

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi energi listrik di Indonesia tumbuh 59% dalam dekade terakhir [1]. Pada tahun 2023 konsumsi listrik Indonesia mencapai 288.436 Gwh dengan konsumsi tertinggi di wilayah Jawa, Madura dan Bali sebesar 202.765 Gwh [2]. Kementerian ESDM menyebutkan bahwa pada tahun 2023 konsumsi tenaga listrik nasional per kapita sebesar 1.337,25 kWh dan menargetkan akan mencapai 1.408 kWh per kapita pada tahun 2024. Pertumbuhan ini mencerminkan peningkatan kebutuhan sektor industri dan rumah tangga terhadap pasokan energi yang andal, yang kemudian terefleksikan dalam proyeksi konsumsi listrik per kapita nasional. Untuk mengakomodasi pertumbuhan konsumsi listrik tersebut, perusahaan penyedia tenaga listrik dituntut untuk mengembangkan kapasitas pembangkitan yang mencukupi, membangun infrastruktur distribusi yang andal dan efisien guna menjaga keandalan dan efisiensi sistem ketenagalistrikan nasional.

PT PLN (Persero) merupakan perusahaan memiliki peran sentral di dalam industri ketenagalistrikan di Indonesia, dengan kegiatan usaha yang terintegrasi meliputi konstruksi infrastruktur ketenagalistrikan, pembangkitan, transmisi, distribusi, hingga retail. Untuk mengakomodir potensi pertumbuhan permintaan listrik, PT PLN (Persero) harus memastikan ketersediaan infrastruktur penyaluran yang andal dan efisien baik pada sistem transmisi dan distribusi. Infrastruktur atau jaringan listrik yang efisien ditandai oleh tingkat kehilangan energi atau *losses* yang rendah. Kehilangan energi dalam jaringan, yang dikenal sebagai susut jaringan, merupakan persentase energi listrik yang hilang selama proses penyaluran, baik pada tahap transmisi maupun distribusi [2].

Susut jaringan dapat terjadi akibat faktor teknis, seperti karakteristik penghantar dan peralatan, maupun faktor non teknis, seperti pencurian listrik dan kesalahan pencatatan meter. Berdasarkan proses bisnisnya, susut jaringan dibagi menjadi susut transmisi dan susut distribusi. Pada 2023, PT PLN (Persero) mencatat 8,57% susut jaringan yang terdiri dari 2,01% susut transmisi dan 6,71% susut distribusi. Meskipun susut teknis bersifat inheren, berbagai penelitian dan pengembangan terus dilakukan untuk menekannya, menjadikannya topik yang tetap relevan dalam diskursus akademik maupun praktik industri. Tingginya tingkat susut dalam sistem distribusi merupakan indikator rendahnya efisiensi energi, yang

tidak hanya meningkatkan biaya operasional, tetapi juga berdampak negatif terhadap kualitas pelayanan listrik kepada pelanggan. Oleh karena itu, perumusan dan implementasi strategi pengurangan susut menjadi salah satu fokus utama PT PLN (Persero) dalam pengelolaan dan pengembangan sistem distribusi tenaga listrik yang andal dan efisien. Dalam konteks wilayah perkotaan padat seperti Jakarta, tantangan pengelolaan sistem distribusi menjadi semakin kompleks seiring dengan tingginya kepadatan beban, variabilitas konsumsi, serta potensi terjadinya susut jaringan yang lebih tinggi.

Salah satu strategi yang diterapkan PT PLN (Persero) adalah optimalisasi rekonfigurasi penyulang dengan implementasi teknologi Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) yang mulai diterapkan beberapa tahun terakhir [3]. SCADA adalah sistem kendali dan pemantauan yang digunakan dalam jaringan listrik untuk mengawasi, mengendalikan, dan mengumpulkan data secara real-time dari berbagai komponen sistem tenaga listrik, seperti gardu induk, trafo, saluran transmisi, dan distribusi. Strategi ini menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi sistem distribusi. Dengan SCADA, PT PLN (Persero) dimungkinkan untuk memantau dan mengendalikan jaringan distribusi secara real-time, serta melakukan rekonfigurasi penyulang secara fleksibel untuk mengurangi susut dan meningkatkan keandalan sistem.

Salah satu metode yang dapat diterapkan untuk mengoptimalkan jaringan distribusi adalah melalui rekonfigurasi penyulang (*feeder reconfiguration/FRC*) atau disebut juga dengan rekonfigurasi jaringan. Rekonfigurasi jaringan merupakan fungsi penting dari sistem distribusi yang mengubah topologi jaringan distribusi dengan memodifikasi posisi buka/tutup dari saklar penghubung (*tie switch*) dan saklar penyekat (*sectionalizing switch*) [4]. Rekonfigurasi jaringan mengubah struktur jaringan distribusi dengan cara mengatur ulang koneksi antara penyulang guna mengoptimalkan distribusi daya. Dengan rekonfigurasi yang tepat, aliran daya dalam jaringan menjadi lebih seimbang, sehingga dapat mengurangi susut serta meningkatkan efisiensi sistem distribusi. Dengan adanya sistem kendali jarak jauh pada SCADA, proses rekonfigurasi jaringan dapat dilakukan dengan lebih fleksibel tanpa harus melibatkan intervensi manual yang memakan waktu.

Jakarta yang merupakan pusat perekonomian terbesar di Indonesia kelistrikannya mayoritas menggunakan sistem jaringan distribusi 20kV dengan tipe spindle. Jaringan spindle merupakan kombinasi jaringan dari pola radial dan ring. Spindle terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari gardu induk dan tegangan tersebut

berakhir pada sebuah gardu hubung. Jaringan spindle memiliki karakteristik khusus yang menimbulkan tantangan tersendiri dalam optimalisasi aliran daya dan efisiensi distribusi, seperti risiko ketidakseimbangan beban dan tingginya susut akibat sifat radialnya. Oleh karena itu, pengembangan strategi pengelolaan yang efektif pada jaringan spindle sangat diperlukan untuk meminimalkan kehilangan energi serta meningkatkan keandalan dan kualitas pasokan listrik di wilayah Jakarta. Integrasi teknologi SCADA dalam strategi rekonfigurasi jaringan spindle 20 kV memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi dengan menurunkan susut. Rekonfigurasi berbasis SCADA memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat melalui pemantauan dan pengendalian sistem secara *real-time*.

Berdasarkan kondisi eksisting jaringan spindle PT PLN (Persero) UID Jakarta Raya, sejumlah penyulang ekspres teridentifikasi dalam kondisi siaga (*standby*) tanpa pembebanan. Penyulang dalam kondisi *idle* ini tercatat 509 penyulang sekitar 20.2% dari total jumlah penyulang yang tersebar di wilayah Jakarta. Penyulang ekspres ini dapat dimanfaatkan sebagai bagian dari strategi rekonfigurasi jaringan untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi, khususnya dalam merespons kondisi kontinjensi maupun redistribusi beban secara dinamis. Optimalisasi pemanfaatan penyulang ekspres melalui sistem rekonfigurasi berbasis SCADA diharapkan dapat meningkatkan keandalan sistem distribusi sekaligus meminimalkan susut.

Tabel 1. 1 Aset Penyulang PLN UID Jakarta Raya

No	Kriteria Penyulang	Jumlah
1	Penyulang berbeban	1,683
2	Penyulang Spotload (khusus)	237
3	Pernyulang ekspres	509

Sumber: Data Aset PLN UID Jakarta Raya, Maret 2025

Penerapan strategi rekonfigurasi jaringan berbasis SCADA dapat meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik serta berkontribusi pada penurunan tingkat susut energi. Sebaliknya, tanpa penerapan strategi rekonfigurasi, distribusi beban pada gardu tidak optimal, terutama pada gardu-gardu yang berjarak jauh dari gardu induk. Kondisi ini

berpotensi menurunkan kualitas layanan jaringan, meningkatkan susut daya, menimbulkan ketidakpuasan pelanggan, serta berdampak negatif terhadap citra PLN secara keseluruhan.

Penelitian terdahulu menjelaskan bahwa rekonfigurasi penyulang terbukti efektif dalam meningkatkan keandalan dan efisiensi sistem tenaga listrik. Beberapa studi menunjukkan bahwa rekonfigurasi jaringan berbasis Algoritma Ant Colony mampu menurunkan susut [5]. Pemanfaatan teknologi SCADA pada pembangkit listrik tenaga angin memungkinkan pendeteksian kerugian akibat efek wake, sehingga membantu pengambilan keputusan dalam penataan ulang posisi turbin[6]. Di sisi lain, penelitian mengenai susut juga telah banyak diteliti, rekonfigurasi jaringan yang optimal dapat menurunkan susut sebesar 14,2% [7]. Rekonfigurasi jaringan pada jaringan radial dikombinasikan dengan penempatan kapasitor terbukti dapat mengurangi susut [4]. Keberhasilan rekonfigurasi jaringan dalam mengurangi susut bergantung pada pembukaan saklar secara berurutan [8].

Meskipun sejumlah studi telah membahas penerapan rekonfigurasi penyulang dalam pengurangan susut pada jaringan distribusi listrik, belum banyak penelitian yang secara khusus memodelkan efektivitas strategi rekonfigurasi jaringan spindle 20 kV di wilayah perkotaan padat seperti Jakarta terutama dengan pemanfaatan fasilitas Remote Control SCADA. Sebagian besar kajian sebelumnya lebih fokus pada aspek teknis secara umum dan pendekatan konstruksional, seperti pembangunan jaringan baru, tanpa mempertimbangkan kompleksitas karakteristik lokal serta dinamika konsumsi listrik yang unik di Jakarta.

Penelitian ini memfokuskan pada pemodelan strategi rekonfigurasi jaringan spindle distribusi 20 kV berbasis SCADA untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik di Jakarta. Dengan pendekatan pemodelan ini, penelitian diharapkan dapat memberikan dua kontribusi utama. Pertama, memperkaya literatur mengenai penerapan teknologi otomasi, khususnya SCADA, dalam pengelolaan dan optimasi jaringan distribusi listrik melalui rekonfigurasi spindle. Kedua, menghasilkan rekomendasi teknis yang aplikatif dalam konteks sistem distribusi di kawasan padat penduduk, guna mendukung peningkatan efisiensi operasional serta pengembangan sistem tenaga listrik yang adaptif dan berkelanjutan di masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

Penulis mengangkat rumusan masalah dari yang sudah dijelaskan pada latar belakang di atas yang mana akan menjadi pembahasan pada penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana pengaruh strategi rekonfigurasi jaringan spindle 20 kV berbasis SCADA terhadap efisiensi sistem distribusi tenaga listrik?
2. Berapa tingkat efisiensi sistem distribusi tenaga listrik yang dapat dicapai melalui pemodelan rekonfigurasi jaringan berbasis SCADA?

1.3 Tujuan

Tujuan yang diharapkan tercapai oleh penulis dari latar belakang dan rumusan masalah, yaitu :

1. Mengidentifikasi pengaruh rekonfigurasi jaringan berbasis SCADA dalam meningkatkan efisiensi sistem distribusi.
2. Mengukur tingkat efisiensi sistem distribusi tenaga listrik melalui pemodelan rekonfigurasi jaringan berbasis SCADA.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan oleh penulis dari dilakukannya penelitian ini diantaranya, yaitu :

1. Menambah referensi ilmu pengetahuan di bidang teknik elektro, khususnya terkait pemodelan rekonfigurasi jaringan distribusi berbasis teknologi otomasi (SCADA) dalam konteks wilayah urban.
2. Memberikan dasar pertimbangan teknis bagi operator sistem distribusi dalam pengambilan keputusan terkait pengelolaan jaringan spindle 20 kV berbasis SCADA untuk meningkatkan efisiensi operasional.
3. Memberikan referensi bagi pelaku bisnis di industri ketenagalistrikan, seperti PLN dalam mengembangkan strategi pengelolaan jaringan distribusi berbasis SCADA yang adaptif, efisien, dan sesuai dengan karakteristik wilayah perkotaan padat.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang disebutkan di atas, untuk menghindari adanya pembahasan yang meluas maka penulis membatasi dengan ruang lingkup masalah diantaranya, yaitu :

1. Wilayah studi penelitian ini terbatas pada wilayah kerja Jakarta tanpa mencakup area lain di Indonesia.

2. Pembahasan hanya akan berfokus pada jaringan tegangan menengah 20 kV dan tidak mencakup jaringan tegangan rendah.

1.6 Kebaruan

Penelitian ini menawarkan kebaruan dalam memodelkan strategi rekonfigurasi jaringan spindle 20 kV berbasis SCADA di wilayah perkotaan padat seperti Jakarta. Berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang umumnya hanya berfokus pada aspek teknis umum atau pendekatan konstruksional seperti pembangunan jaringan baru, penelitian ini menekankan pada optimalisasi sistem eksisting dengan mempertimbangkan kompleksitas dan dinamika konsumsi listrik perkotaan. [9]

Pendekatan ini memungkinkan pengaturan aliran daya dan pengalihan beban dilakukan secara otomatis dan dinamis, sehingga lebih adaptif terhadap fluktuasi konsumsi harian. Dengan memanfaatkan fasilitas Remote Control SCADA dan integrasi dengan sistem pendukung seperti MDMS, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai efektivitas strategi rekonfigurasi dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi tenaga listrik, sekaligus menjadi langkah konkret menuju implementasi smart grid di kawasan urban seperti Jakarta.