

I

B

PENDAHULUAN

A

B

Salah satu jenis sistem tenaga listrik adalah sistem distribusi, yang menyalurkan energi ke pelanggan, mulai dari pelanggan besar (pabrik, industri, dan tambak) hingga pelanggan kecil (rumah, komunitas, pemerintah). Jaringan Tegangan Menengah (JTM) adalah komponen penting dari sistem tenaga listrik. Fungsinya adalah untuk mengirimkan energi listrik dari gardu induk ke gardu distribusi yang lebih kecil atau langsung ke konsumen besar, seperti industri. Saluran ini menggunakan kawat konduktor yang direntangkan di udara dengan bantuan tiang atau menara, seperti namanya.

Dalam sistem distribusi tenaga listrik, konduktor memiliki peranan penting dalam penghantaran energi listrik dari sumber ke konsumen. Konduktor dengan resistansi tinggi menyebabkan rugi daya yang lebih besar, mengakibatkan penurunan tegangan (drop tegangan) pada titik ujung saluran, yang pada gilirannya mempengaruhi kualitas listrik yang diterima oleh konsumen dan efisiensi sistem distribusi (Sumiyati et al., 2024). Sistem distribusi sendiri terbagi atas dua yaitu, saluran distribusi tegangan menengah yang menggunakan tegangan 20 kV dan sistem distribusi tegangan rendah yang menggunakan tegangan 220/380 V (Mampori et al., 2023).

Sistem distribusi tenaga listrik adalah elemen penting yang menghubungkan sumber pembangkit dengan konsumen akhir, yang berarti kualitas listrik yang diterima oleh pelanggan sangat dipengaruhi oleh kondisi dan kinerja jaringan distribusi itu sendiri. Salah satu tantangan utama dalam distribusi listrik adalah terjadinya drop tegangan dan rugi daya yang disebabkan oleh tahanan pada penghantar atau konduktor. Besar kecilnya drop tegangan dan rugi dayaini dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya adalah panjang saluran distribusi, jenis konduktor yang digunakan, kapasitas transformator (trafo), tipe beban yang terhubung ke jaringan, serta faktor daya dan

jumlah daya yang terpasang pada sistem(Affandy et al., 2021). Selain itu, penggunaan beban induktif, seperti motor listrik, juga dapat meningkatkan kebutuhan akan beban reaktif, yang berujung pada peningkatan rugi daya dan penurunan kualitas tegangan. Oleh karena itu, kondisi teknis jaringan distribusi, termasuk pemilihan jenis konduktor dan pengelolaan beban, memainkan peranan penting dalam memastikan bahwa tegangan yang diterima oleh pelanggan tetap stabil dan efisien (Sajayasa et al., 2022).Meningkatnya usaha di bidang industri yang banyak menggunakan beban yang bersifat induktif menyebabkan kebutuhan daya reaktif meningkat. Peningkatan kebutuhan daya reaktif menyebabkan terjadinya drop tegangan yang akan menyebabkan kurang efektif suatu sistem distribusi. Buruknya pendistribusian daya listrik pada suatu sistem distribusi ditinjau dari kualitas tegangan yang diterima konsumen. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk nilai drop suatu tegangan menurut Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi adalah -10% dan +5% dari nilai nominal(Adil & Sonni, 2022)

Konduktor yang digunakan pada saluran udara tegangan menengah biasanya terbuat dari bahan seperti aluminium atau paduan tembaga, yang memiliki resistansi tertentu. Resistansi konduktor ini berpengaruh langsung terhadap besarnya rugi daya yang terjadi selama distribusi tenaga listrik(Simbolon et al., 2022). Semakin tinggi resistansi konduktor, semakin besar rugi daya yang terjadi, dan semakin besar penurunan tegangan yang terjadi sepanjang jalur distribusi. Ini menyebabkan kualitas tegangan di titik konsumen menjadi tidak stabil, yang berisiko merusak peralatan listrik dan mengurangi efisiensi penggunaan energy(Eksandy, 2024).

Untuk menjaga pasokan listrik, sistem distribusi tenaga listrik sangatlah penting dan kualitas suplai energi listrik kepada pelanggan. Sebagai salah satu elemen utama dalam sistem tenaga listrik, Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) menjadi jalur penghubung antara gardu induk dan beban pelanggan (Agung et al., 2024). Namun, seiring dengan

peningkatan kebutuhan energi listrik dan pertumbuhan beban, tantangan terhadap stabilitas dan keandalan sistem distribusi terus meningkat (Funan & Sutarna, 2020). Sistem tenaga listrik memiliki fungsi untuk menghasilkan, mentransfer, dan menyebarkan listrik dari pembangkit ke konsumen (Nantan et al., 2023). Tergantung kebutuhan, jaringan distribusi tenaga listrik mendistribusikan energi listrik pada tegangan rendah 380V atau 220V dan tegangan menengah 20 kV pelanggan (Hajar & Hasbi, 2019). Jaringan distribusi sebagian besar masih menggunakan saluran udara, yang membuatnya lebih rentan terhadap gangguan yang bisa datang dari faktor internal maupun eksternal (Kurniadi et al., 2021). Secara umum, sistem ini terdiri dari berbagai unit pembangkit yang terhubung dengan saluran untuk memenuhi kebutuhan beban. Pada sistem dengan banyak mesin, daya dialirkan ke beban melalui saluran yang terhubung dalam penyaluran (Husna & Pelawi, 2018). Sistem penyaluran listrik yang baik sistem transmisi, sub-transmisi, dan distribusi. Sistem ini digunakan karena memiliki potensi besar untuk mengurangi penurunan tegangan (Nugraha & Arfianto, 2024). Penurunan tegangan ini dapat terjadi karena konduktor yang digunakan memiliki resistansi. Sehingga, penyaluran energi listrik jarak jauh sangat rentan terhadap penurunan tegangan, yang mengakibatkan banyaknya kehilangan tegangan dan arus listrik (Sajayasa et al., 2022). Salah satu elemen penting yang perlu diperhitungkan saat merencanakan jaringan adalah memastikan kualitas saluran yang baik serta kontinuitas pelayanan yang optimal bagi konsumen (Joko et al., 2018)

Tingkat tegangan SUTM biasanya berkisar dari 1 kV sampai dengan 35 kV; namun, standar tegangan menengah yang paling umum di Indonesia adalah 20 kV. Laju ekonomi dan pelanggan terus meningkat seiring waktu. Hal ini menyebabkan beban pemakaian listrik yang terus meningkat. Akibatnya, tuntutan pelanggan terhadap sistem yang mensuplai pasokan listrik ke pelanggan semakin meningkat. Namun, ada banyak masalah yang terjadi saat mendistribusikan listrik ke pelanggan. Beberapa di antaranya adalah penurunan tegangan (penurunan

tegangan) yang disebabkan oleh sambungan yang tidak setandar, yang menyebabkan pendistribusian tegangan menjadi tidak normal (penurunan tegangan). Penurunan tegangan yang disebabkan oleh sambungan saluran udara tegangan menengah (SUTM) yang tidak standar adalah masalah serius yang disebabkan oleh hambatan (resistansi) lokal pada titik tersebut.

Berdasarkan literatur teknis yang berkaitan dengan SPLN yang berlaku, standar variasi tegangan pada sistem distribusi adalah sebagai berikut: SPLN No. 1 Tahun 1995 atau peraturan sejenis yang diperbarui adalah standar yang umum digunakan untuk mengatur batas tegangan pelayanan, yang secara tidak langsung mengatur batas tegangan drop.

Drop Tegangan Tegangan di titik terjauh saluran udara tegangan menengah (SUTM) tidak boleh turun lebih dari 10% dari tegangan nominalnya (20 kV). Toleransi tegangan minimum, atau minus 10% dari nominal, adalah batas yang secara langsung membatasi akumulasi Drop tegangan (drop tegangan) maksimum yang diizinkan sepanjang saluran.

Untuk mengantisipasi hal tersebut, maka diperlukan alternatif penyelesaian, salah satunya dengan melakukan perbaikan sambungan pada SUTM.

Dengan kondisi demikian, perlu adanya tindakan preventif untuk mencegah terjadinya kerusakan dengan melakukan perbaikan Titik sambung di jaringan tersebut. Penulis akan mencoba menganalisa rencana pemasangan Perbaikan titik sambung di Penyulang sagitarius beberapa titik yang kiranya sambungannya sudah tidak standar lagi. Harapannya, dengan melakukan perbaikan tersebut, dapat meningkatkan keandalan sistem distribusi listrik terhadap pelanggan.

1. Penambahan Aspek Suhu dan Kualitas Sambungan

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian penting dalam sistem ketenagalistrikan yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari gardu induk hingga ke konsumen akhir. Pada sistem distribusi tegangan menengah 20 kV, khususnya Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), kualitas tegangan sangat dipengaruhi oleh kondisi teknis

jaringan, termasuk panjang saluran, jenis konduktor, besar arus beban, serta kualitas sambungan antar konduktor.

Penyulang Sagitarius yang berada di wilayah kerja PT PLN (Persero) UP3 Lahat merupakan jaringan distribusi 20 kV dengan konfigurasi radial. Pada sistem radial, aliran daya hanya berasal dari satu sumber, sehingga titik ujung penyulang menjadi lokasi paling rentan mengalami penurunan tegangan (drop tegangan), terutama saat Waktu Beban Puncak (WBP).

Salah satu faktor yang sering diabaikan namun memiliki pengaruh signifikan terhadap kualitas tegangan adalah kenaikan suhu pada titik sambungan konduktor. Secara teoritis, resistansi penghantar akan meningkat seiring dengan kenaikan temperatur. Hubungan antara resistansi dan temperatur dapat dinyatakan bahwa semakin tinggi suhu konduktor, maka nilai resistansinya semakin besar. Peningkatan resistansi ini akan memperbesar rugi-rugi daya (I^2R losses) serta meningkatkan nilai jatuh tegangan (ΔV) sepanjang saluran.

Pada kondisi lapangan, ditemukan beberapa titik sambungan pada SUTM Penyulang Sagitarius yang tidak memenuhi standar teknis, seperti:

1. Koneksi longgar (tidak sesuai torsi pengencangan)
2. Permukaan konduktor teroksidasi
3. Penggunaan konektor yang tidak standar
4. Kontak listrik yang tidak sempurna

Sambungan yang tidak baik akan menimbulkan tahanan kontak (contact resistance) yang lebih besar dibandingkan tahanan penghantar normal. Ketika arus beban sebesar ± 151 A mengalir melalui sambungan tersebut, maka akan terjadi pemanasan lokal (local heating). Kenaikan suhu pada titik sambungan ini menyebabkan:

1. Resistansi semakin meningkat.
2. Tegangan pada sisi terima semakin menurun.
3. Rugi-rugi daya semakin besar.
4. Berpotensi terjadi hot spot yang dapat memicu gangguan bahkan merusak peralatan.

Fenomena ini sangat berbahaya karena bersifat progresif. Semakin tinggi suhu akibat kontak yang buruk, maka resistansi semakin besar, yang kemudian memperbesar pemanasan kembali (thermal runaway effect). Jika tidak segera dilakukan perbaikan, kondisi ini dapat mengakibatkan:

1. Drop tegangan melebihi batas toleransi standar PLN (-10% dari tegangan nominal 20 kV).
2. Penurunan kualitas pelayanan listrik kepada pelanggan.
3. Gangguan sistem distribusi.
4. Potensi terjadinya kegagalan sambungan (joint failure).

Berdasarkan hasil pengukuran awal pada ujung Penyulang Sagitarius, tegangan terima berada pada kisaran ± 18 kV atau mendekati batas toleransi minimum. Analisis teknis menunjukkan bahwa selain faktor panjang jaringan dan beban, kualitas sambungan menjadi salah satu penyebab utama meningkatnya impedansi total sistem.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dilakukan tindakan preventif berupa perbaikan sambungan (joint improvement) yang meliputi:

1. Pembongkaran sambungan lama.
2. Pembersihan konduktor dari oksidasi.
3. Penggantian konektor sesuai standar SPLN.
4. Pengencangan sesuai torsi standar.
5. Pengujian ulang kontak listrik.
6. Pengukuran ulang temperatur dan tegangan setelah perbaikan.

Perbaikan ini bertujuan untuk menurunkan tahanan kontak, mengurangi pemanasan lokal, memperkecil rugi-rugi daya, serta meningkatkan profil tegangan di ujung penyulang.

Dengan mempertimbangkan aspek teknis kenaikan suhu, resistansi sambungan, dan dampaknya terhadap kualitas tegangan, maka penelitian mengenai efektivitas perbaikan sambungan pada SUTM Penyulang Sagitarius menjadi penting untuk dilakukan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat membuktikan bahwa perbaikan kualitas sambungan mampu meningkatkan tegangan terima, menurunkan drop tegangan, serta memperbaiki keandalan sistem distribusi secara keseluruhan.

1.2 Rumusan Masalah

Penulis mengangkat rumusan masalah dari yang sudah dijelaskan diatas yang mana akan menjadi pembahasan kali ini, yaitu :

1. Bagaimana perbandingan kondisi tegangan terukur pada Penyulang Sagitarius di titik kritis sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan sambungan SUTM?
2. Seberapa efektifkah perbaikan sambungan SUTM dalam mengatasi *voltage drop*

1.3 Tujuan

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

1. Menganalisis kondisi tegangan pada penyulang tersebut sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan sambungan SUTM.
2. Menganalisis tingkat efektivitas pelaksanaan perbaikan titik sambung untuk mengatasi tegangan drop.
3. Menurunkan rugi-rugi daya (*power losses*) pada Penyulang Sagitarius.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penulisan ini antara lain :

1. Dapat menganalisa tegangan pada penyulang sagitarius tersebut sebelum dilakukan Perbaikan sambungan dan sesudah dilakukan perbaikan sambungan.
2. Untuk berbagi pengetahuan kepada pembaca tentang manfaat dari perbaikan sambungan tersebut untuk mengatasi drop tegangan.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Ruang lingkup masalah pada penulisan ini diantaranya, yaitu :

1. Penelitian ini di fokuskan pada Penyulang Sagitarius yang beroperasi pada jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) 20 kV sebagai objek kajian utama.
2. Analisis dilakukan terhadap kondisi penyaluran tenaga listrik pada Penyulang Sagitarius, meliputi tegangan kirim dan tegangan terima pada beberapa titik pengukuran sepanjang jaringan SUTM.
3. Pembahasan penelitian ini dibatasi pada analisis drop tegangan (jatuh tegangan) yang terjadi pada Penyulang Sagitarius akibat pengaruh panjang jaringan, besarnya arus beban, serta karakteristik konduktor yang digunakan.
4. Penelitian ini tidak membahas gangguan hubung singkat, proteksi jaringan, maupun analisis keandalan SAIDI dan SAIFI, sehingga fokus penelitian tetap pada kualitas tegangan.
5. Standar evaluasi tegangan yang digunakan mengacu pada ketentuan PT PLN (Persero) terkait batas toleransi tegangan pada jaringan distribusi tegangan menengah.