

Analisis Pengaruh Jatuh Tegangan JTR pada Gardu KDR86P Cengkareng

M.Syekhurohim^{1*}, Aripin Triyanto², Mirza Firdaus³

^{1,2,3} Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Pamulang

Jl. Raya Puspitek, Buaran, Kec. Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten 15310

Email: dosen02653@gmail.com¹, dosen01315@unpam.ac.id², agammirza@gmail.com³

*Penulis Korespondensi

Abstract—This study aims to analyze the voltage drop in the Low Voltage Network operating between 50 V to 1000 V, which is used for household and industrial equipment. The problem raised in this study is the occurrence of voltage drop and current imbalance between phases at the KDR86P Substation, Kalideres Post, which has the potential to disrupt the quality of electricity supply in the area. In assessing the voltage drop limit on the low voltage network, it refers to the General Requirements for Electrical Installations (PUIL 2000) which specifically provides provisions regarding the tolerance limit for voltage drop in the Low Voltage Network (JTR). The method used in this study is monitoring the voltage and current on the three phases for six consecutive days. After repairs and additions to the low voltage network (JTR) at the KDR86P Substation, the measurement results showed that the voltage on Phase R was 216 V or decreased by about 1.8% from the nominal voltage of 220 V, Phase S was 221 V or decreased by about 0.5%. Phase T was 223 V increased by about 1.4%. The voltage drop value is below the maximum permitted limit, thus indicating that the condition of the distribution system after repairs is in the stable category and by standards.

Intisari—Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis jatuh tegangan (drop voltage) pada Jaringan Tegangan Rendah yang beroperasi antara 50 V hingga 1000 V, yang digunakan untuk peralatan rumah tangga dan industri. Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah terjadinya penurunan tegangan dan ketidakseimbangan arus antar fasa pada Gardu KDR86P Posko Kalideres, yang berpotensi mengganggu kualitas pasokan listrik di wilayah tersebut. Dalam penilaian batas jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah, mengacu pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000) yang secara khusus memberikan ketentuan mengenai batas toleransi penurunan tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah monitoring tegangan dan arus pada ketiga fasa selama enam hari berturut-turut. Setelah dilakukan perbaikan dan penambahan jaringan tegangan rendah (JTR) pada Gardu KDR86P, hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan pada Phase R sebesar 216 V atau mengalami penurunan sekitar 1,8% dari tegangan nominal 220 V, Phase S sebesar 221 V atau turun sekitar 0,5%, dan Phase T sebesar 223 V mengalami kenaikan sekitar 1,4%. Nilai penurunan tegangan tersebut berada di bawah batas maksimum yang diizinkan, sehingga menunjukkan bahwa kondisi sistem distribusi setelah perbaikan berada dalam kategori stabil dan sesuai dengan standar.

Kata Kunci— Jatuh tegangan, Jaringan tegangan rendah, PUIL 2011, SPLN 72:1987.

I. PENDAHULUAN

Jaringan distribusi tenaga listrik berperan penting dalam menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi menuju konsumen, baik untuk keperluan rumah tangga maupun industri. Kualitas pasokan listrik yang diterima pelanggan sangat dipengaruhi oleh kondisi jaringan distribusi, khususnya jaringan tegangan rendah (JTR) yang beroperasi pada tegangan nominal 220 V. Salah satu permasalahan yang kerap terjadi pada jaringan distribusi adalah penurunan tegangan atau jatuh tegangan (voltage drop), yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti panjang saluran distribusi, posisi gardu yang kurang optimal terhadap lokasi beban, diameter penghantar yang tidak sesuai, serta ketidakseimbangan beban antar fasa [1].

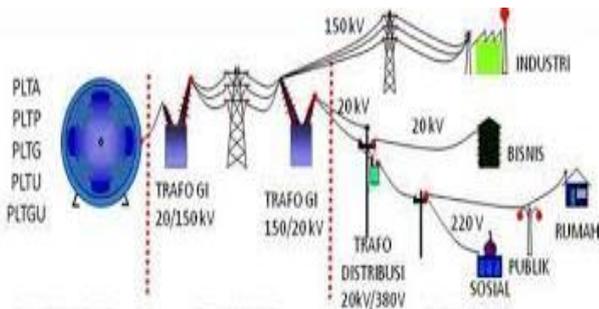
Ketidakseimbangan beban pada sistem distribusi tiga fasa juga berkontribusi terhadap ketidakstabilan tegangan dan peningkatan rugi-rugi daya, khususnya jika terjadi aliran arus melalui penghantar netral. Beban yang tidak seimbang menjadi permasalahan yang sulit dihindari di lapangan, mengingat konsumsi listrik oleh konsumen bersifat dinamis dan tidak selalu merata pada setiap fasa [2]-[3]. Berdasarkan studi kasus, Jika tegangan tidak sesuai biasanya terjadi karena daya dan tegangan sebagian hilang dalam perjalanan menuju konsumen, dimana dipengaruhi oleh antara lain panjangnya saluran distribusi, penempatan gardu atau trafo distribusi yang tidak optimal terhadap beban, diameter penghantar yang tidak sesuai dengan kapasitas beban sehingga menghasilkan panas pada saluran penghantar yang berakibat hilangnya daya dan tegangan pada jaringan [4].

Jatuh tegangan yang melebihi batas toleransi berpotensi menurunkan kualitas pelayanan dan keandalan sistem distribusi. Berdasarkan standar yang berlaku, penurunan tegangan pada jaringan tegangan rendah tidak boleh melebihi 5% dari tegangan nominal. Oleh karena itu, upaya perbaikan jaringan distribusi, baik melalui penambahan jaringan, pemeliharaan, maupun pengaturan ulang konfigurasi distribusi, diperlukan untuk menjaga kestabilan dan mutu penyaluran energi listrik [5] -[6]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besar jatuh tegangan yang terjadi pada Gardu KDR86P Posko Kalideres, mengidentifikasi penyebab utama terjadinya penurunan tegangan, serta mengevaluasi efektivitas tindakan perbaikan dan penambahan jaringan dalam meningkatkan kualitas distribusi listrik di area tersebut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Merupakan penyaluran energi listrik dari gardu induk ke konsumen. Sistem distribusi ada dua yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Penyaluran tenaga listrik primer dimulai dari gardu induk (sisi sekunder trafo daya) ke gardu distribusi (sisi primer trafo distribusi) atau langsung dari gardu induk langsung ke konsumen tegangan menengah 20 kV[7]. Pada gardu induk tegangan listrik turun menjadi 20 kV (tegangan menengah) oleh transformator step-down untuk didistribusikan ke konsumen[8]-[9]. Pada sistem distribusi tenaga listrik, penyaluran energi dari gardu distribusi ke konsumen melalui jaringan tegangan menengah (20 kV) dan jaringan tegangan rendah (380/220 V) berpotensi mengalami penurunan tegangan atau jatuh tegangan (voltage drop). Jatuh tegangan merupakan kondisi berkurangnya tegangan sepanjang penghantar akibat adanya impedansi (resistansi dan reaktansi) pada saluran distribusi serta beban yang terhubung [10]. Fenomena jatuh tegangan ini umumnya semakin signifikan seiring bertambahnya panjang saluran distribusi, ketidaksesuaian luas penampang penghantar terhadap kapasitas beban, serta ketidakseimbangan beban antar fasa. Selain itu, sambungan kabel yang tidak sempurna atau kondisi konektor yang kurang baik juga menjadi faktor penyumbang terjadinya penurunan tegangan di jaringan tegangan rendah (JTR) [11]. Jatuh tegangan yang melebihi batas toleransi yang ditentukan oleh standar, seperti PUIL 2000 dan SPLN, dapat menyebabkan penurunan kinerja peralatan listrik, meningkatkan rugi-rugi daya, dan berpotensi merusak peralatan konsumen akibat tegangan di bawah ambang kerja yang diizinkan. Oleh karena itu, analisis terhadap besar jatuh tegangan di setiap segmen jaringan distribusi menjadi langkah penting untuk memastikan kualitas dan keandalan penyaluran energi listrik [12]. Analisis jatuh tegangan dilakukan dengan mengukur tegangan pada sisi sekunder transformator distribusi dan membandingkannya dengan tegangan di titik-titik beban atau konsumen. Selisih antara tegangan nominal dan tegangan yang terukur di titik beban dihitung dalam bentuk persentase untuk menentukan apakah penurunan tegangan masih dalam batas yang diperbolehkan [13]. Dalam sistem distribusi tenaga listrik yang baik, penurunan tegangan ini harus dijaga agar tidak melebihi batas maksimum 5% sesuai PUIL 2000 untuk jaringan tegangan rendah. Evaluasi ini juga dapat menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan perbaikan, seperti penambahan jaringan, penggantian penghantar dengan penampang lebih besar, atau pengaturan ulang konfigurasi distribusi untuk mengurangi rugi-rugi daya dan menjaga kestabilan tegangan [14].

B. Definisi Jatuh Tegangan Listrik

Jatuh tegangan listrik merupakan penurunan atau selisih nilai tegangan listrik antara titik awal dan titik akhir suatu penghantar atau rangkaian akibat adanya tahanan (resistansi),

induktansi, atau kapasitansi pada penghantar tersebut. Penurunan tegangan ini terjadi karena sebagian energi listrik berubah menjadi energi panas saat arus listrik mengalir melalui komponen atau konduktor yang memiliki impedansi. Besarnya jatuh tegangan dipengaruhi oleh faktor panjang penghantar, luas penampang kabel, jenis material konduktor, serta besar arus yang mengalir dalam rangkaian. Dalam sistem distribusi listrik, jatuh tegangan menjadi salah satu parameter penting yang harus dianalisis untuk menjaga agar tegangan di sisi konsumen tetap berada dalam batas toleransi sesuai standar, sehingga peralatan listrik dapat beroperasi dengan baik dan aman [15]-[16].

C. Jenis Gardu Distribusi

Pada gardu distribusi dapat terbagi menjadi beberapa bagian, antara lain [17][18]:

1. Gardu tiang

Gardu portal yang umumnya konfigurasi gardu tiang yang dicatu dari SUTM dengan peralatan pengaman. Gardu tiang dapat ditunjukkan pada gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Gardu portal

Penggunaan *Fuse Cut-Out* (FCO) dan *Lightning Arrester* (LA) berfungsi sebagai proteksi transformator distribusi dari gangguan hubung singkat dan lonjakan tegangan akibat petir. Pada gardu tiang dengan sistem jaringan lingkaran terbuka (*open loop*) dan konfigurasi π section, suplai transformator dapat berasal dari dua arah, sehingga aliran daya dapat diatur lebih fleksibel. Pengaturan suplai ini berpengaruh dalam mengurangi konsentrasi beban berlebih pada satu sisi penyulang, yang secara langsung dapat menurunkan potensi jatuh tegangan akibat distribusi arus yang tidak merata. Dengan demikian, selain berfungsi sebagai proteksi, konfigurasi jaringan dan pengaturan arah suplai berperan dalam menjaga kestabilan tegangan di sistem distribusi [19].

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang digunakan umumnya berkapasitas ≤ 100 kVA, baik 3 fasa maupun 1 fasa, dengan jenis CSP (Completely Self Protected Transformer) yang telah dilengkapi sistem proteksi internal. Meski transformator CSP dirancang untuk memberikan perlindungan terhadap gangguan seperti arus lebih dan hubung singkat, kondisi ini tidak sepenuhnya menghilangkan potensi terjadinya jatuh tegangan pada sisi distribusi [20]. Jatuh tegangan pada gardu tipe cantol dapat terjadi akibat keterbatasan kapasitas transformator dan dimensi konduktor yang digunakan, terutama jika jarak antara gardu dan beban konsumen cukup jauh atau jika beban pada jaringan melebihi kapasitas nominal. Penambahan *Lightning Arrester* (LA)

sebagai pelindung terhadap surja petir memang berfungsi untuk mengamankan peralatan dari lonjakan tegangan, namun tidak berperan langsung dalam mengendalikan penurunan tegangan akibat rugi-rugi saluran [21]. Gambar 3 menunjukkan gardu cantol dengan penggunaan kapasitas 100 kVA.



Gambar 3 Gardu cantol

Gardu beton melayani daerah padat dengan beban tinggi, potensi jatuh tegangan tetap dapat terjadi meskipun menggunakan transformator berkapasitas besar. Hal ini disebabkan oleh panjang saluran distribusi, impedansi penghantar, dan ketidakseimbangan beban. Oleh karena itu, analisis jatuh tegangan diperlukan untuk memastikan tegangan di sisi konsumen tetap stabil dan sesuai standar. Gambar 4 menunjukkan aplikasi gardu beton [22].



Gambar 4 Gardu beton

Meskipun gardu kios dirancang dengan konstruksi kompak dan efisien, potensi jatuh tegangan tetap dapat terjadi jika distribusi beban tidak merata, kapasitas transformator tidak sesuai, atau dimensi penghantar kurang memadai. Oleh karena itu, pengaturan beban dan analisis jatuh tegangan tetap diperlukan untuk menjaga kualitas tegangan di sisi konsumen [23]. Berikut ini gambar 5 menunjukkan gardu kios yang telah digunakan oleh PLN.



Gambar 5 Gardu kios

Pada gambar 6 merupakan implementasi gardu tingkat dengan keterbatasan kapasitas transformator hingga 400 kVA serta jumlah jurusan tegangan rendah berpotensi menyebabkan jatuh tegangan jika beban melebihi kapasitas atau distribusi arus tidak seimbang. Mobilitas dan fleksibilitas instalasi harus diimbangi dengan perencanaan beban dan ukuran penghantar yang tepat untuk menjaga tegangan tetap stabil di sisi konsumen [24].



Gambar 6 Gardu tingkat

D. Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan suatu komponen yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik dari gardu induk ke konsumen karena sangat menentukan dalam pendistribusian tenaga listrik tegangan rendah [25]. Transformator distribusi berfungsi menurunkan tegangan dari 20 kV menjadi 380/220 V sesuai kebutuhan beban. Pemilihan kapasitas transformator yang tidak sesuai dengan kebutuhan daya atau ketidakseimbangan beban antar fasa dapat menyebabkan jatuh tegangan pada sisi tegangan rendah. Oleh karena itu, penyesuaian kapasitas transformator dengan beban dan kondisi jaringan sangat penting untuk menjaga tegangan tetap stabil di sisi konsumen [26]. Berikut ini adalah gambar 7 penggunaan transformator distribusi.



Gambar 7 Transformator distribusi

E. Jaringan Tegangan Rendah

Jaringan listrik tegangan rendah merupakan listrik yang biasa digunakan pada banyak peralatan listrik. Listrik tegangan rendah berkisar antara 50 V hingga 1000 V. Listrik Tegangan Rendah banyak digunakan untuk peralatan listrik kebutuhan rumah tangga maupun industri. Jaringan Tegangan Rendah memiliki tegangan kerja 220/380 V disebut jaringan distribusi sekunder, dimana sumber kelistrikannya diperoleh dari gardu distribusi. Jaringan listrik tegangan rendah adalah sistem

jaringan yang digunakan untuk mendistribusikan listrik dari gardu distribusi ke pelanggan atau konsumen yang membutuhkan listrik. Jaringan tegangan rendah memiliki tegangan kerja dibawah 1kV. Pemanfaatannya kebanyakan pada 220/380V yang biasa digunakan pada rumah tangga, tempat umum atau industri kecil. Sedangkan industri besar biasanya menggunakan 380/660. Gangguan pada jaringan tegangan rendah biasanya jarang terjadi, rugi-rugi tegangan yang diperbolehkan pada gardu distribusi adalah 10%, sedangkan rugi-rugi tegangan untuk penghantar sambungan rumah diperbolehkan sebesar 2%. Dalam hal ini sambungan rumah dihitung dari titik penyambungan saluran tegangan rendah [27].

F. Sambungan Rumah

Konstruksi sambungan rumah mengutamakan tanpa memakai tiang atap (dakstandar) dan penempatan pintu masuk pelanggan sehingga kelihatan dari luar. Penggunaan tiang atap hanya untuk sambungan dari rumah ke rumah atau yang letaknya tidak pada satu sisi jalan dengan jaringan tegangan rendahnya, sehingga diperlukan tiang atap. Tiang atap dipasang pada bagian atas atap (wuwungan /bubungan) dan disesuaikan dengan SPLN 56:1984. Jarak bebas minimal 3 meter untuk dihalaman rumah, 4 meter untuk jalan umum, apabila tinggi rumah kurang dari 3 meter digunakan tiang atap sampai memenuhi syarat jarak bebas tersebut. Namun apabila ternyata jarak minimal tersebut tidak terpenuhi dengan menggunakan tiang atap, maka perlu menggunakan tiang atap sambungan rumah yang disadap langsung dari trafo yang disadap dari jaringan tegangan rendah. Jumlah maksimal sambungan yang masih dapat disambung merujuk pada SPLN 74 : 1987. Spesifikasi komponen. Penghantar untuk sambungan rumah ialah penghantar berisolasi dipilin, yang terbuat dari aluminium setengah keras (Medium hard drawn). Digunakan baik untuk SLP (sambungan langsung pelayanan) maupun SMP (sambungan masuk pelayanan), bagi yang memakai tiang atap atau sebagai sambungan rumah. Ukuran penghantar yang dipilih untuk SR yang disadap dari jaringan tegangan rendah adalah 2 x 10 mm atau 2 x 16 mm² [15].

G. Pengertian 1 Phase dan 3 Phase

Listrik 1 phase adalah jaringan listrik yang hanya menggunakan 2 kawat penghantar yang kesatu sebagai kawat phase (L) dan yang kedua sebagai kawat neutral (N). Umumnya listrik 1 phase bertegangan 220-240 volt yang digunakan banyak orang. Biasanya listrik 1 phasa digunakan untuk listrik perumahan, namun listrik PLN di jalanan itu memiliki 3 phasa, tetapi yang masuk ke rumah kita hanya 1 phasa karena kita tidak memerlukan daya besar. Listrik 3 phase adalah jaringan listrik yang menggunakan tiga kawat phase (R,S,T) dan satu kawat neutral (N) atau sering dibilang kawat ground. Menurut istilah listrik 3 Phase terdiri dari 3 kabel bertegangan listrik dan 1 kabel neutral. Umumnya listrik 3 phase bertegangan 380-415 Volt yang banyak digunakan industri atau pabrik [28].

H. Rugi- rugi Daya Pada Sistem Distribusi

Setiap peralatan listrik yang digunakan tidak selamanya bekerja dengan sempurna. Semakin lama waktu pemakaian maka akan berkurangnya efisiensi dari peralatan tersebut

sehingga akan mengakibatkan rugi-rugi yang semakin besar pula. Pada sistem distribusi listrik rugi daya (losses) dibedakan menjadi beberapa jenis. Menurut Keputusan Direksi PT.PLN (Persero) No.217-1.K/DIR/2005 (2005:2) tentang Pedoman Penyusunan Laporan Neraca Energi (Kwh) [29].

I. Arus Beban Pada Transformator

Daya transformator tiga fasa bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) maupun tegangan rendah (sekunder) dapat dirumuskan sebagai berikut [30]:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \tag{1}$$

Keterangan:

- S = Daya transformator (kVA)
- V = Tegangan sisi primer transformator (kV)
- I = Arus jala-jala (Ampere)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \tag{2}$$

Keterangan:

- I_{FL} = Arus beban penuh (Ampere).
- S = Daya transformator (kVA).
- V = Tegangan sisi sekunder transformator (kV).

Dalam menghitung persentase pembebanan suatu transformator dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\%Pembeban = \frac{V \cdot I \cdot \sqrt{3}}{Daya\ Transformator} \times 100 \tag{3}$$

Keterangan:

- V = Tegangan fasa-fasa (Voltage).
- I = Arus rata-rata (Ampere).

Rugi-rugi daya pada penghantar netral transformator ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \tag{4}$$

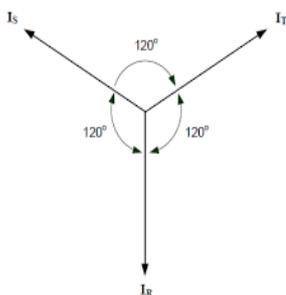
Keterangan:

- P_N = Rugi-rugi daya penghantar netral transformator (Watt).
- I_N = Arus yang mengalir pada netral transformator (Ampere).
- R_N = Tahanan penghantar netral transformator (Ohm) [26].

J. Ketidakseimbangan Beban

Vektor adalah besaran yang mempunyai nilai dan arah. Contoh besaran vektor yaitu jarak, kecepatan, percepatan, momentum, dan lainnya. Karena itu pelanggan satu phase mendominasi pelanggan tiga phase, ketidakseimbangan beban merupakan msalah umum dalam sistem tiga phase. Namun, bagi banyaknya pelanggan tiga phase, keseimbangan phase tidak dapat terjamin. Jika terjadi ketidakseimbangan beban pada sistem tiga phase, maka arus yang mengalir pada kawat netral akan ada perbedaan sudut beban tiap phase tidak sama

dengan 120°, beban transformator yang tidak seimbang akan menyebabkan arus netral. Berikut gambar 8 merupakan keadaan arus yang seimbang [31].



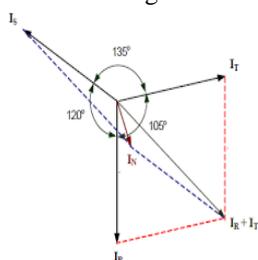
Gambar 8 Phasor diagram arus keadaan arus seimbang

Dapat dilihat bahwa penjumlahan ketiga Phasor arusnya (I_R, I_S, I_T) dimana:

- I_R = Arus pada phase R (Ampere)
- I_S = Arus pada phase S (Ampere)
- I_T = Arus pada phase T (Ampere)

Adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral. Sedangkan phasor adalah bilangan kompleks yang merepresentasikan amplitudo dan fasa dari suatu sinusoidal. Rangkaian ac (*alternating current*) yang sinyalnya berupa sinusoidal, untuk menyelesaikan permasalahan pada sinusoidal digunakanlah fasor, hal ini pertama kali diusulkan oleh Charles Steinmetz pada tahun 1893, seorang matematikawan dan insinyur teknik elektro, yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi kemungkinan keadaan tidak seimbang ada tiga yaitu:

1. Ketiga Phasor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
2. Ketiga Phasor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain. Gambar 9 menunjukkan arus phasor dalam kondisi tidak seimbang.



Gambar 9 Phasor diagram arus keadaan tidak seimbang

Phasor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga phasor arusnya (I_R, I_S, I_T) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral (I_T) yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

K. Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan yang akan dibahas di sini adalah jatuh tegangan pada ujung jaringan tegangan rendah (JTR), dimana acuannya adalah dua titik pengukuran yaitu tegangan pangkal di lemari tegangan rendah (*Low Voltage Cabinet/LVC*) dan tegangan di tiang ujung atau konsumen paling ujung. Jatuh tegangan didefinisikan sebagai sejumlah tegangan yang turun

akibat dari berbagai faktor dalam suatu jaringan yang menyebabkan turunnya tegangan dari keadaan tegangan semula. Sejauh ini yang berkenaan dengan rangkaian listrik, tahanan kawat penghubung antara sumber dan beban telah diabaikan. Jika kawat penghubungnya pendek, hal ini masih diperbolehkan jika kabel penghubungnya pendek, karena tahanannya sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Namun kawat penghubung yang panjang mempunyai tahanan yang tidak dapat diabaikan sehingga sebagian tegangan yang diberikan digunakan untuk mengatasi tahanan kawat ini. Tegangan ini disebut jatuh tegangan (*line drop*) [21].

Persamaan jatuh tegangan:

$$V_D = I \times R = V_{LVC} - V_{Ujung} \tag{5}$$

Atau

$$V_D = I \times \frac{\rho \times L}{A} \tag{6}$$

Berdasarkan SPLN 72: 1987 batas maksimum tegangan rendah yang diijinkan adalah sebagai berikut:

1. Tegangan rendah pada jaringan tegangan menengah 5%.
2. Tegangan rendah pada transformator 3%.
3. Tegangan rendah pada jaringan tegangan rendah 4%.
4. Tegangan rendah pada saluran pelayanan 1%.

Maka jatuh tegangan dapat didefinisikan [32]:

$$V_d = V_s - V_r \tag{7}$$

Untuk menghitung presentase jatuh tegangan yang terjadi pada jaringan menggunakan rumus:

$$\Delta V = \frac{V_s - V_d}{V_s} \times 100\% \tag{8}$$

Faktor penyebab jatuh tegangan adalah hambatan dan arus dengan Hukum Ohm yaitu $V = I \times R$, dimana besar hambatan penghantar didefinisikan dengan persamaan:

$$R = \frac{\rho \times L}{A} \tag{9}$$

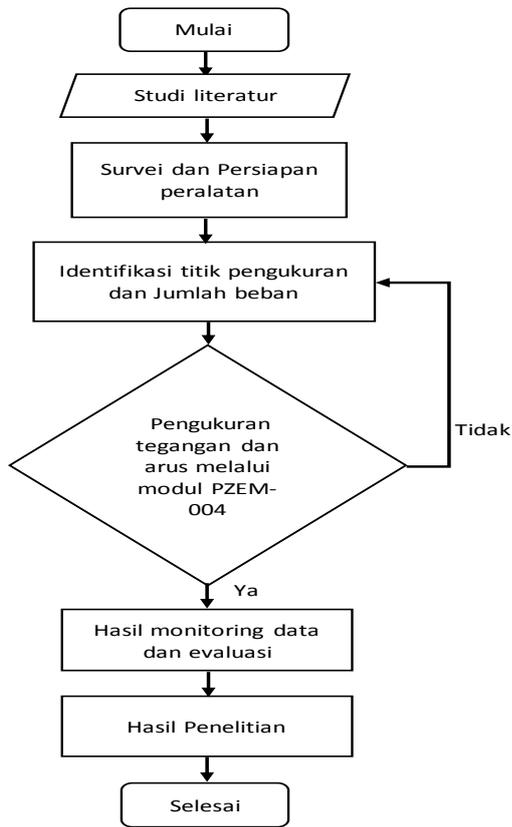
Sehingga jatuh tegangan dapat pula dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$V = \frac{I \times \rho \times L}{A} \tag{10}$$

III. METODE PENELITIAN

Gambar 10 berikut ini merupakan gambaran umum flowchart pada penelitian ini. Dari gambar 10 tersebut dapat dilihat bahwa penulis melakukan Tugas Akhir dari survey lapangan untuk mengumpulkan data-data jaringan tegangan rendah, kemudian penulis analisis hasil pengukuran untuk

mengetahui jatuh tegangan pada phase R, S, dan T, jika tidak berhasil maka penulis kembali melakukan pengukuran, jika berhasil menganalisis jatuh tegangan. Setelah itu dapat menarik kesimpulan.



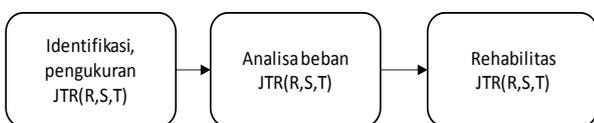
Gambar 10 Flowchart penelitian

A. Metode penelitian

Data yang dikumpulkan adalah data primer dan skunder. Kedua data diambil secara priodik 6 hari perjam yang berlangsung sejak 18 juli 2024 sampai dengan 23 juli 2024. Metode yang dilakukan dengan cara pengambilan data langsung dilapangan. Untuk mendapatkan data-data gardu KDR86P yang akurat penulis langsung ke lokasi yaitu dengan melakukan pengambilan data sebelum dan setelah dilakukan rehabilitasi jaringan.

B. Bagan dari metodologi peneltian

Data yang didapat pada analisis yang berbentuk angka sehingga perlu perhitungan agar dapat dilakukan rehabilitas pada phase R, S dan T. Gambar 11 merupakan blok diagram penelitian.



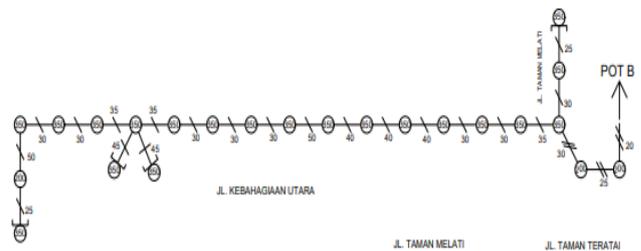
Gambar 11 Blok diagram penelitian

Langkah-langkah dalam alur metodologi penelitian ini mencakup identifikasi, menganalisis dan menghitung nilai

jatuh tegangan jaringan tegangan rendah pada gardu KDR86P, dan melakukan rehabilitas jaringan phase R, S dan T

C. Gambar Jaringan Tegangan Rendah Voltage Drop

Berikut adalah gambar 12 merupakan *single line* Jaringan Tegangan Rendah gardu KDR86P.



Gambar 12 Jaringan Tegangan rendah (Voltage Drop)

Voltage drop yang sering gangguan pada jaringan tegangan rendah pada gardu KDR86P. Penyebab *voltage drop* karena jaringan tegangan rendah terlalu jauh pada gardu distribusi dan beberapa sambungan kendur.

IV. DATA DAN PEMBAHASAN

Didalam pembahasan penelitian diuraikan mengenai hasil rancangan, pengukuran dan rata-rata daya yang dihasilkan. Berikut ini adalah hasil penelitian dari pengukuran jatuh tegangan pada gardu KDR86P cengkareng.

A. PZEM-004

Pengukuran tegangan dan arus dalam penelitian terhubung melalui Arduino. Modul ini khusus digunakan untuk pengukuran tegangan AC dan arus. Pada gambar 13 menunjukkan hasil peralatan monitoring tegangan dan arus PZEM-004 yang digunakan dalam pengukuran tegangan jatuh.



Gambar 13 PZEM-004

B. Pengukuran aktual pada phase R, S, dan T

Dalam penelitian ini, analisis dilakukan terhadap tegangan jatuh yang terjadi di sekitar Jalan Jambu Air, yang masih berada dalam wilayah KDR86P UP3 Cengkareng Posko Kalideres. Fokus pengamatan adalah pada tegangan ujung yang diukur pada siang hari dan malam hari.

Gambar 13 menunjukkan kondisi jaringan tegangan rendah yang mengalami tegangan jatuh. Dari analisis, diketahui bahwa gardu KDR86P memiliki panjang jaringan sepanjang 2.519 meter, terhubung dengan jaringan tegangan rendah menggunakan penghantar LVTC/NFA2X 3x70 + 70 mm². Jaringan tersebut kemudian disalurkan ke rumah-rumah

pelanggan menggunakan penghantar LVTC/NFA2X ukuran 2x16 mm² dan 2x10 mm².

C. Monitoring tegangan dan arus

Hasil pengukuran rata-rata tegangan dan arus dari pengukuran yang dilakukan selama enam hari menunjukkan variasi daya yang signifikan di setiap fase (Tabel 1). Pada hari pertama, Phase R menghasilkan daya sebesar 21.968,95 W dengan rata-rata tegangan 189,6 V dan arus 115,87 A, sedangkan Phase S dan T masing-masing menghasilkan 11.503,47 W dan 11.932,57 W. Pada hari kedua, Phase R meningkat menjadi 22.555,24 W dengan rata-rata tegangan 190,42 V, sementara Phase S dan T masing-masing menghasilkan 11.243,83 W dan 11.546,80 W. Hari ketiga menunjukkan hasil yang serupa, dengan Phase R menghasilkan 21.618,93 W. Pada hari keempat, terdapat lonjakan daya pada Phase R hingga 25.113,27 W, diikuti oleh Phase S dan T. Pengukuran hari kelima dan keenam menunjukkan daya yang bervariasi, dengan Phase R mencatat nilai tertinggi di 24.608,29 W pada hari kelima. Variasi ini mencerminkan fluktuasi dalam penggunaan daya yang dapat memengaruhi kinerja sistem distribusi dan menunjukkan perlunya evaluasi lebih lanjut untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas jaringan.

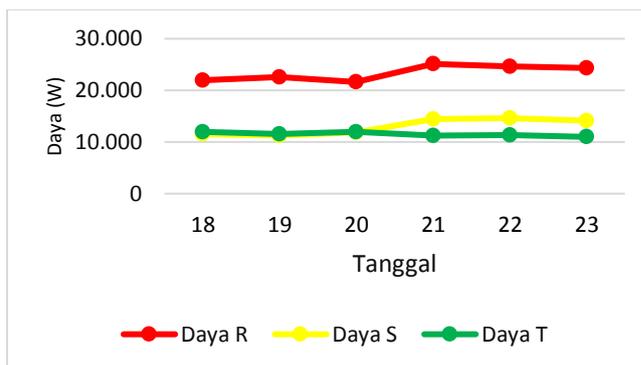
Tabel 1 Rata-rata pengukuran tegangan dan arus selama enam hari

Tanggal	Tegangan (V)			Arus (A)			N
	R	S	T	R	S	T	
18/07/2024	189,6	213,7	217,47	115,87	53,83	54,87	20
19/07/2024	190,42	214,7	218,07	118,45	52,37	52,95	23
20/07/2024	196,84	216,59	216,85	109,83	54,95	55,20	14
21/07/2024	194,3	215,67	216,55	129,25	67,12	51,79	61
22/07/2024	195,63	214,82	215,71	125,79	68,08	52,79	35
23/07/2024	195,57	215,78	216,52	124,33	65,29	50,75	27

Data data tabel 1 didapatkan tegangan selama enam hari menunjukkan bahwa tegangan pada Phase S dan Phase T hampir sejajar, menciptakan pola yang stabil. Rata-rata tegangan Phase R, di sisi lain, menunjukkan fluktuasi pada hari ketiga, tegangan mencapai 196,84 V, namun menurun pada hari keempat menjadi 194,3 V. Sementara itu, analisis grafik rata-rata arus selama periode yang sama menunjukkan perbedaan signifikan antara arus pada Phase S dan Phase T pada tanggal 22 Juli 2024 dibandingkan hari sebelumnya. Rata-rata arus pada Phase R pada tanggal tersebut tercatat cukup tinggi, mencapai 129,25 A. Kenaikan ini menunjukkan adanya peningkatan beban, yang perlu diperhatikan untuk menjaga kinerja optimal dalam sistem distribusi dan mencegah terjadinya masalah seperti jatuh tegangan atau kelebihan beban. Gambar 14 merupakan hasil data rata-rata arus dan pembebanan pada penelitian.

Data rata-rata grafik daya selama enam hari menunjukkan bahwa pada tanggal 21 Juli 2024, terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara daya pada Phase S dan Phase T dibandingkan dengan hari sebelumnya. Rata-rata daya pada

Phase S dan T mengalami perubahan yang mencolok, mencerminkan fluktuasi penggunaan daya.



Gambar 14 Rata-rata daya hasil penelitian

Di sisi lain, rata-rata daya pada Phase R pada tanggal yang sama tercatat cukup tinggi, mencapai 25.113,27 W. Kenaikan daya ini menunjukkan peningkatan beban pada jaringan, yang dapat berimplikasi pada kinerja sistem distribusi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemantauan dan evaluasi lebih lanjut untuk memastikan stabilitas dan efisiensi dalam penyediaan energi listrik.

D. Analisis jatuh tegangan phase R, S, dan T

Hasil pengambilan data tegangan jatuh (*voltage drop*) adalah informasi yang diperoleh dari sistem monitoring yang merekam dan menganalisis tegangan jatuh dilokasi UP3 Cengkareng Posko Kalideres yang beralamat taman surya 5. Rata-rata tegangan selama enam hari dan perhitungan sebelum perbaikan dan penambahan jaringan tegangan rendah sesuai dengan tabel 2 berikut.

Tabel 2 Rata-rata pada tegangan selama enam hari

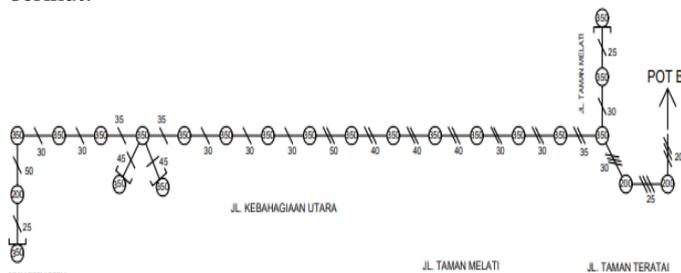
Tanggal	Tegangan (V)		
	R	S	T
18/07/2024	189,6	213,7	217,47
19/07/2024	190,42	214,7	218,07
20/07/2024	196,84	216,59	216,85
21/07/2024	194,3	215,67	216,55
22/07/2024	195,63	214,82	215,71
23/07/2024	195,57	215,78	216,52

Perhitungan rata-rata jatuh tegangan dilakukan untuk setiap hari selama enam hari pengamatan, dengan hasil yang mencerminkan performa jaringan distribusi. Pada hari pertama, hasil perhitungan jatuh tegangan menunjukkan bahwa ΔV_R mencapai 17%, ΔV_S sebesar 8%, dan ΔV_T sebesar 7%. Pada hari kedua, ΔV_R meningkat menjadi 18%, sementara ΔV_S dan ΔV_T tetap pada 8%. Pada hari ketiga, ΔV_R turun menjadi 16%, sedangkan ΔV_S dan ΔV_T masing-masing tercatat 6% dan 7%. Hari keempat mencatatkan ΔV_R kembali meningkat menjadi 18%, ΔV_S 9%, dan ΔV_T 9%. Pada hari kelima, ΔV_R mencapai 17%, ΔV_S tetap 9%, dan ΔV_T sebesar 7%. Akhirnya, pada hari keenam, ΔV_R tercatat 16%, ΔV_S turun menjadi 5%, dan ΔV_T tetap 7%. Hasil perhitungan ini menunjukkan adanya variasi

dalam jatuh tegangan yang dapat mempengaruhi kinerja sistem distribusi. Data ini penting untuk mengidentifikasi masalah potensial dalam jaringan, sehingga langkah perbaikan dapat dilakukan untuk memastikan kualitas pasokan listrik yang lebih baik.

E. Penambahan jaringan tegangan rendah

Perbaikan jatuh tegangan dilakukan melalui penggantian kabel dan penambahan jaringan tegangan rendah, serta penataan sambungan rumah yang berderet. Penggunaan metode penggantian kabel digunakan karena dapat menghasilkan waktu penanganan yang lebih cepat. Penambahan kabel dan pengecekan pada sambungan atau konektor tipe tap connector dapat dilihat pada gambar 15 berikut.



Gambar 15 Penambahan jaringan tegangan rendah

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai analisis jatuh tegangan pada gardu KDR86P dengan metode monitoring, dapat disimpulkan beberapa hal berikut. Sebelum perbaikan dan penambahan jaringan tegangan rendah (JTR) terjadi adanya tegangan jatuh (Drop Voltage) dikarenakan terlalu jauh nya jaringan tegangan rendah dari panel hubung bagi ke konsumen. Jatuh tegangan terjadi pada 18 Juli 2024 sampai 23 Juli 2024. Dimana mendapatkan hasil ukur dan presentas drop tegangan yaitu pada Phase R = 193,72V dengan presentase drop tegangan 12% . Pada phase S= 215,21V dengan presentase 2% Pada phase T= 216,86V dengan presentase drop tegangan 1% .Sesuai dengan peraturan SPLN 1:1995 bahwa toleransi penurunan tegangan minimum 10% dan kenaikan tegangan maksimum 5%. Perbaikan dan Penambahan jaringan tegangan rendah (JTR) pada gardu KDR86P sebagai solusi agar tidak terjadi adanya jatuh tegangan. Setelah perbaikan dan penambahan jaringan tegangan rendah (JTR) pada gardu KDR86P. Mendapatkan hasil ukur pada phase R 216V, phase S 221V, dan phase T 223V

Mengacu pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000) yang secara khusus memberikan ketentuan mengenai batas toleransi penurunan tegangan pada Jaringan Tegangan Rendah (JTR). toleransi penurunan tegangan minimum adalah 10% dan maksimum 5%. Setelah dilakukan perbaikan dan penambahan jaringan tegangan rendah, hasil pengukuran menunjukkan peningkatan nilai tegangan menjadi 216V untuk Phase R, 221V untuk Phase S, dan 223V untuk Phase T.

REFERENSI

- [1] F. Funan and W. Utama, "Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Berdasarkan IndeksKeandalan SAIDI dan SAIFI pada PT PLN (PERSERO) RayonKefamenanu," *Junal Ilm. TELSINAS*, vol. 3, no. 1, pp. 32–36, 2020.
- [2] A. Pramono, T. J. L. Tama, and T. Waluyo, "Analisis Arus Tiga Fasa Daya 197 Kva Dengan Menggunakan Metode Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov," *J. Resist. (Rekayasa Sist. Komputer)*, vol. 4, no. 2, pp. 213–216, 2021, doi: 10.31598/jurnalresistor.v4i2.696.
- [3] W. Ayodya and B. Arrosyid, "Analisis Perencanaan Pembagian Beban Elektrikal pada Panel SDP Gedung Universitas Sutomo," *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 8, no. 1, pp. 362–369, 2023, doi: 10.36277/jteuniba.v8i1.233.
- [4] N. R. Alham, R. M. Utomo, H. Hilmansyah, M. Muslimin, A. W. Aditya, and A. Mubarak, "Studi Tentang Perbaikan Jatuh Tegangan Di Tiang Ujung Jaringan Tegangan Rendah Pada Pt.Pln Up3 Area Samarinda," *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 6, no. 2, pp. 212–216, 2022, doi: 10.36277/jteuniba.v6i2.140.
- [5] I. Hajar, N. Pasra, and D. Rusmansyah, "Analisis Voltage Drop Pada Jaringan Tegangan Rendah Dengan Metode Pecah Beba Pada Gardu KH 007 Di PT PLN (Persero) UP3 Pamekasan," *Sutet*, vol. 10, no. 2, pp. 99–111, 2020, doi: 10.33322/sutet.v10i2.1306.
- [6] W. Setiawan Anjas and M. Ilham, "Analisis Pembebanan Trafo Sebelum Penambahan Gardu Sisipan Terhadap Besarnya Kapasitas Daya untuk Memperbaiki Pembebanan pada Gardu Distribusi," *Vertex Elektro*, vol. 14, no. 2, pp. 90–101, 2022.
- [7] M. syafik Mubarrok and Nanndo Yannuansa, "Perawatan Tansformator Distribusi Untuk Menjaga Keandalan Sistem Distribusi Jaringan Listrik," *Elconika J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 25–33, 2023, doi: 10.33752/elconika.v1i1.3580.
- [8] A. Triyanto, A. L. Sakti, H. Nugraha, and A. A. Rifai, *Operasi dan stabilitas sistem tenaga*, no. 1. UNPAM PRESS, 2022.
- [9] F. Y. Setyadi, D. Nugroho, and A. A. Nugroho, "Analisa Peramalan Beban pada Gardu Induk 150 KV Mranggen dengan Metode Regresi Linear dan Eksponensial," *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 8, no. 2, pp. 419–431, 2024, doi: 10.36277/jteuniba.v8i2.278.
- [10] C. A. Lestari, Zulfahri, and U. Situmeang, "Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Dengan Metode FMEA Pada Penyulang Akasia dan Lele PT PLN (Persero) ULP Kota Barat," *J. Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, 2021, doi: 10.31849/sainetin.v6i1.7408.
- [11] Suprianto, "Analisa Tegangan Jatuh pada Jaringan Distribusi 20 kv PT.PLN Area Rantau Prapat Rayon Aek Kota Batu," *J. Electr. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 64–72, 2018.
- [12] A. Santoso, A. Herawati, and Y. S. Handayani, "Analisis Sistem Pentanahan Instalasi Listrik Gedung Lembaga Pemasarakatan Kelas Ila Bengkulu," *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 10, no. 2, pp. 28–33, 2020, doi: 10.33369/jamplifier.v10i2.15320.
- [13] I. Widiastuti and D. Nugroho, "Analisa Drop Tegangan Pada Feeder K3 Gardu Induk Kota Kabupaten," *J. Transistor Elektro dan Inform. (TRANSISTOR EI)*, vol. 4, no. 3, pp. 208–2017, 2022.
- [14] B. S. Nasional, "Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)," *DirJen Ketenagalistrkan*, vol. 2000, no. PUIL, pp. 1–133, 2000.
- [15] A. F. Rizkiana and Y. M. Saputra, "Perbaikan Jatuh Tegangan dan Rugi Daya dengan Rekonfigurasi Jaringan Sambungan Rumah dan Rekonduktor Jaringan Tegangan Rendah pada Gardu Distribusi MI-44-150-21 PT PLN ULP Magelang Kota," *J. List. Instrumentasi, dan Elektro. Terap.*, vol. 5, no. 1, p. 1, 2024, doi: 10.22146/juliet.v5i1.87020.
- [16] M. Asna, I. W. Suriana, I. W. S. Yasa, I. W. Utama, and I. M. Sariana, "Analisis Konstruksi Posisi," vol. 4, no. 1, pp. 46–55, 2021.
- [17] Y.- Marniati, "Analisis Penambahan Jurusan Gardu Distribusi I.598 Pada Penyulang Apel Pt.Pln Rayon Rivai Palembang," *J. Tekno*, vol. 19, no. 2, pp. 32–48, 2023, doi: 10.33557/jtekn.v19i2.1911.
- [18] N. I. Hamma, "Perencanaan Gardu Distribusi PT. Maccon Indonesia," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, no. September, pp. 136–141, 2021.
- [19] M. F. Maskun, "Analisis perbandingan efektivitas penempatan Fuse Cut Out (FCO) terhadap Lightning Arrester (LA) pada gardu distribusi ULP Daya," *Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 416–420, 2023.
- [20] P. Harahap, M. Adam, and A. Prabowo, "Analisa Penambahan Trafo Sisip Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jutah

- Tegangan Pada Trafo Bl 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etap 12.6.0,” *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 62–69, 2019, doi: 10.30596/rele.v1i2.3002.
- [21] S. Baqaruzi and A. Muhtar, “Analisis Jatuh Tegangan dan Rugi-rugi Akibat Pengaruh Penggunaan Distributed Generation Pada Sistem Distribusi Primer 20 KV,” *E-JOINT (Electronica Electr. J. Innov. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 20–26, 2020, doi: 10.35970/e-joint.v1i1.216.
- [22] N. Pasra, A. Makkulau, and M. O. Abriyanto, “Analisa Efek Korona Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 kV Pada Gardu Beton,” *J. Ilm. SUTET*, vol. 8, no. 2, pp. 103–113, 2018.
- [23] A. F. Fajri, N. Kn, and S. T. Mt, “Menggunakan Metode Minim Padam Pada Nilai Saidi Dan Ens Di Pt. Pln (Persero) Area Bulungan (Kb 11B),” *J. Teknol. Ind.*, vol. 11, no. 1, pp. 1–7, 2022.
- [24] M. Muliadi, S. Syukri, and T. M. Asyadi, “Pengaruh Tingkat Kelembaban Terhadap Kinerja Pemisah (PMS) 150 kV Pada Gardu Induk,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 92–98, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i1.12201.
- [25] Yaved Pasereng Tondok, Lily Setyowaty Patras, and Fielman Lisi, “Yaved Pasereng Tondok,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 8, no. 2, pp. 83–92, 2019.
- [26] Muliadi, Syukri, T. M. Asyadi, and A. Salim, “Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi Penyulang Mibo Rayon Merduati,” *Aceh J. Electr.*, vol. 2, no. 2, pp. 7–12, 2022.
- [27] D. R. Supendi, Y. P. Hikmat, and T. Trisnawiyana, “Evaluasi Jaringan Distribusi Listrik Tegangan Rendah Untuk Penyediaan Energi Pada Laboratorium Teknik Di Politeknik Negeri Bandung,” *Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 14, no. 1, pp. 511–520, 2023, doi: 10.35313/irwns.v14i1.5438.
- [28] Y. Suryawijaya, Bagas Bangun, Dewantoro, “Perencanaan utilitas pada rumah sakit umum daerah (rsud) di slawi, jawa tengah,” pp. 20–31, 2018.
- [29] J. Mangundap, S. Silimang, and Tumaliang Hans, “Analisa Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi Di PT. PLN (Persero) Area Manado 2017,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. Vol. 7, no. NO. 3, pp. 1. – 5, 2018.
- [30] R. Ruliyanto, “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Arus Ground pada Trafo 1 dan Trafo 2 pada Beban Puncak Sesaat,” *J. Ilm. Giga*, vol. 23, no. 1, p. 27, 2020, doi: 10.47313/jig.v23i1.867.
- [31] R. T. Ginting, Zulfahri, and Arlenny, “Analisis Ketidakseimbangan Beban Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Menggunakan ETAP,” *Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 6, no. 2, pp. 81–89, 2022, doi: 10.31849/sainetin.v6i2.9734.
- [32] F. D. Safitri, “Simulasi Penempatan Transformator Pada Jaringan Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Menggunakan Etap Power Station 12.6.0,” *J. Edukasi Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 12–24, 2020, doi: 10.21831/jee.v4i1.29315.