

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi dalam bidang ketenagalistrikan telah mendorong perubahan signifikan menuju era otomatisasi, digitalisasi, dan pemanfaatan data secara *real-time*. Salah satu teknologi yang menjadi pilar utama dalam mendukung transformasi ini adalah *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA). Sistem ini dirancang untuk memungkinkan pemantauan kondisi jaringan, pengendalian peralatan, serta pengumpulan data dari berbagai titik secara terintegrasi dan *real-time*. Implementasi SCADA pada sistem distribusi listrik modern terbukti memberikan banyak keuntungan, antara lain peningkatan efisiensi operasi, percepatan proses deteksi dan penanganan gangguan, hingga pengurangan biaya operasional jangka panjang. Bahwa penggunaan SCADA mampu meningkatkan efisiensi distribusi hingga 20% sekaligus memperpendek rata-rata waktu pemulihan gangguan (*average restoration time*). Dengan demikian, SCADA bukan sekadar alat pemantauan, melainkan juga instrumen strategis yang dapat memperkuat keandalan pasokan listrik di tengah meningkatnya kebutuhan energi global [1].

Indonesia sebagai negara dengan pertumbuhan ekonomi yang cukup pesat menghadapi tantangan besar dalam menjaga keandalan serta kualitas penyaluran energi listrik. Berdasarkan laporan Statistik PLN 2023, konsumsi listrik nasional tumbuh sekitar 4,9% per tahun, sejalan dengan peningkatan permintaan energi di sektor industri, rumah tangga, dan transportasi. Namun, masih terdapat persoalan serius berupa tingginya tingkat kehilangan energi (*losses*) pada jaringan distribusi. Pada tahun 2023, angka *losses* mencapai 7,65%, lebih tinggi dibandingkan standar global yang berada di kisaran 5%. Kondisi ini mencerminkan adanya inefisiensi dalam distribusi listrik di Indonesia, yang tidak hanya merugikan secara ekonomi, tetapi juga berdampak pada penurunan kualitas layanan kepada konsumen. Oleh karena itu, diperlukan inovasi berbasis sistem otomatisasi untuk menekan *losses*, meningkatkan kecepatan deteksi gangguan, serta menjamin keandalan suplai energi ke pengguna akhir [2].

Dalam sistem distribusi tenaga listrik, relay proteksi merupakan komponen vital yang berfungsi mendeteksi dan merespons kondisi abnormal seperti hubung singkat, kelebihan beban, maupun gangguan tegangan. Kinerja relay yang cepat dan akurat sangat menentukan stabilitas dan keamanan sistem distribusi. Integrasi relay dengan sistem SCADA mampu mempercepat waktu respon proteksi hingga 40% lebih cepat dibandingkan dengan pendekatan konvensional. Hal ini membuktikan bahwa SCADA tidak hanya mendukung fungsi *monitoring*, tetapi juga dapat mengoptimalkan kinerja relay sebagai bagian dari sistem kontrol adaptif yang lebih andal. Sayangnya, penerapan integrasi relay dan SCADA masih terbatas dalam skala simulasi dan pendidikan, sehingga dibutuhkan model yang lebih sederhana agar dapat dikaji dan dipelajari secara mendalam [3].

Meskipun SCADA dalam skala penuh sudah diterapkan oleh banyak perusahaan penyedia listrik besar, kenyataannya implementasi tersebut memerlukan biaya investasi yang cukup tinggi, terutama pada pembangunan infrastruktur komunikasi, perangkat keras, serta tenaga ahli yang kompeten. Hal inilah yang membuat akses langsung terhadap sistem SCADA nyata masih terbatas, khususnya di lingkungan pendidikan. Sebagai solusi, dikembangkanlah mini SCADA, yakni versi sederhana dari SCADA dengan biaya lebih terjangkau, desain fleksibel, dan pengoperasian yang lebih mudah. Mini SCADA sangat cocok digunakan dalam kegiatan laboratorium sebagai media simulasi dan penelitian awal. Dengan demikian, mahasiswa, peneliti, dan praktisi dapat mempelajari prinsip kerja SCADA serta mekanisme pengendalian relay tanpa harus bergantung pada sistem distribusi yang kompleks [4].

Seiring dengan kemajuan teknologi *embedded system* dan *Internet of Things* (IoT), pengembangan mini SCADA semakin mudah dilakukan. Berbagai penelitian menunjukkan tren pemanfaatan mikrokontroler, sensor digital, serta komunikasi serial maupun nirkabel dalam membangun prototipe SCADA sederhana. Sebagai contoh, Syahputra berhasil merancang prototipe mini SCADA berbasis Arduino yang mampu melakukan *monitoring* parameter listrik seperti tegangan dan arus serta mengendalikan relay dengan tingkat akurasi mencapai 95%. Temuan ini membuktikan bahwa perangkat keras sederhana dan perangkat lunak *open-source* dapat diintegrasikan untuk menghasilkan sistem mini SCADA

yang fungsional. Fakta tersebut membuka peluang besar bagi pengembangan mini SCADA sebagai sarana riset maupun pendidikan dengan biaya rendah [5].

Walaupun banyak penelitian sebelumnya telah dilakukan, sebagian besar masih terfokus pada fungsi *monitoring* dan visualisasi data pada *Human Machine Interface (HMI)*, sedangkan aspek kontrol relay secara *real-time* relatif kurang mendapat perhatian. Padahal, dalam sistem distribusi nyata, SCADA berfungsi tidak hanya sebagai alat pemantauan, tetapi juga sebagai sistem pengendali yang berperan penting dalam menjaga keandalan proteksi. Kesenjangan penelitian ini menunjukkan perlunya kajian yang lebih mendalam mengenai performa relay ketika diintegrasikan dengan mini SCADA, terutama dari sisi kecepatan respon dan keakuratan kendali [6].

Salah satu kendala utama dalam implementasi mini SCADA terletak pada keterlambatan respon komunikasi antara perangkat SCADA dengan relay. Dalam sistem tenaga listrik, bahkan keterlambatan hanya beberapa milidetik saja dapat menimbulkan konsekuensi serius, seperti kerusakan pada transformator atau pemadaman yang lebih luas. Oleh karena itu, optimalisasi komunikasi baik dari segi perangkat keras maupun protokol yang digunakan menjadi isu penting yang perlu diteliti. Namun, studi terdahulu belum banyak menyoroti bagaimana cara meminimalisasi *delay* ini, khususnya pada mini SCADA berbasis mikrokontroler, sehingga menjadi alasan kuat untuk dilakukan penelitian lebih lanjut [7].

Berdasarkan tinjauan pustaka, terlihat bahwa masih terdapat kesenjangan penelitian, yaitu kurangnya studi yang secara khusus mengembangkan mini SCADA untuk fungsi kontrol relay dengan pengujian menyeluruh terhadap parameter keandalan sistem. Penelitian ini berupaya untuk mengisi celah tersebut dengan merancang sebuah sistem mini SCADA yang tidak hanya berfokus pada *monitoring*, tetapi juga memungkinkan pengendalian relay secara *real-time*. Fokus utama diarahkan pada evaluasi waktu respon relay, akurasi pengendalian, dan reliabilitas sistem dalam berbagai kondisi operasi. Dengan menekankan pada aspek kontrol yang jarang dibahas dalam penelitian sebelumnya, studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baru bagi pengembangan mini SCADA yang lebih aplikatif dan relevan [8].

Kontribusi penelitian ini dapat dilihat dari dua perspektif. Pertama, secara teoretis, penelitian ini menambah khazanah literatur mengenai integrasi mini SCADA dengan relay distribusi, khususnya dalam konteks pengendalian *real-time*. Kedua, secara praktis, penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan prototipe yang bermanfaat sebagai media pembelajaran di laboratorium teknik elektro, sekaligus sebagai model awal penerapan kontrol otomatisasi pada jaringan distribusi berskala lebih besar. Dengan adanya prototipe ini, mahasiswa dan peneliti dapat memperoleh pemahaman yang lebih aplikatif mengenai mekanisme SCADA dan sistem proteksi distribusi, serta mempersiapkan sumber daya manusia yang kompeten di bidang tenaga listrik modern.

Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian mengenai “Sistem Mini SCADA Sebagai Pengontrol *Relay* Pada Modul Sistem Distribusi”. Fokus penelitian akan diarahkan pada kinerja relay yang meliputi kecepatan respon, akurasi, dan reliabilitas sistem. Dengan mengangkat aspek kontrol yang sebelumnya kurang dieksplorasi, penelitian ini diharapkan mampu memberikan inovasi baru sekaligus memperluas pemahaman mengenai mini SCADA, baik dari segi teoretis maupun praktis. Manfaat yang dihasilkan bukan hanya dalam ranah akademik, tetapi juga dalam mendukung pengembangan teknologi distribusi tenaga listrik yang lebih efisien, handal, dan sesuai dengan tuntutan era otomatisasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, dapat diidentifikasi permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana perancangan serta implementasi sistem mini SCADA yang dapat melakukan pengendalian relay pada modul distribusi tenaga listrik secara *real-time* dengan tetap memperhatikan aspek kecepatan respon, tingkat akurasi kontrol, dan reliabilitas sistem?
2. Sampai sejauh mana performa sistem mini SCADA yang dirancang dapat dievaluasi dari sisi waktu respon komunikasi, ketepatan kendali relay, serta keandalan operasional, jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang mayoritas hanya berfokus pada fungsi *monitoring*?

3. Bagaimana hasil penerapan *software* LabVIEW dalam memonitoring dan mengontrol *under/over voltage* serta *over current*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Merancang sekaligus mengimplementasikan sistem mini SCADA yang terhubung dengan relay pada modul distribusi tenaga listrik sebagai media kontrol *real-time*, dengan penekanan pada kecepatan respon, ketepatan pengendalian, serta reliabilitas sistem.
2. Mengevaluasi kinerja sistem mini SCADA yang dihasilkan melalui uji respon komunikasi, akurasi kendali relay, dan tingkat keandalan operasional, serta membandingkannya dengan hasil penelitian sebelumnya yang sebagian besar hanya menitikberatkan pada fungsi *monitoring*.
3. Untuk mengetahui hasil penerapan *software* LabVIEW dalam memonitoring dan mengontrol *under/over voltage* serta *over current*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan pengetahuan mengenai mini SCADA dengan menambahkan fungsi kontrol relay secara *real-time*, serta memperluas konsep integrasi antara *monitoring* dan pengendalian dalam sistem distribusi tenaga listrik.
2. Menghasilkan sebuah prototipe yang dapat dijadikan sebagai sarana pembelajaran praktis di laboratorium teknik elektro, sekaligus berfungsi sebagai model awal dalam penerapan kontrol distribusi berskala kecil, seperti pada *microgrid* atau jaringan listrik lokal, guna meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem.
3. Sebagai sumber ilmu tentang cara membuat sistem proteksi *under/over voltage* dan *over current* serta *monitoring* menggunakan *software* LabVIEW.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Sistem Distribusi Jurusan Teknik Elektro Universitas Malikussaleh.
2. Menganalisis pengukuran waktu respon (*response time*), tingkat akurasi kendali, serta reliabilitas operasi relay dalam mengeksekusi perintah yang dikirimkan oleh sistem SCADA.
3. Penelitian ini berfokus pada fungsi pengendalian relay sebagai aktuator utama dalam modul distribusi, yang mencakup pelaksanaan perintah *on/off* serta evaluasi kinerja kontrol berbasis SCADA tanpa menyimpan data.
4. Pengujian sistem dilakukan pada skala laboratorium menggunakan perangkat lunak Arduino dan LabVIEW sebagai *monitoring* serta mengontrol relay sebagai pengaman beban.
5. Fokus pada simulasi ini adalah proteksi pada gangguan tegangan kurang (*under voltage*), tegangan lebih (*over voltage*) dan arus lebih (*over current*) dan tidak membahas klasifikasi maupun perhitungan beban.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam penulisan ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini penulis mengulas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan landasan teoritis serta kajian pustaka yang berkaitan, yang berfungsi sebagai dasar konseptual dalam mendukung penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjabarkan secara rinci tahapan penelitian yang dilakukan, meliputi pendekatan yang digunakan hingga metode analisis data yang diterapkan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi dan pengujian sistem mini SCADA, disertai dengan pembahasan yang terstruktur untuk menjelaskan temuan penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas tentang kesimpulan dan saran pada skripsi penulis.