

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keandalan sistem tenaga listrik merupakan aspek yang sangat penting dalam menjamin kontinuitas penyaluran energi listrik bagi kebutuhan rumah tangga, komersial, maupun industri. Dalam operasinya, sistem tenaga listrik rentan terhadap berbagai gangguan, seperti arus lebih (*overcurrent*), tegangan lebih (*overvoltage*), tegangan kurang (*undervoltage*), dan hubung singkat (*short circuit*). Gangguan tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik, menurunkan kualitas penyaluran energi, bahkan mengakibatkan terhentinya proses produksi apabila tidak segera ditangani. Oleh karena itu, sistem proteksi berperan penting dalam mendeteksi kondisi abnormal serta memisahkan bagian sistem yang mengalami gangguan agar tidak memengaruhi bagian sistem lain yang masih beroperasi secara normal.

Pada sistem tenaga listrik modern, fungsi proteksi umumnya menggunakan *multifunction relay* digital yang mampu memantau berbagai parameter kelistrikan sekaligus dengan tingkat akurasi yang tinggi. Meskipun memiliki kemampuan proteksi yang lengkap, penggunaan perangkat tersebut memerlukan biaya investasi yang relatif tinggi sehingga kurang ekonomis untuk laboratorium, media pembelajaran, maupun instalasi tenaga listrik skala kecil. Selain itu, pada sistem proteksi konvensional sering digunakan beberapa relay proteksi secara terpisah, seperti *Over Current Relay* (OCR), *Over Voltage Relay* (OVR), dan *Under Voltage Relay* (UVR). Penggunaan beberapa relay tersebut menyebabkan instalasi menjadi lebih kompleks, membutuhkan ruang panel yang lebih besar, serta menambah jumlah pengawatan dan proses pemeliharaan.

Perkembangan teknologi mikrokontroler memberikan alternatif dalam pengembangan sistem monitoring dan proteksi tenaga listrik yang lebih sederhana, fleksibel, dan ekonomis. Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan adalah Arduino Uno karena mudah diprogram dan memiliki banyak dukungan pustaka (*library*). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa Arduino mampu membaca parameter kelistrikan secara *real-time* dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil sehingga layak digunakan sebagai pengendali pada sistem monitoring maupun proteksi tenaga listrik [1].

Selain penggunaan mikrokontroler, pemanfaatan kWh meter digital sebagai perangkat akuisisi data juga semakin berkembang. kWh meter digital mampu mengukur berbagai parameter kelistrikan, seperti tegangan, arus, daya, dan energi listrik, kemudian mengirimkan data tersebut melalui komunikasi Modbus RTU berbasis RS-485 kepada Arduino Uno untuk diproses lebih lanjut [2]. Komunikasi Modbus RTU banyak digunakan pada sistem otomasi industri karena memiliki keandalan yang baik dalam proses pertukaran data [3].

Dibandingkan dengan sistem proteksi konvensional yang menggunakan beberapa relay dan sensor secara terpisah, penggunaan kWh meter digital sebagai sumber data utama memberikan beberapa keunggulan. Seluruh parameter kelistrikan dapat diperoleh dari satu perangkat sehingga jumlah komponen menjadi lebih sedikit, instalasi dan pengawatan lebih sederhana, serta pengembangan sistem menjadi lebih mudah. Selain itu, penggunaan Arduino Uno memungkinkan perubahan nilai set point, logika proteksi, maupun waktu respon dilakukan melalui perangkat lunak tanpa perlu mengubah rangkaian utama. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan menjadi lebih fleksibel serta dapat menjadi alternatif yang lebih ekonomis dibandingkan penggunaan *multifunction relay* komersial. Pada penelitian ini, aspek ekonomi dibatasi pada penggunaan komponen yang relatif sederhana dan mudah diperoleh tanpa melakukan analisis biaya maupun analisis kelayakan ekonomi secara kuantitatif.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan merancang sistem proteksi tenaga listrik tiga fasa berbasis kWh meter digital dan Arduino Uno. Data tegangan dan arus setiap fasa diperoleh melalui komunikasi Modbus RTU berbasis RS-485, kemudian diolah oleh Arduino Uno untuk menentukan kondisi normal maupun kondisi gangguan berdasarkan nilai set point yang telah ditentukan. Nilai set point diatur menggunakan keypad 4×4, sedangkan kondisi operasi sistem ditampilkan secara *real-time* melalui LCD 20×4. Sistem juga dilengkapi dengan tombol *Start* dan *Stop* untuk mengendalikan kontaktor sebagai penghubung maupun pemutus beban.

Fungsi proteksi yang dikembangkan meliputi *Over Voltage Relay* (OVR), *Under Voltage Relay* (UVR), *Over Current Relay* (OCR), serta deteksi gangguan hubung singkat (*short circuit*) melalui perhitungan impedansi berdasarkan perbandingan nilai tegangan dan arus hasil pengukuran. Setiap jenis gangguan diberikan nilai set point dan waktu respon (*time delay*) yang berbeda sesuai karakteristiknya sehingga

diharapkan dapat mengurangi kemungkinan terjadinya *false trip* akibat gangguan sesaat serta meningkatkan keandalan sistem proteksi. Apabila hasil pengukuran melebihi batas yang telah ditentukan selama waktu respon yang telah diatur, Arduino Uno akan memberikan perintah *trip* kepada relay sehingga kontaktor memutus hubungan beban dengan sumber listrik secara otomatis.

Melalui penelitian ini diharapkan dapat dihasilkan suatu sistem proteksi tenaga listrik tiga fasa yang mampu mengintegrasikan fungsi monitoring dan proteksi menggunakan satu perangkat kWh meter digital sebagai sumber data utama. Sistem yang dirancang diharapkan menjadi alternatif proteksi yang sederhana, fleksibel, dan lebih ekonomis untuk kebutuhan laboratorium, media pembelajaran, maupun instalasi tenaga listrik skala kecil, serta dapat menjadi dasar pengembangan sistem proteksi berbasis mikrokontroler pada penelitian selanjutnya.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam upaya mengembangkan sistem proteksi tenaga listrik yang sederhana, fleksibel, dan lebih ekonomis sebagai alternatif *multifunction relay* konvensional, diperlukan pemanfaatan kWh meter digital sebagai perangkat akuisisi data yang terintegrasi dengan Arduino Uno sebagai pengendali sistem proteksi. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pemanfaatan kWh meter digital sebagai komponen utama dalam sistem *multifunction relay* berbasis Arduino Uno?
2. Bagaimana pemanfaatan komunikasi Modbus RTU berbasis RS-485 untuk proses akuisisi data tegangan dan arus dari kWh meter digital?
3. Bagaimana implementasi fungsi proteksi *Over Voltage Relay* (OVR), *Under Voltage Relay* (UVR), *Over Current Relay* (OCR), serta deteksi gangguan hubung singkat berdasarkan perhitungan impedansi?
4. Bagaimana implementasi pengaturan nilai set point dan waktu respon (*time delay*) yang berbeda untuk setiap jenis gangguan agar mengurangi kemungkinan terjadinya *false trip* akibat gangguan sesaat?
5. Bagaimana kinerja sistem proteksi dalam mendeteksi kondisi gangguan serta mengendalikan relay dan kontaktor untuk memutus beban secara otomatis?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Untuk menjawab permasalahan yang ada pada penelitian ini, maka fokus tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Merancang sistem proteksi kelistrikan sederhana dan ekonomis berbasis kWh meter digital sebagai alternatif multifunction relay dalam pembacaan parameter tegangan dan arus.
2. Mengimplementasikan Arduino Uno sebagai pengendali sistem untuk membaca data parameter kelistrikan dari kWh meter digital melalui komunikasi Modbus RTU berbasis RS-485.
3. Mengembangkan logika proteksi berbasis mikrokontroler yang mampu mendeteksi kondisi gangguan seperti *overvoltage* (OVR), *undervoltage* (UVR), *overcurrent* (OCR), serta *short circuit* berdasarkan perbandingan nilai tegangan dan arus.
4. Merancang sistem pengaturan set point dan waktu respon proteksi melalui *keypad* serta menampilkan kondisi operasi sistem secara *real-time* melalui LCD.
5. Menganalisis kinerja sistem proteksi yang dirancang dalam mendeteksi kondisi abnormal serta mengaktifkan relay *trip* untuk mengendalikan kontaktor sebagai pemutus rangkaian.
6. Menganalisis aspek ekonomi sistem yang dikembangkan melalui perbandingan fungsi dan biaya implementasi dengan multifunction relay komersial Schneider Electric, sehingga dapat diketahui potensi efisiensi biaya serta kelayakan sistem sebagai alternatif media pembelajaran dan penelitian.

Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh suatu sistem proteksi tenaga listrik yang sederhana, fleksibel, dan lebih ekonomis dengan memanfaatkan kWh meter digital sebagai komponen utama dalam *multifunction relay* berbasis mikrokontroler. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi media pembelajaran dalam memahami prinsip kerja sistem monitoring dan proteksi pada instalasi tenaga listrik serta menjadi referensi bagi pengembangan penelitian selanjutnya.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak meluas ke aspek-aspek di luar cakupan, maka ditetapkan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Sistem proteksi yang dirancang menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali utama, dengan protokol komunikasi Modbus RTU berbasis RS-485 untuk akuisisi data dari kWh meter digital.
2. Parameter kelistrikan yang digunakan dalam penelitian ini terbatas pada tegangan dan arus yang dibaca dari kWh meter digital melalui komunikasi Modbus.
3. Fungsi proteksi yang dikembangkan terbatas pada deteksi kondisi abnormal, meliputi:
 - Arus lebih (*overcurrent*),
 - Tegangan lebih (*overvoltage*),
 - Tegangan kurang (*undervoltage*),
 - Gangguan hubung singkat (*short circuit*) yang dideteksi berdasarkan penurunan nilai impedansi hasil perbandingan antara tegangan dan arus.
4. Setiap fungsi proteksi menggunakan nilai set point dan waktu respon (*time delay*) yang berbeda sesuai karakteristik gangguan, sedangkan koordinasi proteksi dengan peralatan proteksi lain tidak dibahas dalam penelitian ini.
5. Pengujian sistem dilakukan pada skala laboratorium menggunakan beban simulasi, sehingga belum mencakup implementasi dan validasi langsung pada sistem tenaga listrik skala industri atau jaringan distribusi nyata.
6. Perangkat keras (*hardware*) yang digunakan dibatasi pada kWh meter digital, Arduino Uno, modul konverter RS485 to TTL (MAX485), *keypad* 4x4, LCD 20x4, relay, modifikasi kontaktor sebagai pengganti circuit breaker, *push button start* dan *stop*, serta beban simulasi.
7. Perangkat lunak (*software*) difokuskan pada pemrograman menggunakan Arduino IDE dengan *library* Modbus untuk pembacaan data parameter kelistrikan serta pemrosesan logika proteksi.

1.5 Sistematika Penulisan

Pada penelitian ini disusun secara sistematika agar memudahkan pembaca dalam memahami isi penelitian. Penelitian ini disusun dalam beberapa bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang mengenai pentingnya sistem proteksi pada instalasi tenaga listrik serta pemanfaatan kWh meter digital sebagai komponen utama *multifunction relay* sebagai alternatif sistem proteksi yang sederhana dan ekonomis. Selain itu, bab ini juga memuat rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian teori dan referensi yang mendukung penelitian, meliputi konsep sistem proteksi tenaga listrik, prinsip kerja *multifunction relay*, karakteristik dan fungsi kWh meter digital, mikrokontroler Arduino Uno, komunikasi Modbus RTU berbasis RS-485, serta penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem monitoring dan proteksi kelistrikan berbasis mikrokontroler.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan dan metode penelitian yang dilakukan, meliputi perancangan sistem proteksi, perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*), konfigurasi komunikasi Modbus RTU antara kWh meter digital dan Arduino Uno, serta perancangan antarmuka menggunakan LCD dan *keypad* untuk pengaturan set point. Selain itu, dijelaskan pula prosedur pengujian sistem untuk mengetahui kinerja proteksi terhadap kondisi gangguan.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil pengujian dari sistem yang telah dirancang. Hasil pengujian ditampilkan dalam bentuk tabel maupun grafik yang menunjukkan respons sistem terhadap kondisi *overcurrent*, *overvoltage*, *undervoltage*, serta gangguan *short circuit*. Selanjutnya dilakukan analisis untuk mengevaluasi kinerja sistem proteksi yang dikembangkan, termasuk respons *trip* dan kinerja kontaktor.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, serta saran yang dapat dijadikan acuan untuk pengembangan dan penyempurnaan sistem proteksi pada penelitian selanjutnya.