah handal dan aman dikarenakan energi listrik dapat menunjang kegiatan manusia sehari-hari. Relai diferensial sebagai salah satu alat proteksi sistem ketenagalistrikan yang memiliki peranan penting pada pengamanan peralatan operasi sistem tenaga listrik.

2. Prinsip kerja dari relai diferensial, yaitu bekerja apabila terjadi perbedaan nilai arus diantara kedua sisi dari peralatan yang diproteksinya. Sehingga, daerah yang mengalami gangguan dapat diisolasi dari daerah lainnya yang aman.
3. Bekal pemahaman yang memadai serta kemampuan praktis yang harus dimiliki oleh mahasiswa/teknisi sebagai calon *engineer* dalam industri operasi sistem tenaga listrik, dalam hal ini pengetahuan mengenai relai diferensial sebagai salah satu komponen proteksi sistem ketenagalistrikan.

### **1.3. Tujuan Tugas Akhir**

Tugas Akhir di dalam proses pelaksanaannya yang berjudul “Rancang Bangun Modul *Trainer* Simulasi Relai Diferensial Berbasis Arduino Mega 2560” memiliki tujuan-tujuan yang akan diperoleh, antara lain sebagai berikut:

1. Mendapatkan penjelasan mengenai fungsi dari relai diferensial sebagai alat proteksi pada sistem tenaga listrik.
2. Dapat mengetahui prinsip kerja dari modul *trainer* relai diferensial berbasis Arduino Mega 2560 untuk proteksi utama transformator.
3. Membuat alat simulasi dari alat proteksi relai diferensial sebagai pengamanan utama transformator menggunakan Arduino Mega 2560.
4. Sebagai media pembelajaran mahasiswa program studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro dalam mata kuliah praktikum yang terkait.

### **1.4. Manfaat Tugas Akhir**

Kebermanfaatan dari hasil pelaksanaan Tugas Akhir ini merupakan menjadi salah satu poin indikator yang ingin diberikan kepada para penggunanya. Karya alat Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Modul *Trainer* Simulasi Relai Diferensial Berbasis Arduino Mega 2560,” memberikan penjelasan dibagi menjadi dua jenis manfaat tugas akhir, yaitu Manfaat Teoritis dan Manfaat Praktis, yang dijelaskan di bawah ini.

#### **1.4.1. Manfaat Teoritis**

Bahan kajian bagi penulis dalam upaya memberikan kontribusi karya cipta alat tugas akhir untuk menambah wawasan bagi perkembangan ilmu pengetahuan teknologi di bidang ketenagalistrikan terlebih khusus simulasi dari prinsip kerja relai diferensial yang dalam hal ini menggunakan mikrokontroler berbasis Arduino Mega 2560 sebagai proteksi transformator di sistem operasi tenaga listrik.

#### **1.4.2. Manfaat Praktis**

##### **1.4.2.1. Bagi Penyusun**

- a. Menerapkan ilmu dan teori yang telah diperoleh selama masa perkuliahan di program studi Teknik Listrik Industri Universitas Diponegoro.
- b. Mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang sistem proteksi tenaga listrik khususnya relai diferensial sebagai proteksi peralatan operasi sistem tenaga listrik.
- c. Penyusun mampu berkontribusi untuk mengembangkan modul trainer sebagai upaya meningkatkan kemampuan berdaya saing tinggi.
- d. Memahami cara pengaplikasian modul *trainer* simulasi relai diferensial dengan menggunakan mikrokontroler berbasis Arduino Mega 2560 berfungsi untuk proteksi peralatan operasi sistem tenaga listrik.

##### **1.4.2.2. Bagi Masyarakat**

Diharapkan dapat memberikan kebermanfaatan di lingkungan masyarakat sebagai upaya untuk meningkatkan pemahaman bahwa banyaknya peralatan di dalam sistem proteksi tenaga listrik. Salah satu peralatan proteksi tersebut, yaitu penggunaan dari relai diferensial sebagai proteksi utama transformator. Mengingat betapa pentingnya sistem operasi tenaga listrik yang handal bagi seluruh pihak. Dengan demikian, sistem kelistrikan yang handal dan aman sangat membantu pihak pemanfaatan tenaga listrik (industri, lembaga sosial, pemerintahan, dsb.) melalui upaya meningkatkan taraf perekonomian dan kesejahteraan yang lebih baik di suatu wilayah tertentu.

#### 1.4.2.3. Bagi Mahasiswa dan Pembaca

- a. Sebagai media pembelajaran mahasiswa untuk melakukan simulasi prinsip kerja dari relai diferensial sebagai proteksi utama transformator dalam mata kuliah praktikum yang terkait.
- b. Sebagai upaya peningkatan pembelajaran dan juga pemahaman mahasiswa maupun calon staf teknisi tentang relai diferensial terhadap gangguan yang terjadi di dalam maupun luar daerah pengamanan.
- c. Mahasiswa maupun calon staf teknisi dapat memahami konfigurasi dari arduino mega 2560 untuk modul *trainer* simulasi relai diferensial.
- d. Dapat menjadi referensi bacaan dan informasi tambahan khususnya bagi para mahasiswa dari program studi Teknik Listrik Industri Universitas Diponegoro ataupun program studi lainnya yang relevan dimana sedang menyusun tugas akhir dengan pokok permasalahan yang sama.

#### 1.4.2.4. Bagi Lembaga

Dapat menjadi salah satu bahan referensi pembelajaran secara interaktif bagi para mahasiswa dari Teknik Listrik Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro melalui mata kuliah praktikum yang relevan.

### 1.5. Pembatasan Masalah

Penulis dalam menyusun laporan tugas akhir ini dengan judul “Rancang Bangun Modul *Trainer* Simulasi Relai Diferensial Berbasis Arduino Mega 2560” membatasi bahasan permasalahan, antara lain sebagai berikut:

1. Simulasi sistem proteksi ini berfokus terhadap masalah gangguan yang terjadi di dalam zona maupun luar zona proteksi dari sistem relai diferensial.
2. Modul *trainer* ini akan memberikan simulasi proses proteksi transformator dari gangguan dalam maupun luar zona proteksi oleh relai diferensial.
3. Mikrokontroler yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah Arduino Mega 2560 sebagai pusat pengendalian sistem proteksi pada transformator terhadap gangguan yang telah diatur melalui proses pemrograman.

4. *Current Transformer* dalam Tugas Akhir ini menggunakan sensor arus yang berfungsi untuk membaca nilai besaran arus sisi primer maupun sekunder dari transformator yang sebagai alat diproteksi oleh relai diferensial.
5. Sensor arus yang digunakan pada sisi primer transformator, berupa sensor PZEM-004T dan sensor Gravity Current 20A untuk sisi sekundernya.
6. Percobaan modul *trainer* ini dengan melakukan uji coba simulasi gangguan dari rangkaian lampu yang diparalelkan ke dalam sistem, dengan uji coba beban lampu 7W, 9W, dan 12W dengan tegangan 24 VAC untuk di sisi sekunder dari transformator atau beban sistem. Sekaligus, lampu 5W dengan tegangan 220 VAC untuk di sisi primer transformator.

## **1.6.Sistematika Penulisan Laporan Tugas Akhir**

Laporan Tugas Akhir adalah salah satu karya ilmiah dimana disusun oleh mahasiswa secara sistematis dan runtut berupa hasil pelaksanaan sesuai dengan topik/karya alat dalam hal ini guna mengkaji dan juga membahas tentang aplikasi bidang ilmu ketenagalistrikan dalam penyelesaian suatu masalah. Berikut adalah penjelasan dari sistematika penulisan laporan tugas akhir dalam pelaksanaan ini.

### **1.6.1. Bagian Depan**

Pada bagian depan dalam penulisan laporan tugas akhir ini, antara lain sebagai berikut:

1. Halaman Judul
2. Halaman Pengesahan
3. Surat Pernyataan Keaslian
4. Berita Acara Ujian
5. Halaman Persembahan
6. Abstraks (dalam dua bahasa)
7. Kata Pengantar
8. Daftar Isi
9. Daftar Tabel
10. Daftar Gambar
11. Daftar Lampiran



### 1.6.2. Bagian Utama

Pada bagian utama dalam penulisan laporan tugas akhir dengan judul “Rancang Bangun Modul *Trainer* Simulasi Relai Diferensial berbasis Arduino Mega 2560” dengan isian utama seperti yang dijabarkan di bawah berikut ini.

#### **BAB I           PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan membahas seputar hal yang melatarbelakangi pembuatan tugas akhir ini, perumusan masalah, tujuan tugas akhir, pembatasan masalah, manfaat tugas akhir, dan juga sistematika penulisan laporan tugas akhir ini.

#### **BAB II          LANDASAN TEORI**

Dalam bab ini akan dibahas mengenai tinjauan pustaka dan dasar teori dari masing-masing bagian yang menjadi panduan atau dasar dari pembuatan laporan tugas akhir.

#### **BAB III        PERANCANGAN RANCANG BANGUN MODUL TRAINER SIMULASI RELAI DIFERENSIAL BERBASIS ARDUINO MEGA 2560**

Dalam bab ini menjelaskan bagaimana langkah-langkah kerja blok diagram alat secara keseluruhan, rangkaian perblok, dan rangkaian keseluruhan pada alat. Bagian ini menyajikan secara lengkap setiap langkah penelitian tugas akhir ini yang dilakukan dengan menggunakan bentuk kalimat pasif.

#### **BAB IV         PEMBUATAN KARYA ALAT RANCANG BANGUN MODUL TRAINER SIMULASI RELAI DIFERENSIAL BERBASIS ARDUINO MEGA 2560**

Membahas mengenai proses perancangan, pembuatan, hingga tahap perakitan alat tugas akhir. Penjelasan alur pembuatan alat disusun secara runtut dan teratur dimulai dari awal (alat dan bahan) sampai dengan bagian proses menjadi sebuah alat yang dapat beroperasi tingkat dasar (*prototype*).

**BAB V            PENGUJIAN DAN ANALISIS RANCANG BANGUN  
MODUL *TRAINER* SIMULASI RELAI DIFERENSIAL  
BERBASIS ARDUINO MEGA 2560**

Pada bagian ini adalah langkah terakhir dalam proses pembuatan alat tugas akhir yang dimana mencakup pengujian alat yang telah dirancang. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan pemahaman tentang fitur tiap blok rangkaian, fungsinya, dan proses kerja alat secara keseluruhan.

**BAB VI            PENUTUP**

Dalam bab ini berisi kesimpulan dari keseluruhan perancangan dan juga pembuatan alat tugas akhir serta saran-saran yang ingin disampaikan oleh penulis.

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**