

Studi Tegangan Jatuh pada Jaringan Tegangan Menengah Penyulang Sidomulyo

Silvi Nur Rakhman Nisa^{1*}, Subuh Isnur Haryudo², Andhika Ary Santana³

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Negeri Surabaya; Jl. Ketintang Timur PTT Gg. V No.9 A, Ketintang, Kec. Gayungan, Surabaya, Jawa Timur 60231; s1-elektro@unesa.ac.id

³ PT. PLN (Persero) ULP Sidoarjo Kota; Jl. Kombes Pol. Moh. Duryat No.5, Rw2, Sidokumpul, Kec. Sidoarjo, Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur 61218; Telp. (031) 8924894

Received: 04-08-2025

Accepted: xx-xx-xx

Keywords:

Voltage Drop, Medium Voltage Distribution, Feeder Analysis, ETAP Simulation, Power System Reliability

Correspondent Email:

silvinur.22013@mhs.unesa.ac.id

Abstrak. Tegangan jatuh merupakan permasalahan penting dalam sistem distribusi tenaga listrik karena dapat memengaruhi kualitas layanan, efisiensi energi, dan keandalan sistem. Topik ini dipilih karena Penyulang Sidomulyo, bagian dari jaringan tegangan menengah 20 kV PT. PLN (Persero) UP3 Sidoarjo – ULP Sidoarjo Kota, memiliki cakupan wilayah luas dan beban yang bervariasi, sehingga rentan terhadap penurunan tegangan. Penelitian ini bertujuan menganalisis besar penurunan tegangan dan mengidentifikasi titik-titik kritis pada jaringan tersebut. Metode yang digunakan berupa simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0.1, dengan input berupa data lapangan aktual seperti panjang saluran, jenis konduktor, beban terpasang, dan konfigurasi jaringan. Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa titik beban mengalami tegangan jatuh yang mendekati atau melebihi batas standar, antara lain PA 524, PA 972, dan PA 1111 berdasarkan perhitungan manual, serta PA 822 dan PA 2080 berdasarkan hasil simulasi ETAP. Kesimpulannya, diperlukan optimalisasi sistem distribusi melalui perbaikan teknis dan pengaturan ulang beban untuk menjaga kestabilan tegangan serta meningkatkan keandalan pasokan listrik di jaringan penyulang tersebut.

Abstract. Voltage drop is a critical issue in electric power distribution systems as it affects service quality, energy efficiency, and overall system reliability. This topic was chosen because the Sidomulyo feeder, part of the 20 kV medium-voltage network under PT. PLN (Persero) UP3 Sidoarjo – ULP Sidoarjo Kota, covers a wide area with varying load demands, making it prone to significant voltage drops. This study aims to analyze the extent of voltage drop and identify critical points within the network. The method used involves simulation with ETAP 19.0.1 software, utilizing actual field data such as line length, conductor type, connected loads, and system configuration. The analysis results show several load points experiencing voltage drops near or exceeding standard limits, including PA 524, PA 972, and PA 1111 in manual calculations, as well as PA 822 and PA 2080 in ETAP simulations. In conclusion, system optimization is necessary through technical improvements and load redistribution to maintain voltage stability and enhance the reliability of power supply in the feeder network.

1. PENDAHULUAN

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian vital dalam penyediaan energi kepada konsumen karena berperan langsung dalam

menjamin kontinuitas dan kualitas pasokan listrik. Salah satu parameter utama dalam menilai kualitas distribusi adalah *voltage drop* atau penurunan tegangan, yang apabila

melebihi batas toleransi dapat menyebabkan penurunan efisiensi sistem, kerusakan peralatan, serta gangguan operasional pelanggan[1]. Dalam sistem distribusi tegangan menengah (20 kV), penyulang memegang peranan penting dalam menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke konsumen. Kondisi seperti panjang penyulang, variasi beban, dan jenis konduktor sering kali menjadi penyebab utama terjadinya penurunan tegangan.[2]

Salah satu penyulang yang berpotensi mengalami hal tersebut adalah Penyulang Sidomulyo di bawah wilayah kerja PT. PLN (Persero) UP3 Sidoarjo – ULP Sidoarjo Kota. Penyulang ini melayani wilayah padat pelanggan dengan karakteristik beban yang beragam dan tersebar. Oleh karena itu, analisis teknis yang komprehensif diperlukan untuk memastikan bahwa tegangan di setiap titik beban tetap berada dalam batas standar.[3] Dalam konteks evaluasi jaringan distribusi, *software* ETAP telah menjadi alat bantu teknik yang diandalkan karena mampu melakukan simulasi aliran daya, analisis penurunan tegangan, serta visualisasi jaringan secara rinci dan presisi. Berbagai studi sebelumnya membuktikan bahwa ETAP mampu menghasilkan analisis yang akurat untuk mendukung keputusan teknis dan perencanaan sistem distribusi. Di sisi lain, PLN secara nasional terus mengalami peningkatan jumlah pelanggan dan beban puncak setiap tahunnya, yang menuntut sistem distribusi tetap efisien dan andal.[4]

Namun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu lebih fokus pada studi *voltage drop* pada sistem distribusi secara umum[5], bukan secara spesifik pada wilayah kerja tertentu atau penyulang yang memiliki karakteristik jaringan kompleks seperti Sidomulyo. Hingga saat ini belum banyak kajian berbasis simulasi ETAP yang secara khusus mengangkat penyulang ini sebagai studi kasus dengan pendekatan berbasis data aktual lapangan. Di sinilah letak gap penelitian yang ingin dijawab, yakni menyediakan analisis berbasis simulasi yang lebih kontekstual dan aplikatif.[6] Berdasarkan hal tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis besarnya penurunan tegangan (*voltage drop*) pada Penyulang Sidomulyo menggunakan *software* ETAP 19.0.1 serta mengidentifikasi titik-titik kritis

yang mengalami deviasi tegangan melebihi standar SPLN. Penelitian ini juga bertujuan memberikan rekomendasi teknis yang dapat mendukung upaya peningkatan efisiensi dan keandalan jaringan distribusi listrik, sekaligus sebagai sarana pembelajaran aplikatif bagi pengembangan kompetensi mahasiswa dalam bidang ketenagalistrikan[7].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Studi tegangan jatuh pada jaringan tegangan menengah (JTM), khususnya pada penyulang Sidomulyo. Tegangan jatuh (ΔV) adalah fenomena penurunan tegangan listrik sepanjang saluran transmisi atau distribusi akibat impedansi saluran dan aliran arus[8]. Fenomena ini dapat berdampak negatif pada kinerja peralatan listrik, seperti motor induksi yang mengalami penurunan torsi, serta lampu yang redup. Dalam konteks jaringan distribusi, standar yang ditetapkan oleh PT PLN (Persero) menetapkan batas toleransi tegangan jatuh yang tidak boleh melebihi 5% dari tegangan nominal untuk menjaga kualitas layanan[9]. Studi terdahulu menunjukkan bahwa tegangan jatuh cenderung lebih signifikan pada ujung penyulang yang memiliki jarak lebih jauh dari gardu induk dan menanggung beban yang lebih besar. Oleh karena itu, analisis tegangan jatuh memerlukan data yang akurat mengenai konfigurasi jaringan (panjang dan jenis konduktor), parameter impedansi, serta profil beban di sepanjang penyulang.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menganalisis dan mengatasi tegangan jatuh. Secara analitis, tegangan jatuh dapat dihitung menggunakan rumus pendekatan yang mempertimbangkan komponen resistansi (R) dan reaktansi (X) saluran, serta arus beban (I) dan faktor daya ($\cos\phi$)[10]. Perhitungan ini seringkali dilakukan dengan bantuan perangkat lunak simulasi seperti ETAP atau PowerFactory untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan mempertimbangkan kondisi dinamis. Solusi untuk mengatasi tegangan jatuh yang berlebihan meliputi pemasangan kapasitor bank untuk memperbaiki faktor daya, rekonstruksi jaringan dengan konduktor yang memiliki penampang lebih besar, atau penambahan gardu distribusi baru untuk memperpendek jarak penyulang[11]. Studi pada penyulang Sidomulyo ini bertujuan untuk mengidentifikasi

segmen jaringan yang paling rentan mengalami tegangan jatuh dan mengusulkan solusi teknis yang efektif untuk memastikan tegangan di sisi pelanggan tetap berada dalam batas toleransi yang ditetapkan, sehingga meningkatkan keandalan dan kualitas pasokan listrik.

3. METODE PENELITIAN

Dalam melakukan analisis beban pada Penyulang Sidomulyo, *software* ETAP 19.0.1, menggunakan teori analisis aliran daya (*Load Flow Analysis*) sebagai dasar studi[12]. Dengan menggunakan teori ini, analisis pada *software* ETAP 19.0.1 akan menghasilkan evaluasi yang lebih akurat terhadap kondisi oprasional pada penyulang Sidomulyo dan memberikan rekomendasi guna meningkatkan efisiensi dan keandalan dalam sistem distribusi tenaga listrik.

A. Analisis Menggunakan *Software* ETAP

Adapun tahapan yang dilakukan dalam menganalisis pada *software* ETAP 19.0.1[13], sebagai berikut:

1. Mempersiapkan data, meliputi:
 - a. Data jaringan yang terdiri dari diagram jaringan listrik, jenis penyulang, panjang saluran, dan konfigurasi sistem distribusi.
 - b. Data beban yang terdiri dari data daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR) pada setiap titik beban.
 - c. Data peralatan yang terdiri dari spesifikasi transformator, jenis kabel yang digunakan, dan perangkat proteksi.
 - d. Data impedansi saluran yang terdiri atas nilai resistansi (R) dan reaktansi (X) dari setiap segmen saluran.

2. Pembuatan model jaringan pada ETAP

Adapun langkah pembuatan model jaringan pada ETAP, sebagai berikut:

- a. Buka ETAP 19.0 dan buat proyek baru.
- b. Buat *single line diagram* (SLD)

Pembuatan *single line diagram* (SLD) dengan menambahkan beberapa komponen, antara lain:

- 1) Sumber Tenaga. Gardu induk atau generator sebagai titik referensi tegangan.
- 2) Saluran Transmisi/ Distribusi. Masukkan impedansi dan panjang saluran.
- 3) Transformator. Atur nilai tegangan, kapasitas, dan parameter lainnya.
- 4) Busbar. Hubungkan setiap titik distribusi.
- 5) Beban. Tambahkan nilai daya sesuai dengan data yang diperoleh.

3. Melakukan *Load Flow Analysis* (Analisis Aliran Daya)

Adapun langkah pembuatan model jaringan pada ETAP, sebagai berikut:

- a. Pilih mode "*Load Flow Analysis*" pada ETAP.
- b. Tetapkan metode perhitungan, misalnya Newton-Raphson atau Gauss-Seidel.
- c. Jalankan simulasi untuk melihat distribusi daya, tegangan, serta faktor daya di setiap bus.
- d. Melakukan analisis berdasarkan hasil yang didapat.

B. Analisis Menggunakan Hitungan

Dalam melakukan analisis tegangan jatuh dengan menggunakan *software* ETAP, diperlukan hitungan manual untuk memberikan hasil yang lebih akurat. Berikut merupakan rumus yang digunakan dalam hitung[14]:

1. Rumus Hambatan Kabel

$$R = \rho \times \frac{l}{A} \quad (1)$$

Di mana:

- R = Hambatan kabel (Ω)
 ρ = Hambatan jenis bahan kabel (Ωm)
l = Panjang penampang kabel (m)
A = Luar penampang kabel (mm^2)

2. Rumus Tegangan Jatuh

$$V_d = \sqrt{3} \times I \times R \times \cos\phi \quad (2)$$

Di mana:

- V_d = Besar *voltage drop* (V)
 $\sqrt{3}$ = Digunakan dalam menghitung sistem distribusi 3 phasa
I = Arus terukur (A)
R = Hambatan kabel (Ω)
 $\cos\phi$ = Nilai efisiensi standar ($\approx 0,85$)

3. Rumus Persentase Penurunan Kualitas Tegangan

$$PK \text{ Tegangan}(\%) = \frac{V_{drop}}{V_{in}} \times 100 \quad (3)$$

Di mana:

PK Tegangan = Besar tegangan yang turun (%)

- V_{drop} = *Voltage drop* (V)
 V_{in} = Tegangan input (V)

4. Rumus *Margin Error*

$$ME(\%) = \frac{V_{Gardu} - V_{Bus}}{V_{Bus}} \times 100 \quad (4)$$

Di mana:

- ME = *Margin error* (%)
 V_{Gardu} = Besar tegangan yang didapatkan dengan perhitungan manual (V)
 V_{Bus} = Besar tegangan yang didapatkan dengan simulasi ETAP (V)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data dari PT. PLN (Persero) UID Jawa Timur, Penyulang Sidomulyo termasuk dalam lingkup kerja ULP Sidoarjo Kota. Penyulang Sidomulyo memiliki panjang saluran sebesar 4,555 kms dan mendapatkan suplai listrik dari transformator nomor 5 dari Gardu Induk Buduran. Adapun data transformator tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Transformator Gardu Induk Sidoarjo yang Menyuplai Penyulang Sidomulyo.

Tegangan <i>Input</i>	:	70 kV
Tegangan <i>Output</i>	:	22 kV
Kapasitas Transformator	:	30 MVA

Dalam hal ini, terdapat beberapa gardu yang mendapatkan suplai tegangan menengah, sebagai berikut:

Tabel 2. Data Gardu Penyulang Sidomulyo

Gardu	Jenis Pelanggan	Daya Pelanggan (kVA)	Daya Trafo (kVA)
PA 023	Pelanggan Tegangan Menengah	555	-
PA 080	Pelanggan Tegangan Menengah	555	-
PA 138	Trafo Khusus	147	160
PA 207	Trafo Khusus	197	200
PA 275	Trafo Khusus	105	160
PA 391	Trafo Khusus	197	250
PA 493	Trafo Khusus	41,5	50
PA 502	Trafo Umum	-	100
PA 506	Trafo Umum	-	100
PA 518	Trafo Khusus	197	160
PA 524	Trafo Khusus	197	160
PA 540	Pelanggan Tegangan Menengah	345	-
PA 542	Trafo Khusus	164	200
PA 579	Pelanggan Tegangan Menengah	345	-
PA 630	Trafo Khusus	41,5	100
PA 659	Trafo Umum	-	200
PA 770	Pelanggan Tegangan Menengah	865	-
PA 807	Trafo Khusus	197	200
PA 822	Pelanggan Tegangan Menengah	1110	-
PA 885	Trafo Khusus	197	200
PA 972	Trafo Khusus	197	250
PA 986	Pelanggan Tegangan Menengah	2180	-
PA 1030	Trafo Khusus	147	160
PA 1050	Trafo Khusus	131	160
PA 1065	Trafo Khusus	197	200
PA 1079	Trafo Khusus	105	160
PA 1111	Trafo Khusus	164	200
PA 1265	Trafo Khusus	197	200
PA 1280	Trafo Khusus	41,5	50
PA 1404	Pelanggan Tegangan Menengah	345	-
PA 1512	Pelanggan Tegangan Menengah	1110	-
PA 1751	Trafo Khusus	197	200
PA 1800	Trafo Khusus	197	200
PA 2080	Trafo Khusus	131	160

Pembuatan *single line diagram* (SLD) di ETAP berlandaskan pada SLD Penyulang Sidomulyo. Diagram ini berfungsi sebagai representasi visual dari sistem kelistrikan, memastikan akurasi data untuk analisis dan simulasi. Penggunaan SLD ini sangat krusial

karena membantu teknisi membangun model digital yang presisi dan meminimalkan kesalahan input dan mempercepat proses pemodelan. Berikut adalah SLD yang menjadi dasar pekerjaan ini:

Tabel 3. Data Kabel

Jenis Kabel	Luas Penampang (mm ²)
XLPE	150 – 240
MVTIC	150
AAACS	70 – 150
AAAC	70

C. Panjang kabel yang digunakan

Dalam rumus hambatan pada kabel, diperlukan data panjang kabel. Begitu juga pada *software* ETAP 19.0.1, diperlukan data panjang saluran dengan kilometer sirkuit (kms), yang berisi 1 data yang mewakili panjang 3 kabel phasa R, S, dan T. Adapun rincian panjang saluran antara gardu induk dengan masing-masing gardu sebagai berikut:

Tabel 4. Data Panjang Kabel yang Digunakan

Gardu	Panjang Kabel ke Gardu Induk (ms)
PA 023	1586,5
PA 080	1396,5
PA 138	1581,5
PA 207	1348,3
PA 275	401
PA 391	1387,5
PA 493	1454,5
PA 502	1348,5
PA 506	1488,5
PA 518	399,5
PA 524	1887,98
PA 540	417
PA 542	437,6
PA 579	1379,5
PA 630	1404,5
PA 659	1488,5
PA 770	1665
PA 807	403,101
PA 822	1741,5
PA 885	403,2
PA 972	1887,98
PA 986	421
PA 1030	1348,5
PA 1050	437,9
PA 1065	1350,3
PA 1079	403,7
PA 1111	1887,98
PA 1265	1346,5
PA 1280	1348,5
PA 1404	1419,5
PA 1512	1353,5
PA 1751	1454,5
PA 1800	1652,2
PA 2080	1741,5

Berdasarkan data panjang saluran antara gardu induk dengan masing-masing gardu, dapat dilakukan perhitungan hambatan kabel dengan menggunakan rumus (1). Adapun hasil yang didapat sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Perhitungan Hambatan Kabel antara Gardu Induk dengan Tiap Gardu

Gardu	Panjang Kabel ke Gardu Induk (m)	Hambatan Kabel (Ω)
PA 023	1586,50	0,2803
PA 080	1396,50	0,2467
PA 138	1581,50	0,2794
PA 207	1348,30	0,2382
PA 275	401,00	0,0708
PA 391	1387,50	0,2451
PA 493	1454,50	0,2570
PA 502	1348,50	0,2382
PA 506	1488,50	0,2630
PA 518	399,50	0,0706
PA 524	1887,98	0,3335
PA 540	417,00	0,0737
PA 542	437,60	0,0773
PA 579	1379,50	0,2437
PA 630	1404,50	0,2481
PA 659	1488,50	0,2630
PA 770	1665,00	0,2942
PA 807	403,10	0,0712
PA 822	1741,50	0,3077
PA 885	403,20	0,0712
PA 972	1887,98	0,3335
PA 986	421,00	0,0744
PA 1030	1348,50	0,2382
PA 1050	437,90	0,0774
PA 1065	1350,30	0,2386
PA 1079	403,70	0,0713
PA 1111	1887,98	0,3335
PA 1265	1346,50	0,2379
PA 1280	1348,50	0,2382
PA 1404	1419,50	0,2508
PA 1512	1353,50	0,2391
PA 1751	1454,50	0,2570
PA 1800	1652,20	0,2919
PA 2080	1741,50	0,3077

Setelah mengetahui besar hambatan kabel antara gardu induk dengan masing-masing gardu, maka dapat melakukan perhitungan *voltage drop* yang terjadi dengan menggunakan rumus (2). Dalam perhitungan *voltage drop*, diperlukan data arus dan tegangan terukur dari Penyulang Sidomulyo. Adapun hasil pengukuran yang didapat oleh PT. PLN (Persero), sebagai berikut:

V = 22 kV

I = 1. 111 A (Kondisi siang)

2. 64 A (Kondisi malam)

Dengan menggunakan data tersebut didapatkan dua hasil *voltage drop*, yaitu hasil hitung manual dan hasil simulasi pada *software* ETAP. Perhitungan manual dilakukan dengan menggunakan data tersebut dengan rumus (2). Sedangkan, pada *software* ETAP 19.0.1, untuk

mengetahui besar *voltage drop*, dapat dilakukan dengan memilih menu *load flow*. Lalu, memilih ikon *run load flow* untuk menjalankan simulasi. Besar *voltage drop* didapatkan dengan mengurangi tegangan nominal pada bus sisi *output* gardu induk dengan bus sisi *input* menuju masing-masing gardu. Adapun hasil *voltage drop* yang didapatkan, sebagaimana yang tercantum dalam tabel berikut:

Tabel 6. Hasil Perhitungan *Voltage Drop* pada Tiap Gardu Hitung Manual dan Simulasi ETAP

Gardu	Hitung Manual				Simulasi ETAP			
	Siang		Malam		Siang		Malam	
	Voltage Drop (V)	Tegangan Primer Transformator Distribusi (V)	Voltage Drop (V)	Tegangan Primer Transformator Distribusi (V)	Tegangan pada Bus (V)	Voltage Drop (V)	Tegangan pada Bus (V)	Voltage Drop (V)
PA 023	45,8033	21954,1967	26,4091	21973,5909	21840	160	21952	48
PA 080	40,3179	21959,6821	23,2464	21976,7536	21841	159	21952	48
PA 138	45,659	21954,341	26,3259	21973,6741	21840	160	21952	48
PA 207	38,9263	21961,0737	22,444	21977,556	21841	159	21952	48
PA 275	11,5771	21988,4229	6,6751	21993,3249	21881	119	21985	15
PA 391	40,0581	21959,9419	23,0966	21976,9034	21841	159	21952	48
PA 493	41,9924	21958,0076	24,2118	21975,7882	21841	159	21952	48
PA 502	38,9321	21961,0679	22,4474	21977,5526	21841	159	21952	48
PA 506	42,974	21957,026	24,7778	21975,2222	21841	159	21952	48
PA 518	11,5338	21988,4662	6,6501	21993,3499	21881	119	21985	15
PA 524	54,5073	21945,4927	31,4276	21968,5724	21840	160	21952	48
PA 540	12,0391	21987,9609	6,9414	21993,0586	21881	119	21985	15
PA 542	12,6338	21987,3662	7,2844	21992,7156	21881	119	21985	15
PA 579	39,8271	21960,1729	22,9634	21977,0366	21841	159	21952	48
PA 630	40,5489	21959,4511	23,3795	21976,6205	21841	159	21952	48
PA 659	42,974	21957,026	24,7778	21975,2222	21841	159	21952	48
PA 770	48,0697	21951,9303	27,7159	21972,2841	21840	160	21952	48
PA 807	11,6378	21988,3622	6,7101	21993,2899	21881	119	21985	15
PA 822	50,2783	21949,7217	28,9893	21971,0107	21839	161	21946	54
PA 885	11,6407	21988,3593	6,7117	21993,2883	21881	119	21985	15
PA 972	54,5073	21945,4927	31,4276	21968,5724	21840	160	21952	48
PA 986	12,1546	21987,8454	7,008	21992,992	21881	119	21985	15
PA 1030	38,9321	21961,0679	22,4474	21977,5526	21841	159	21952	48
PA 1050	12,6425	21987,3575	7,2894	21992,7106	21881	119	21985	15
PA 1065	38,9841	21961,0159	22,4773	21977,5227	21841	159	21952	48
PA 1079	11,6551	21988,3449	6,7201	21993,2799	21881	119	21985	15
PA 1111	54,5073	21945,4927	31,4276	21968,5724	21840	160	21952	48
PA 1265	38,8744	21961,1256	22,4141	21977,5859	21841	159	21952	48
PA 1280	38,9321	21961,0679	22,4474	21977,5526	21841	159	21952	48
PA 1404	40,9819	21959,0181	23,6292	21976,3708	21841	159	21952	48
PA 1512	39,0765	21960,9235	22,5306	21977,4694	21841	159	21952	48
PA 1751	41,9924	21958,0076	24,2118	21975,7882	21841	159	21952	48
PA 1800	47,7002	21952,2998	27,5028	21972,4972	21840	160	21952	48
PA 2080	50,2783	21949,7217	28,9893	21971,0107	21839	161	21946	54

Selain itu, dilakukan juga perhitungan penurunan kualitas tegangan yang terjadi pada masing-masing gardu Penyulang Sidomulyo

dengan menggunakan rumus (3). Adapun hasil yang didapatkan sebagai berikut:

Tabel 8. Hasil Perhitungan Penurunan Kualitas Tegangan Kondisi Siang

Gardu	Siang				Malam			
	Perhitungan		ETAP		Perhitungan		ETAP	
	Voltage Drop (V)	Penurunan Kualitas Tegangan (%)	Voltage Drop (V)	Penurunan Kualitas Tegangan (%)	Voltage Drop (V)	Penurunan Kualitas Tegangan (%)	Voltage Drop (V)	Penurunan Kualitas Tegangan (%)
PA 023	45,8033	0,2082	160	0,7273	26,4091	0,1200	48	0,2182
PA 080	40,3179	0,1833	159	0,7227	23,2464	0,1057	48	0,2182
PA 138	45,6590	0,2075	160	0,7273	26,3259	0,1197	48	0,2182
PA 207	38,9263	0,1769	159	0,7227	22,4440	0,1020	48	0,2182
PA 275	11,5771	0,0526	119	0,5409	6,6751	0,0303	15	0,0682
PA 391	40,0581	0,1821	159	0,7227	23,0966	0,1050	48	0,2182
PA 493	41,9924	0,1909	159	0,7227	24,2118	0,1101	48	0,2182
PA 502	38,9321	0,1770	159	0,7227	22,4474	0,1020	48	0,2182
PA 506	42,9740	0,1953	159	0,7227	24,7778	0,1126	48	0,2182
PA 518	11,5338	0,0524	119	0,5409	6,6501	0,0302	15	0,0682
PA 524	54,5073	0,2478	160	0,7273	31,4276	0,1429	48	0,2182
PA 540	12,0391	0,0547	119	0,5409	6,9414	0,0316	15	0,0682
PA 542	12,6338	0,0574	119	0,5409	7,2844	0,0331	15	0,0682
PA 579	39,8271	0,1810	159	0,7227	22,9634	0,1044	48	0,2182
PA 630	40,5489	0,1843	159	0,7227	23,3795	0,1063	48	0,2182
PA 659	42,9740	0,1953	159	0,7227	24,7778	0,1126	48	0,2182
PA 770	48,0697	0,2185	160	0,7273	27,7159	0,1260	48	0,2182
PA 807	11,6378	0,0529	119	0,5409	6,7101	0,0305	15	0,0682
PA 822	50,2783	0,2285	161	0,7318	28,9893	0,1318	54	0,2455
PA 885	11,6407	0,0529	119	0,5409	6,7117	0,0305	15	0,0682
PA 972	54,5073	0,2478	160	0,7273	31,4276	0,1429	48	0,2182
PA 986	12,1546	0,0552	119	0,5409	7,0080	0,0319	15	0,0682
PA 1030	38,9321	0,1770	159	0,7227	22,4474	0,1020	48	0,2182
PA 1050	12,6425	0,0575	119	0,5409	7,2894	0,0331	15	0,0682
PA 1065	38,9841	0,1772	159	0,7227	22,4773	0,1022	48	0,2182
PA 1079	11,6551	0,0530	119	0,5409	6,7201	0,0305	15	0,0682
PA 1111	54,5073	0,2478	160	0,7273	31,4276	0,1429	48	0,2182
PA 1265	38,8744	0,1767	159	0,7227	22,4141	0,1019	48	0,2182
PA 1280	38,9321	0,1770	159	0,7227	22,4474	0,1020	48	0,2182
PA 1404	40,9819	0,1863	159	0,7227	23,6292	0,1074	48	0,2182
PA 1512	39,0765	0,1776	159	0,7227	22,5306	0,1024	48	0,2182
PA 1751	41,9924	0,1909	159	0,7227	24,2118	0,1101	48	0,2182
PA 1800	47,7002	0,2168	160	0,7273	27,5028	0,1250	48	0,2182
PA 2080	50,2783	0,2285	161	0,7318	28,9893	0,1318	54	0,2455

Berdasarkan data yang telah diperoleh, maka dapat dilakukan perhitungan margin error untuk mengetahui seberapa besar kemungkinan terjadi kesalahan dalam perhitungan. Margin error ini menunjukkan tingkat akurasi hasil survei atau penelitian, dengan mengindikasikan rentang nilai di mana hasil yang sebenarnya kemungkinan besar berada. Perhitungan margin

error memiliki peran vital dalam dunia penelitian dan statistik karena menyediakan batas toleransi kesalahan yang dapat diterima. Semakin kecil nilai margin error, semakin tinggi tingkat keyakinan (confidence level) bahwa sampel yang diambil representatif terhadap populasi secara keseluruhan. Oleh karena itu, hasil dengan margin error yang

rendah menunjukkan bahwa temuan tersebut lebih akurat dan dapat diandalkan untuk membuat generalisasi. Dalam kasus ini, perhitungan margin error dapat dilakukan

menggunakan Rumus (4), yang akan memberikan insight tentang seberapa dekat hasil perhitungan kita dengan nilai populasi yang sebenarnya.

Tabel 10. Hasil Perhitungan *Margin Error* Kondisi Siang

Gardu	Siang			Malam		
	Tegangan pada Gardu (V)	Tegangan pada Bus (V)	Margin Error (%)	Tegangan pada Gardu (V)	Tegangan pada Bus (V)	Margin Error (%)
PA 023	21954,19665	21840	0,5229	21973,59086	21952	0,0984
PA 080	21959,68208	21841	0,5434	21976,75363	21952	0,1128
PA 138	21954,34101	21840	0,5235	21973,67409	21952	0,0987
PA 207	21961,07365	21841	0,5498	21977,55598	21952	0,1164
PA 275	21988,42285	21881	0,4909	21993,32489	21985	0,0379
PA 391	21959,94192	21841	0,5446	21976,90345	21952	0,1134
PA 493	21958,00758	21841	0,5357	21975,78816	21952	0,1084
PA 502	21961,06788	21841	0,5497	21977,55265	21952	0,1164
PA 506	21957,02598	21841	0,5312	21975,22219	21952	0,1058
PA 518	21988,46616	21881	0,4911	21993,34986	21985	0,0380
PA 524	21945,49272	21840	0,4830	21968,57238	21952	0,0755
PA 540	21987,96092	21881	0,4888	21993,05855	21985	0,0367
PA 542	21987,36619	21881	0,4861	21992,71564	21985	0,0351
PA 579	21960,17288	21841	0,5456	21977,03662	21952	0,1141
PA 630	21959,45112	21841	0,5423	21976,62046	21952	0,1122
PA 659	21957,02598	21841	0,5312	21975,22219	21952	0,1058
PA 770	21951,9303	21840	0,5125	21972,28414	21952	0,0924
PA 807	21988,3622	21881	0,4907	21993,28992	21985	0,0377
PA 822	21949,7217	21839	0,5070	21971,01071	21946	0,1140
PA 885	21988,35934	21881	0,4907	21993,28827	21985	0,0377
PA 972	21945,49272	21840	0,4830	21968,57238	21952	0,0755
PA 986	21987,84544	21881	0,4883	21992,99197	21985	0,0364
PA 1030	21961,06788	21841	0,5497	21977,55265	21952	0,1164
PA 1050	21987,35753	21881	0,4861	21992,71065	21985	0,0351
PA 1065	21961,01591	21841	0,5495	21977,52269	21952	0,1163
PA 1079	21988,3449	21881	0,4906	21993,27994	21985	0,0377
PA 1111	21945,49272	21840	0,4830	21968,57238	21952	0,0755
PA 1265	21961,12562	21841	0,5500	21977,58594	21952	0,1166
PA 1280	21961,06788	21841	0,5497	21977,55265	21952	0,1164
PA 1404	21959,01806	21841	0,5404	21976,37077	21952	0,1110
PA 1512	21960,92352	21841	0,5491	21977,46942	21952	0,1160
PA 1751	21958,00758	21841	0,5357	21975,78816	21952	0,1084
PA 1800	21952,29985	21840	0,5142	21972,49721	21952	0,0934
PA 2080	21949,7217	21839	0,5070	21971,01071	21946	0,1140

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut:

- Beberapa faktor yang memengaruhi *voltage drop* adalah jenis kabel, luas penampang kabel, dan panjang kabel.
- Voltage drop* kondisi siang tertinggi pada perhitungan mencapai 54,5073 V, yang terjadi pada PA 524, PA 972, dan PA

1111. Sedangkan, pada simulasi ETAP mencapai 161 V, yang terjadi pada PA 822 dan PA 2080.

- Voltage drop* kondisi malam tertinggi pada perhitungan mencapai 31,4276 V, yang terjadi pada PA 524, PA 972, dan PA 1111. Sedangkan, pada simulasi ETAP mencapai 54 V, yang terjadi pada PA 822 dan PA 2080.

- d. Penurunan kualitas tegangan kondisi siang tertinggi pada perhitungan mencapai 0,2478%, yang terjadi pada PA 524, PA 972, dan PA 1111. Sedangkan, pada simulasi ETAP mencapai 0,7318%, yang terjadi pada PA 822 dan PA 2080.
- e. Penurunan kualitas tegangan kondisi malam tertinggi pada perhitungan mencapai 0,1429%, yang terjadi pada PA 524, PA 972, dan PA 1111. Sedangkan, pada simulasi ETAP mencapai 0,2455%, yang terjadi pada PA 822 dan PA 2080.
- f. Diperlukan optimalisasi sistem distribusi melalui perbaikan teknis dan pengaturan ulang beban untuk menjaga kestabilan tegangan serta meningkatkan keandalan pasokan listrik di jaringan penyulang tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Subuh Isnur Haryudo selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berarti selama proses penulisan artikel ini. Terima kasih atas kesabaran, dukungan, dan ilmu yang telah diberikan sehingga artikel ini dapat tersusun dengan baik.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Andhika Ary Santana selaku mentor lapangan di PT. PLN (Persero) ULP Sidoarjo Kota yang telah memberikan kesempatan, fasilitas, serta bimbingan secara langsung selama pelaksanaan kegiatan di lapangan. Dukungan dan pengalaman praktis yang diberikan sangat membantu dalam penyusunan artikel ini.

Semoga segala bantuan dan kebaikan yang telah diberikan menjadi amal kebaikan dan mendapatkan balasan yang setimpal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. S. Sampeallo, W. F. Galla, dan D. H. L. Rohi, "Analisis Rugi Daya Di Penyulang Oebufu Pt. Pln (Persero) Ulp Kupang Menggunakan Algoritma Genetika," *J. Media Elektro*, vol. X, no. 1, hal. 32–43, 2021, doi: 10.35508/jme.v0i0.3762.
- [2] S. I. Haryudo, A. R. Ariangga, dan ..., "Analisis Rugi Daya dan Jatuh Tegangan Pada Sistem Kelistrikan PT Pertamina Ledok Untuk Meningkatkan Keandalan Sistem," *J. Tek. ...*, hal. 649–659, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/view/42283%0Ahttps://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/download/42283/36337>
- [3] N. Soedjarwanto, K. E. Kines, dan S. A. Aulia, "Analisis Susut Daya (Losses) Pada Penyulang Rayap Pt Pln (Persero) Uid Lampung Berbasis Aplikasi Etap 19.0.1," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, hal. 956–962, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4072.
- [4] A. A. A. MAPPABETA, "ANALISIS LOSSES SISTEM DISTRIBUSI 20 KV PT. PLN ULP PANAKKUKANG ANTANG MENGGUNAKAN ETAP 16.0," vol. 75, no. 17, hal. 399–405, 2021.
- [5] A. Azzam, "Analisis Keandalan Sistem Jaringan Distribusi 20 Kv Pt. Pln (Persero) Up3 Metro Menggunakan Metode Reliability Network Equivalent Approach (Rnea)," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 1, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i1.3813.
- [6] M. Mujiburrahman, "Analisis Tegangan Jatuh (Drop Voltage) Pada Unit Boiler Di Ppsdm Migas Cepu Menggunakan Etap 12.6.0," *J. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 3, hal. 757–768, 2021.
- [7] M. Simulasi dan S. Etap, "ANALISIS DROP TEGANGAN SAAT MANUEVER JARINGAN PADA PENYULANG SYG01 DAN SYG09," vol. 13, no. 3.
- [8] W. A. Oktaviani, D. G. Saputri, dan T. Barlian, "Analisis Drop Tegangan Untuk Menilai Tingkat Keandalan Saat Manuver Jaringan Pada Penyulang Kikim dan Parkit P.T. PLN Area Palembang," *Electrician*, vol. 13, no. 3, hal. 83–88, 2019, doi: 10.23960/elc.v13n3.2128.
- [9] T. J. Pramono, S. Soewono, dan T. Elektro, "Analisis Drop Tegangan Pada Jaringan Tegangan Menengah," *Energi & Kelistrikan*, vol. 10, hal. 26–37, 2018.
- [10] J. Son, Y. Afrida, U. U, dan A. A. A, "Simulasi Perbaikan Tegangan menggunakan Aplikasi ETAP pada Mobile Substation 150/20 KV Sistem Kelistrikan PLN (Persero) Rayon Menggala," *Electr. J. Rekayasa dan Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 1, hal. 37–43, 2023, doi: 10.23960/elc.v17n1.2411.
- [11] Wijaya Kusuma, Ruwah Joto, dan Mochammad Mieftah, "Analisis Keandalan Sistem Distribusi 20kV Pada Penyulang Pujon PT. PLN (PERSERO) ULP Batu," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 9, no. 3, hal.

- 188–193, 2023, doi: 10.33795/elposys.v9i3.656.
- [12] C. H. B. Apribowo, M. Nizam, A. Ramelan, H. Maghfiroh, dan A. Vici Yunitasari, “Design of Microhydro Power Plants Based on Load Flow and Short Circuit Study Using ETAP: A Case Study in East Java, Indonesia,” *J. Electr. Electron. Information, Commun. Technol.*, vol. 4, no. 2, hal. 71, 2022, doi: 10.20961/jeeict.4.2.67505.
- [13] N. M. Tana, F. Likadja, dan W. F. Galla, “Rekonfigurasi Jaringan Pada Saluran Udara Tegangan Menengah 20 Kv Penyulang Naioni Pt. Pln (Persero) Ulp Kupang Menggunakan Perangkat Lunak Electrical Transient Analysis Program (Etap) 12.6,” *J. Media Elektro*, vol. VIII, no. 1, hal. 41–52, 2019, doi: 10.35508/jme.v8i1.1441.
- [14] M. R. K. Bambang Winardi, Agung Warsito, “Analisa Perbaikan Susut Teknis Dan Susut Tegangan Pada Penyulang Kls 06 Di Gi Kalisari Dengan Menggunakan Software Etap 7.5.0,” <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/transmisi/article/view/8965>, hal. 1–6, 2015.
- [15] Khabiburrahman, Suprpto, dan D. Widjanarko, “Pengaruh Variasi Bahan Dan Jumlah Lilitan Groundstrap Terhadap Medan Magnet Pada Kabel Busi Sepeda Motor,” *Saintek J. Sains dan Teknol.*, vol. 15, no. 2, hal. 173–180, 2017.