BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keandalan sistem distribusi tenaga listrik merupakan faktor fundamental dalam menjaga kontinuitas suplai dan kualitas layanan kepada pelanggan. Indikator keandalan seperti *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) dan *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) menjadi parameter utama dalam mengevaluasi kinerja jaringan distribusi (Nazaruddin et al., 2020). Nilai SAIDI menggambarkan rata-rata lamanya gangguan yang dialami pelanggan, sedangkan SAIFI menunjukkan rata-rata frekuensi gangguan yang terjadi pada pelanggan dalam periode tertentu. Semakin kecil nilai kedua indeks tersebut, semakin tinggi tingkat keandalan sistem distribusi. Oleh karena itu, peningkatan keandalan jaringan distribusi menjadi salah satu prioritas utama perusahaan penyedia tenaga listrik karena berpengaruh langsung terhadap kualitas pelayanan, kepuasan pelanggan, efisiensi operasional, serta pencapaian indikator kinerja perusahaan (Prasetia et al., 2024)

Pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV, gangguan permanen maupun sementara masih menjadi penyebab utama meningkatnya nilai SAIDI dan SAIFI (Lembang et al., 2024). Kompleksitas topologi jaringan, pertumbuhan jumlah pelanggan, peningkatan beban, serta keterbatasan perangkat proteksi menyebabkan proses identifikasi lokasi gangguan, isolasi gangguan, dan pemulihan suplai masih membutuhkan waktu yang relatif lama. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perusahaan utilitas termasuk PT PLN (Persero) telah menerapkan otomasi jaringan melalui penggunaan *Remote Switching Device* (RSD) seperti *recloser*, *sectionalizer*, dan *automated Load Break Switch* (LBS) yang terintegrasi dengan sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) (Berbasis Scada pada Penyulang Bacan ULP Pulung Kencana Jeckson et al., n.d.). Pemanfaatan RSD mampu mempercepat proses *fault isolation* dan *service restoration*, memperkecil wilayah terdampak gangguan, serta menurunkan energi tidak tersalurkan sehingga berkontribusi terhadap peningkatan keandalan sistem distribusi (Q. Li et al., 2025).

Meskipun demikian, keberhasilan implementasi RSD tidak hanya ditentukan oleh jumlah perangkat yang dipasang, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh ketepatan lokasi

pemasangannya. Penempatan RSD yang kurang optimal dapat menyebabkan proses isolasi gangguan tidak berlangsung secara efektif sehingga masih banyak pelanggan yang mengalami pemadaman meskipun jaringan telah dilengkapi perangkat otomasi. Selain itu, biaya investasi pengadaan dan instalasi RSD relatif tinggi sehingga pemasangan pada lokasi yang tidak memberikan kontribusi signifikan terhadap penurunan SAIDI dan SAIFI berpotensi menimbulkan pemborosan investasi (B. Li et al., 2020). Permasalahan ini menunjukkan bahwa diperlukan suatu metode yang mampu menentukan lokasi pemasangan RSD secara objektif berdasarkan karakteristik jaringan dan tingkat prioritas setiap gardu distribusi (Febiani et al., n.d.)

Selama ini, penentuan lokasi RSD umumnya dilakukan melalui pendekatan konvensional, seperti analisis historis gangguan, pengalaman *engineer*, maupun perhitungan teknis sederhana. Pendekatan tersebut cenderung bersifat subjektif dan belum mempertimbangkan secara simultan berbagai faktor yang memengaruhi keandalan jaringan, seperti jumlah pelanggan, kapasitas daya terpasang, panjang jaringan, konfigurasi jaringan, serta karakteristik gangguan (Keller et al., 2024). Akibatnya, keputusan penempatan RSD sering kali belum menghasilkan peningkatan keandalan yang optimal. Seiring berkembangnya teknologi komputasi dan analisis data, berbagai metode kecerdasan buatan dan optimasi mulai diterapkan untuk membantu proses pengambilan keputusan secara lebih sistematis, objektif, dan berbasis data (Alanazi & Alanazi, 2023).

Salah satu metode yang banyak digunakan dalam pengambilan keputusan multikriteria adalah *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Metode ini memiliki kemampuan untuk mengubah penilaian kualitatif menjadi bobot kuantitatif melalui perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*), sehingga setiap kriteria dapat diberikan tingkat kepentingan yang proporsional. Dalam penelitian ini, kriteria yang digunakan meliputi jumlah pelanggan, kapasitas daya terpasang, dan panjang jaringan, yang masing-masing memiliki pengaruh berbeda terhadap tingkat keandalan sistem distribusi (Sakura et al., 2017). Penggunaan AHP dipilih karena mampu menghasilkan bobot prioritas yang konsisten melalui pengujian *Consistency Ratio* (CR), sehingga proses pembobotan menjadi lebih objektif dibandingkan penentuan bobot secara langsung berdasarkan intuisi atau pengalaman (Canco et al., 2021).

Setelah diperoleh bobot prioritas menggunakan AHP, diperlukan metode optimasi yang mampu menentukan kombinasi lokasi pemasangan RSD terbaik pada ruang solusi yang sangat besar dan kompleks. Salah satu algoritma optimasi yang banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO). Algoritma PSO dipilih karena memiliki kemampuan eksplorasi dan eksploitasi yang baik dalam mencari solusi optimum global dengan proses komputasi yang relatif sederhana, jumlah parameter yang sedikit, serta kecepatan konvergensi yang tinggi. Dibandingkan metode optimasi konvensional, PSO lebih efektif dalam menangani permasalahan optimasi nonlinier dan multidimensi, termasuk optimasi penempatan perangkat pada sistem distribusi tenaga listrik yang memiliki banyak kemungkinan kombinasi lokasi pemasangan. (Q. Li et al., 2025)

Kombinasi metode AHP dan PSO diharapkan mampu mengatasi keterbatasan apabila kedua metode digunakan secara terpisah. AHP berperan dalam menghasilkan bobot prioritas setiap gardu berdasarkan tingkat kepentingan kriteria, sedangkan PSO memanfaatkan bobot tersebut untuk mencari konfigurasi penempatan RSD yang memberikan peningkatan keandalan sistem secara optimal (Amohadi & Fotuhi-Firuzabad, 2019). Dengan demikian, proses optimasi tidak hanya mempertimbangkan pencarian solusi terbaik, tetapi juga didasarkan pada tingkat prioritas setiap lokasi yang diperoleh melalui proses pengambilan keputusan multikriteria yang terukur. Pendekatan hibrida ini diharapkan menghasilkan solusi yang lebih akurat, objektif, dan efisien dibandingkan penggunaan metode pembobotan maupun optimasi secara terpisah, Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini mengembangkan model optimasi penempatan *Remote Switching Device* (RSD) pada jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV menggunakan pendekatan hybrid *Analytical Hierarchy Process* (AHP) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan metode *Hybrid Analytical Hierarchy Process* (AHP) *dan Particle Swarm Optimization* (PSO) dalam menentukan lokasi optimal

penempatan Remote Switching Device (RSD) pada jaringan distribusi tenaga listrik 20 kV?

2. Bagaimana kinerja metode *Hybrid* AHP–PSO dibandingkan dengan metode AHP dan PSO secara terpisah dalam meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik berdasarkan nilai SAIDI, SAIFI, dan efisiensi penggunaan RSD?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Membangun sistem optimasi penempatan RSD berbasis *Particle Swarm Optimization* (PSO) memanfaatkan bobot hasil AHP sebagai parameter dalam fungsi objektif
2. Mengukur performa AHP-PSO dalam menentukan penempatan RSD serta pengaruhnya terhadap SAIDI dan SAIFI.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diperoleh baik bagi peneliti, akademisi, serta praktisi di bidang utilitas ketenagalistrikan antara lain sebagai berikut.

1. Memberikan metode yang lebih objektif dan terukur untuk menentukan lokasi optimal pemasangan RSD berdasarkan pembobotan kriteria menggunakan AHP dan optimasi komputasional melalui PSO.
2. Meningkatkan keandalan jaringan distribusi dengan menghasilkan konfigurasi penempatan RSD yang mampu menurunkan nilai SAIDI dan SAIFI, secara signifikan dibandingkan kondisi eksisting.
3. Mendukung efektivitas investasi otomasi jaringan dengan memastikan perangkat RSD dipasang pada titik-titik yang memberikan dampak paling besar terhadap pengurangan frekuensi dan durasi pemadaman.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Untuk menjaga fokus, kedalaman analisis, dan memastikan penelitian ini terarah sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, maka ruang lingkup dan batasan masalah diuraikan sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada jaringan distribusi Tegangan Menengah (20kV) pada 149 *feeder* di PT PLN (Persero) UP3 Serpong dan tidak mencakup jaringan tegangan rendah maupun transmisi.
2. Jenis perangkat *Remote Switching Device* (RSD) yang dianalisa berada di jaringan utama (*main* line) seperti Recloser, Sectionalizer, dan LBS otomatis:
3. Model AHP digunakan hanya untuk penentuan bobot kriteria dan sub-kriteria, sementara proses optimasi lokasi sepenuhnya dilakukan oleh algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO).
4. Data yang digunakan adalah data gardu di bulan April 2026 dan dataset yang digunakan dari dataset PT. PLN Persero, UP3 Serpong yang terbatas pada data historis gangguan, data konfigurasi jaringan, data pelanggan, data jarak antar gardu, dan data kapasitas gardu.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini diuraikan secara sistematis menjadi lima bab yang disusun secara ringkas, padat, dan jelas. Berikut adalah uraian dari penulisan skripsi:

BAB I PENDAHULUAN

memberikan penjelasan tentang penelitian, termasuk latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan dan keuntungan penelitian, serta ruang lingkup masalah yang dibatasi dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Kerangka pemikiran yang mendukung penelitian dan teori yang digunakan dalam penelitian dibahas.

BAB III METODE PENELITIAN

Menguraikan desain penelitian, lokasi dan waktu penelitian, pengumpulan data dan penetapan kriteria.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil dari program dengan metode hybrid ahp-pso yang telah dirancang dan diimplementasikan, serta melakukan analisis terhadap hasil implementasi sistem tersebut.

BAB V PENUTUP

Memuat kesimpulan dari hasil pembahasan yang telah dijelaskan sepanjang penelitian, serta memberikan rekomendasi untuk perbaikan dan penyempurnaan sistem yang dapat dilakukan oleh peneliti selanjutnya.