

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah penduduk serta perkembangan sektor industri di Indonesia terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Kondisi tersebut berbanding lurus dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat terhadap energi listrik sebagai salah satu kebutuhan utama dalam menunjang berbagai aktivitas. Agar energi listrik yang dihasilkan dari pusat pembangkit dapat dimanfaatkan oleh pelanggan, diperlukan suatu sistem tenaga listrik yang terdiri atas pembangkit, jaringan transmisi, dan jaringan distribusi. Dalam proses penyalurannya menuju konsumen, energi listrik harus melewati jaringan dengan jarak yang cukup panjang. Seiring meningkatnya jumlah pelanggan PT PLN (Persero) akibat pertumbuhan ekonomi dan pembangunan, jaringan distribusi yang ada juga terus mengalami perluasan. Akibatnya, jarak antara transformator distribusi dengan pusat beban menjadi semakin jauh sehingga posisi transformator yang sebelumnya telah direncanakan tidak lagi berada pada lokasi yang optimal (Safitri dan Ananta, 2020).

Salah satu masalah yang sering terjadi pada sistem distribusi tenaga listrik PT PLN (Persero) adalah terjadinya jatuh tegangan pada jaringan distribusi (voltage drop). Panjang saluran distribusi, nilai resistansi dan reaktansi penghantar, luas penampang konduktor, dan besarnya arus beban yang mengalir melalui jaringan adalah beberapa faktor yang memengaruhi jatuh tegangan, yang merupakan perbedaan nilai tegangan antara sisi pengirim dan sisi penerima karena adanya impedansi pada penghantar yang dialiri arus beban. Nilai jatuh tegangan meningkat seiring dengan panjang saluran dan beban yang disuplai. Kondisi tersebut dapat menyebabkan tegangan pelanggan, terutama pada ujung penyulang, turun hingga berada di bawah batas standar pelayanan yang ditetapkan. Oleh karena itu, kemampuan sistem distribusi untuk mempertahankan profil tegangan yang tepat hingga sisi pelanggan merupakan salah satu indikator penting dalam

menjaga kualitas dan keandalan penyaluran tenaga listrik. (Abdullah & Badaruddin, 2020).

Penurunan tegangan sekaligus rugi-rugi teknis pada sistem distribusi merupakan salah satu indikator untuk menilai tingkat efisiensi penyaluran energi listrik. Semakin besar rugi-rugi yang terjadi, maka semakin rendah pula efisiensi sistem distribusi tersebut. Kondisi ini tidak dapat dihindari karena setiap penghantar memiliki nilai tahanan dan reaktansi yang menyebabkan terjadinya rugi daya serta penurunan tegangan selama proses penyaluran energi listrik. Semakin panjang jaringan distribusi yang digunakan, semakin besar pula impedansi saluran sehingga tegangan pada sisi beban akan semakin menurun. Oleh sebab itu, perencanaan jaringan distribusi tidak hanya mempertimbangkan aspek kapasitas penyaluran daya, tetapi juga harus memperhatikan kualitas tegangan, rugi-rugi daya, keandalan sistem, kemudahan pemeliharaan, serta kontinuitas pelayanan kepada pelanggan agar sistem tetap beroperasi secara optimal (Pramono et al., 2018)

Pemasangan transformator distribusi tambahan atau transformator sisip adalah salah satu cara untuk memperbaiki sistem distribusi. Ini dapat dilakukan untuk mengatasi masalah drop tegangan yang terjadi pada ujung penyulang karena panjang jaringan dan peningkatan pembebanan. Metode ini menggunakan transformator tambahan di lokasi tertentu yang mengalami pembebanan tinggi atau penurunan kualitas tegangan. Ini memungkinkan sebagian beban dari transformator saat ini dialihkan ke transformator tambahan. Pembagian beban dapat mengurangi rugi-rugi daya, meningkatkan profil tegangan pelanggan, dan mengurangi arus yang mengalir pada jaringan (Sahidanto et al., 2023).

Pemasangan transformator sisip menjadi salah satu alternatif solusi karena mampu meningkatkan kinerja jaringan distribusi dengan tetap memanfaatkan infrastruktur yang telah tersedia. Penentuan lokasi pemasangan transformator secara tepat dapat membantu mengoptimalkan penyaluran energi listrik, mengurangi pembebanan transformator utama, serta menjaga kestabilan tegangan pada jaringan distribusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode transformator sisip mampu memperbaiki kondisi operasi jaringan melalui

penurunan tingkat pembebanan transformator dan peningkatan kualitas tegangan pada sisi penerima, sehingga dapat menjadi solusi yang lebih efektif dibandingkan melakukan pengembangan jaringan secara menyeluruh (Prastia et al., 2024).

Penyaluran tenaga listrik perlu dilakukan secara efisien agar tegangan yang diterima oleh konsumen tetap stabil dan tidak mengalami penurunan selama proses distribusi. Masyarakat sebagai pengguna listrik mengharapkan pasokan energi yang terjamin kontinuitasnya dan memiliki keandalan tinggi. Salah satu faktor penting yang menentukan keandalan sistem distribusi tenaga listrik adalah kestabilan tegangan di setiap titik jaringan distribusi. Penurunan tegangan (drop tegangan) merupakan selisih antara tegangan pada sisi pengirim dengan tegangan pada sisi penerima (Daniati et al., 2024).

Dengan menganalisis dan memperbaiki penurunan tegangan, keandalan serta stabilitas jaringan listrik dapat ditingkatkan. Pemanfaatan perangkat lunak simulasi seperti ETAP (Electrical Transient and Analysis Program) memungkinkan analisis mendalam terhadap jaringan listrik, dan ETAP memfasilitasi pengguna dalam menyusun model simulasi yang mencerminkan sistem tenaga listrik yang sesungguhnya. Ini mencakup model transformator, jaringan distribusi, beban, dan komponen lainnya. ETAP mampu melaksanakan perhitungan penurunan tegangan berdasarkan parameter-parameter yang telah dimasukkan ke dalam model. Ini memungkinkan kita untuk menilai distribusi tegangan di seluruh sistem dan menemukan titik-titik di mana penurunan tegangan bisa menjadi masalah. Melalui ETAP, kita bisa menilai kinerja sistem secara komprehensif, termasuk dampak dari penambahan trafo terhadap penurunan tegangan dan distribusi tegangan (Muhammad et al., 2023).

Usaha peningkatan dalam sistem distribusi listrik juga dapat mendukung upaya keberlanjutan lingkungan melalui pengoptimalan pemakaian energi dan penurunan emisi yang dihasilkan dari produksi listrik. Efisiensi yang lebih baik berarti penggunaan sumber daya yang lebih rendah untuk mencapai kebutuhan energi yang setara. Pengurangan penggunaan energi ini membantu mengurangi emisi gas rumah kaca yang berasal dari pembangkit listrik (Putra Purnomo et al., 2023).

Dalam mengevaluasi kondisi jatuh tegangan pada sistem distribusi tenaga listrik diperlukan kriteria teknis yang sesuai dengan bagian jaringan yang dianalisis. Jatuh tegangan yang terlalu besar dapat menyebabkan penurunan kualitas tegangan pada sisi pelanggan dan memengaruhi keandalan penyaluran energi listrik. Besarnya jatuh tegangan dipengaruhi oleh panjang jaringan, impedansi dan luas penampang penghantar, besarnya arus beban, serta kondisi pembebanan transformator. Semakin panjang jaringan distribusi, semakin besar impedansi penghantar yang dilalui, sedangkan peningkatan pembebanan menyebabkan arus yang mengalir pada jaringan semakin besar sehingga potensi terjadinya jatuh tegangan pada sisi ujung jaringan juga meningkat. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya evaluasi terhadap jaringan tegangan rendah, terutama pada jaringan yang memiliki jarak pelayanan relatif panjang dan tingkat pembebanan transformator yang tinggi.

Salah satu acuan teknis yang dapat digunakan dalam evaluasi jatuh tegangan jaringan distribusi adalah SPLN 72:1987 tentang Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Berdasarkan standar tersebut, batas jatuh tegangan dibedakan menurut bagian jaringan distribusi, yaitu sebesar 3% pada transformator distribusi dan sampai dengan 4% dari tegangan kerja pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR), bergantung pada kepadatan beban. Pada jaringan yang dianalisis dari sisi pangkal hingga sisi ujung JTR, nilai 4% dapat digunakan sebagai kriteria teknis dalam menilai kondisi jatuh tegangan (Yulianto La Elo et al., 2024).

Upaya perbaikan drop tegangan pada jaringan distribusi tenaga listrik di PT. PLN ULP Kuala Simping berpotensi meningkatkan efisiensi penyaluran energi listrik dari gardu induk hingga ke pelanggan. Perbaikan ini tidak hanya berperan dalam menekan rugi-rugi daya yang timbul akibat penurunan tegangan yang berlebihan, tetapi juga dapat berkontribusi terhadap penghematan biaya operasional perusahaan. Penanganan drop tegangan secara efektif memungkinkan peningkatan kualitas pelayanan listrik kepada pelanggan, optimalisasi pemanfaatan peralatan listrik, serta pengurangan frekuensi perawatan dan penggantian komponen yang berisiko mengalami kerusakan akibat penurunan

tegangan dalam jangka waktu yang lama. Dengan demikian, perbaikan drop tegangan tidak hanya memberikan manfaat dari sisi teknis, tetapi juga berdampak positif terhadap efisiensi.

Salah satu jaringan distribusi PT PLN (Persero) ULP Kuala Simpang adalah penyulang TC-02 Suka Ramai. Panjang jaringan Penyulang TC-02 adalah sekitar 46,06 km, dengan total 46 unit transformator distribusi yang terpasang, menurut data Diagram Jalur Satu (SLD). Namun, satu transformator di area PLT Biogas Alur Manis sudah tidak berfungsi (off). Akibatnya, ada 45 transformator aktif yang termasuk dalam sistem operasi. Profil tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dapat dipengaruhi oleh panjang jaringan dan sebaran beban pada beberapa gardu.

Dari sisi teknis, bertambahnya panjang saluran distribusi akan menyebabkan nilai impedansi jaringan semakin besar. Peningkatan impedansi tersebut berpengaruh langsung terhadap bertambahnya rugi-rugi daya serta meningkatnya penurunan tegangan pada sepanjang penghantar. Selain dipengaruhi oleh panjang saluran, penurunan tegangan juga dapat terjadi akibat tingginya pembebanan transformator distribusi. Beban trafo yang mendekati atau melebihi kapasitas nominal akan meningkatkan arus yang mengalir pada jaringan, sehingga rugi-rugi tegangan pada penghantar menjadi semakin besar. Kondisi tersebut menyebabkan nilai tegangan pada sisi pelanggan, terutama yang berada di ujung jaringan, mengalami penurunan yang lebih tinggi.

Penggunaan SPLN 72:1987 sebagai acuan teknis menjadi penting dalam penelitian pada Penyulang TC-02 ULP Kuala Simpang karena beberapa gardu distribusi memiliki jaringan tegangan rendah yang relatif panjang dan tingkat pembebanan transformator yang tinggi. Kondisi tersebut dapat meningkatkan arus dan impedansi efektif jaringan sehingga memperbesar jatuh tegangan pada sisi ujung JTR. Oleh karena itu, nilai jatuh tegangan yang diperoleh dari pengukuran maupun simulasi dibandingkan dengan batas yang ditetapkan dalam SPLN 72:1987 untuk menentukan gardu yang memerlukan prioritas perbaikan melalui metode sisip trafo.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada penyusunan skripsi dengan judul “Analisis Perbaikan Drop Tegangan Akibat Panjang Jaringan Menggunakan Metode Sisip Trafo pada Penyulang TC-02 ULP Kuala Simpang Berbasis Simulasi ETAP, sebagai upaya untuk mengevaluasi kondisi jatuh tegangan pada jaringan distribusi serta mengetahui efektivitas penerapan metode sisip trafo dalam meningkatkan kualitas tegangan pada sisi pelanggan..

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Berapa besar drop tegangan yang terjadi pada Penyulang TC-02 ULP Kuala Simpang akibat panjang jaringan distribusi?
2. Bagaimana perubahan profil distribusi tegangan sebelum dan sesudah dilakukan penambahan trafo sisip berdasarkan hasil simulasi ETAP?
3. Bagaimana pengaruh penerapan metode sisip trafo terhadap perbaikan drop tegangan pada Penyulang TC-02 ULP Kuala Simpang?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis besarnya drop tegangan yang terjadi pada Penyulang TC-02 ULP Kuala Simpang akibat panjang jaringan distribusi
2. Menganalisis pengaruh penerapan metode sisip trafo terhadap perbaikan drop tegangan pada Penyulang TC-02 ULP Kuala Simpang
3. Menyajikan hasil simulasi ETAP sebagai dasar evaluasi teknis terhadap kinerja jaringan distribusi sebelum dan sesudah penambahan trafo sisip

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ditulis, pada penelitian ini membatasi masalah yang terjadi sebagai berikut:

1. Penelitian ini tidak membahas analisis gangguan hubung singkat, koordinasi sistem proteksi, harmonisa, stabilitas transien, maupun analisis ekonomis sistem tenaga listrik.
2. Data yang digunakan berupa data teknis jaringan distribusi, transformator, dan beban yang tersedia pada Penyulang TC-02

3. Metode perbaikan yang dikaji dalam penelitian ini adalah metode sisip trafo pada jaringan distribusi

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui kondisi Jaringan distribusi khusus nya Penyulang TC-02 ULP Kuala Simpang
2. Mengetahui penyebab drop tegangan yang terjadi di Penyulang TC 02 ULP Kuala Simpang.
3. Dapat mengetahui pemanfaatan dengan metode sisip trafo sebagai salah satu solusi mengatasi drop tegangan di Penyulang TC 02.
4. Dapat menjadi bahan pertimbangan dan rekomendasi teknis bagi PT. PLN ULP Kuala Simpang dalam upaya memperbaiki permasalahan drop tegangan pada Penyulang TC-02.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis menyusun dengan sistematika bab dan juga sub bab, sehingga penulis membentuk dan menyusun Proposal Tugas Akhir ini dengan pedoman format dan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan. Menjelaskan dasar permasalahan dan arah penelitian yang dilakukan pada Penyulang TC-02 ULP Kuala Simpang..

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas penelitian terdahulu dan teori-teori yang mendukung penelitian, meliputi sistem tenaga listrik, sistem distribusi, jaringan distribusi primer dan sekunder, penghantar distribusi, transformator, daya listrik, faktor daya, jatuh tegangan, susut energi, rugi daya listrik, metode sisip trafo, serta perangkat lunak ETAP.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian, tempat dan waktu penelitian, teknik pengumpulan data, data penelitian, alat yang digunakan, teknik analisis data, serta proses simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP. Bab ini juga menjelaskan metode yang digunakan untuk menganalisis kondisi jaringan sebelum dan sesudah dilakukan pemasangan transformator sisip.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil dan pembahasan mengenai kondisi eksisting Penyulang TC-02, hasil simulasi kondisi eksisting, kebutuhan transformator sisip, simulasi penempatan transformator sisip, serta hasil perbaikan jaringan. Hasil kondisi sebelum dan sesudah perbaikan kemudian dibandingkan untuk mengetahui pengaruh pemasangan transformator sisip terhadap jatuh tegangan, pembebanan transformator, dan rugi-rugi daya pada jaringan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian serta saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pengembangan penelitian selanjutnya maupun sebagai masukan dalam evaluasi jaringan distribusi tenaga listrik.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini memuat seluruh sumber referensi yang digunakan sebagai dasar teori, metode, standar teknis, dan pendukung dalam penyusunan penelitian. Sumber yang digunakan dapat berupa buku, jurnal ilmiah, standar PLN, serta referensi lain yang berkaitan dengan sistem distribusi tenaga listrik dan topik penelitian.

LAMPIRAN

Bagian ini memuat data dan dokumen pendukung yang digunakan dalam penelitian. Lampiran dalam skripsi ini terdiri atas Single Line Diagram Penyulang TC-02, data transformator TC-02, profil

arus dan tegangan Penyulang TC-02, data beban transformator dan persentase pemakaian, data penampang Penyulang TC-02, serta hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP.