

Analisis Performansi Kabel N2XY Terhadap Jatuh Tegangan Pada Sistem Tiga Fasa Menggunakan Etap dan Monitoring Real-time Berbasis IoT

Pristisal Wibowo¹, Parlin Siagian², Abdul Razak³

^{1,2,3} Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia

Email: ¹pristisawibowo@dosen.pancabudi.ac.id, ²*parlinsiagian@yahoo.com, ³abdulrazak4567xp@gmail.com

(* Email Corresponding Author: pristisawibowo@dosen.pancabudi.ac.id)

Received: November 5, 2025 | Revision: November 16, 2025 | Accepted: November 21, 2025

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis performansi kabel N2XY pada sistem tiga fasa tegangan rendah dengan fokus utama pada pengaruh jatuh tegangan yang terjadi. Masalah jatuh tegangan dalam sistem distribusi listrik seringkali mengakibatkan turunnya kualitas pasokan daya, sehingga memerlukan analisis menyeluruh terhadap parameter sistem yang digunakan. Metode penelitian ini mencakup pengukuran langsung di lapangan, perhitungan manual menggunakan rumus dasar teknik listrik, serta simulasi dengan perangkat lunak ETAP 12.6.0 untuk memvalidasi hasil analisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada jarak 1,3 km dengan kabel N2XY berpenampang 4 x 70 mm² dan beban total sebesar 20,7 kW, diperoleh jatuh tegangan sebesar 33,3 V (8,31%) berdasarkan pengukuran, 33,89 V (8,47%) dari perhitungan, dan 25,8 V (6,5%) melalui simulasi ETAP. Disarankan untuk memperbesar penampang kabel guna meminimalisir jatuh tegangan dan menjaga kestabilan sistem distribusi daya listrik.

Kata kunci: kabel N2XY, jatuh tegangan, sistem tiga fasa, distribusi listrik, simulasi ETAP

Abstract

This study analyzes the performance of N2XY cables in low-voltage three-phase systems, focusing on the impact of voltage drop. Voltage drop in power distribution systems can reduce power quality and efficiency, making it crucial to evaluate the system's parameters. The research employed direct field measurements, manual calculations based on electrical engineering principles, and simulations using ETAP 12.6.0 software to validate the results. The findings revealed that for a distance of 1.3 km using 4 x 70 mm² N2XY cable with a total load of 20.7 kW, the measured voltage drop was 33.3 V (8.31%), while the calculated drop was 33.89 V (8.47%), and the ETAP simulation showed 25.8 V (6.5%). The study highlights the importance of optimizing cable size to minimize voltage drop and ensure system stability in power distribution.

Keywords: N2XY cable, voltage drop, three-phase system, power distribution, ETAP simulation

1. PENDAHULUAN

Distribusi tenaga listrik merupakan fondasi utama dalam penyediaan energi yang andal bagi masyarakat, industri, dan fasilitas komersial[1]. Kualitas distribusi listrik sangat dipengaruhi oleh kemampuan jaringan dalam menjaga kestabilan tegangan dari sumber hingga titik beban. Salah satu faktor krusial yang menentukan kualitas ini adalah besarnya jatuh tegangan yang terjadi pada penghantar[2][3]. Jatuh tegangan merupakan fenomena alamiah akibat adanya resistansi dan reaktansi pada kabel yang menyebabkan sebagian energi listrik hilang dalam bentuk panas, sehingga tegangan pada titik penerima menjadi lebih rendah dibandingkan tegangan pada titik pengirim. Besarnya jatuh tegangan semakin dipengaruhi oleh beberapa variabel seperti panjang kabel, luas penampang, jenis material penghantar, arus beban yang mengalir, hingga kondisi lingkungan tempat kabel dipasang[4].

Dalam konteks sistem distribusi tegangan rendah tiga fasa, fenomena jatuh tegangan menjadi isu utama yang sering muncul terutama pada instalasi dengan jarak saluran yang panjang[5]. Sistem listrik yang tidak dirancang dengan mempertimbangkan karakteristik kabel dapat menyebabkan tegangan pada beban berada di bawah standar yang telah ditentukan[6]. PLN sebagai penyedia listrik nasional telah menetapkan batas maksimal jatuh tegangan sebesar 10% untuk memastikan setiap konsumen mendapatkan tegangan yang sesuai standar operasional. Ketidakpatuhan terhadap batas ini dapat berdampak pada menurunnya efisiensi kerja peralatan listrik, meningkatnya rugi daya, serta potensi kerusakan pada perangkat elektronik yang sensitif terhadap fluktuasi tegangan[7]. Dalam perkembangan teknologi modern, isu jatuh tegangan semakin relevan dengan hadirnya konsep smart monitoring, di mana parameter jaringan listrik dapat dipantau secara real-time menggunakan teknologi Internet of Things (IoT). Pengawasan berkelanjutan melalui sensor tegangan, arus, dan suhu dapat membantu mendeteksi potensi anomali lebih cepat dibandingkan metode konvensional, sehingga meningkatkan keandalan operasi jaringan distribusi.

Kabel N2XY merupakan salah satu jenis kabel penghantar berisolasi PVC yang banyak digunakan pada sistem distribusi tegangan rendah[8]. Kabel ini memiliki karakteristik yang sesuai untuk instalasi tetap dan mampu beroperasi pada lingkungan tertentu dengan tingkat keamanan yang baik[9]. Namun, pemilihan ukuran penampang kabel N2XY harus dilakukan secara cermat, karena kesalahan dalam menentukan ukuran penampang dapat menyebabkan besarnya jatuh tegangan yang berpotensi menurunkan kualitas pasokan daya listrik[10]. Faktor resistansi yang semakin besar pada kabel berpenampang kecil membuat kabel tidak mampu menyalurkan daya secara optimal pada jarak tertentu[11]. Oleh karena itu, analisis performansi kabel menjadi hal mutlak dalam perencanaan jaringan listrik. Dalam konteks digitalisasi

sistem tenaga listrik, pemantauan performansi kabel berbasis IoT dapat menjadi solusi tambahan untuk mengevaluasi kondisi kabel secara berkelanjutan, termasuk memonitor perubahan resistansi akibat suhu lingkungan atau degradasi material kabel yang mungkin tidak terdeteksi melalui inspeksi periodik.

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis performansi kabel N2XY terutama terhadap besarnya jatuh tegangan pada jaringan distribusi tiga fasa tegangan rendah dengan panjang 1,3 km. Analisis dilakukan dengan tiga pendekatan yaitu pengukuran lapangan, perhitungan manual berdasarkan prinsip dasar teknik listrik, dan simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0. Selain itu, penelitian ini menginisiasi integrasi teknologi IoT melalui pemanfaatan sensor arus dan tegangan berbasis mikrokontroler untuk memonitor parameter jaringan secara real-time. Data IoT tersebut kemudian menjadi pembandingan tambahan untuk memvalidasi hasil pengukuran lapangan, sekaligus memberikan gambaran bagaimana performansi kabel berubah terhadap dinamika beban harian. Dengan membandingkan hasil dari ketiga metode tersebut, penelitian ini bertujuan memberikan gambaran yang komprehensif mengenai perilaku kabel N2XY ketika digunakan dalam kondisi nyata serta bagaimana hasilnya dibandingkan dengan model teoretis dan simulasi komputer.

Pendekatan pengukuran lapangan memberikan data aktual mengenai kondisi nyata jaringan listrik, termasuk pengaruh faktor eksternal seperti kualitas sambungan, kondisi lingkungan, dan faktor kerugian lain yang tidak diperhitungkan dalam rumus ideal. Perhitungan manual memberikan estimasi teoretis berdasarkan parameter dasar kabel seperti resistansi, reaktansi, dan faktor daya. Sementara itu, simulasi menggunakan ETAP mampu memberikan gambaran perilaku sistem secara lebih mendetail berdasarkan model matematis yang telah tervalidasi. Integrasi IoT dalam penelitian ini menambah dimensi analisis baru karena mampu menyediakan data yang bersifat continuous dan time-series, sehingga variasi beban harian, kenaikan suhu kabel, serta fluktuasi tegangan dapat terlihat secara langsung. Melalui kombinasi ini, dapat diketahui sejauh mana perbedaan antara kondisi ideal, simulasi, data lapangan, dan hasil monitoring berbasis IoT.

Hasil analisis awal menunjukkan bahwa nilai jatuh tegangan dari pengukuran lapangan lebih besar dibandingkan hasil simulasi ETAP. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi lapangan memiliki variabel yang lebih kompleks dibandingkan model dalam simulasi. Faktor seperti sambungan kabel yang kurang baik, kualitas konduktor, serta kondisi lingkungan berpengaruh terhadap besarnya rugi tegangan. Sementara itu, hasil perhitungan manual cenderung mendekati pengukuran tetapi tetap memiliki perbedaan tertentu karena perhitungan manual tidak memasukkan seluruh variabel yang ada di lapangan. Pengamatan berbasis IoT semakin memperkuat temuan ini karena memunculkan pola perubahan tegangan dan arus sepanjang waktu yang tidak dapat ditangkap oleh pengukuran sesaat ataupun simulasi statis.

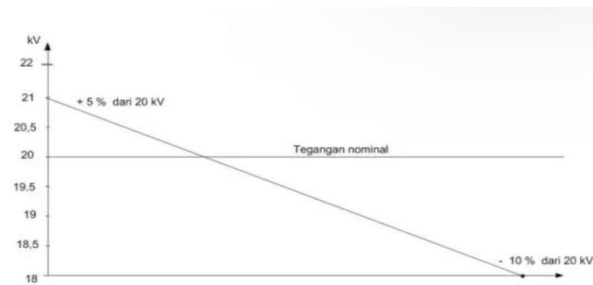
Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik kabel N2XY dan bagaimana pengaruhnya terhadap jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan teknis dalam merancang jaringan listrik yang lebih efisien dan andal, terutama pada instalasi dengan jarak distribusi yang cukup panjang. Integrasi IoT dalam pemantauan jaringan listrik juga membuka peluang untuk pengembangan sistem early warning terhadap potensi kegagalan kabel melalui analisis data berbasis real-time monitoring. Jika jatuh tegangan melebihi ambang batas, maka langkah perbaikan seperti memperbesar penampang kabel atau memperbaiki kualitas sambungan menjadi solusi yang perlu dipertimbangkan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan nilai akademis tetapi juga kontribusi praktis bagi dunia ketenagalistrikan, khususnya dalam upaya peningkatan kualitas distribusi daya listrik pada berbagai sektor, sekaligus mengakselerasi implementasi teknologi digital melalui IoT pada sistem tenaga listrik.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar[12]. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan. Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sistem tegangan menengah masalah induktansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti.

Tegangan jatuh secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat[13]. Tegangan jatuh V pada penghantar semakin besar jika arus I di dalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar R_l semakin besar pula. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Atas dasar hal tersebut maka tegangan jatuh yang diijinkan untuk instalasi arus kuat hingga 1.000 V yang ditetapkan dalam persen dari tegangan kerjanya.



Gambar 1. Grafik Drop Tegangan

Sesuai dengan standar tegangan yang ditentukan oleh PLN (SPLN), perancangan jaringan dibuat agar jatuh tegangan di ujung diterima 10%. Tegangan jatuh pada jaringan disebabkan adanya rugi tegangan akibat hambatan listrik (R) dan reaktansi (X). Jatuh tegangan phasor V_d pada suatu penghantar yang mempunyai impedansi (Z) dan membawa arus (I) dapat dijabarkan dengan rumus :

$$V_d = IxZ \quad (1)$$

Dalam pembahasan ini yang dimaksudkan dengan jatuh tegangan (ΔV) adalah selisih antara tegangan kirim (V_k) dengan tegangan terima (V_t), maka jatuh tegangan dapat didefinisikan adalah :

$$\Delta V = (V_k) - (V_t) \quad (2)$$

Karena adanya resistansi pada penghantar maka tegangan yang diterima konsumen (V_r) akan lebih kecil dari tegangan kirim (V_s), sehingga tegangan jatuh (V_{drop}) merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (*sending end*) dan tegangan pada ujung penerimaan (*receiving end*) tenaga listrik. Tegangan jatuh relatif dinamakan regulasi tegangan VR (*voltage regulation*) dan dinyatakan oleh rumus:

$$VR = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\% \quad (3)$$

Untuk menghitung jatuh tegangan, diperhitungkan reaktansinya, maupun faktor dayanya yang tidak sama dengan satu, maka berikut ini akan diuraikan cara perhitungannya. Dalam penyederhanaan perhitungan, diasumsikan beban-bebannya merupakan beban fasa tiga yang seimbang dan faktor dayanya ($\cos \phi$) antara 0,6 s/d 0,85. tegangan dapat dihitung berdasarkan rumus pendekatan hubungan sebagai berikut :

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot IL \cdot l (R \cos \phi + XL \sin \phi) \quad (4)$$

2.2 Kabel Penghantar

Komponen-komponen perencanaan instalasi listrik ialah bahan-bahan yang digunakan oleh suatu sistem sebagai rangkaian kendali maupun rangkaian catu daya[14]. Dimana rangkaian kendali dan rangkaian catu daya ini dirancang sedemikian rupa untuk menjalankan fungsi sistem sesuai dengan fungsi kerja nya.

2.3 Resistansi Penghantar

Makin panjang jaringan, harga resistansinya akan semakin besar, sehingga jatuh tegangan yang terjadi juga semakin besar. Maka besarnya resistansi pada jaringan listrik dapat dicari dengan rumus persamaan berikut:

$$R = \rho \frac{l}{a} \quad (5)$$

2.4 Jenis Penghantar

Penghantar ialah benda yang memiliki bentuk logam ataupun non logam yang bersifat konduktor yang dapat mengalirkan arus listrik dari satu titik ke titik yang lain nya[15] . Penghantar bisa berupa kabel atau juga bisa kawat penghantar. Kabel adalah penghantar yang dilapisi isolasi dan secara keseluruhan inti dilengkapi dengan selubung pelindung bersama, misalnya ialah kabel NYM, NYA dan sebagainya. Sedangkan kawat penghantar ialah penghantar yang tidak diberi isolasi contohnya ialah BC (*Bare Conductor*), penghantar berlubang (*Hollow Conductor*), ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*).

Secara garis besar penghantar dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

a. Penghantar Berisolasi

Penghantar berisolasi dapat berupa kawat gawai berisolasi atau kabel. Batasan kawat berisolasi ialah rakitan penghantar tunggal, baik dari serabut maupun pejal yang diisolasi, contoh kawat berisolasi:

1. NYA
2. NYY
3. NYFGbY
4. NYSEY

Penghantar berisolasi dapat berupa kawat gawai berisolasi atau kabel. Batasan kawat berisolasi ialah rakitan penghantar tunggal, baik dari serabut maupun pejal yang diisolasi.

b. Penghantar Tanpa Isolasi

Hantaran tak berisolasi merupakan penghantar yang tidak dilapisi oleh isolator, contoh penghantar tidak berisolasi BC (*Bare Conductor*). Jenis- jenis isolasi yang dipakai pada penghantar listrik meliputi isolasi dari PVC (*Poly Vinyl Chlorid*).

2.5. Monitoring IoT

Integrasi IoT dilakukan untuk mendapatkan data real-time yang tidak dapat diperoleh melalui pengukuran sesaat atau simulasi statis. Sistem IoT terdiri dari komponen utama:

Sensor yang digunakan

- Sensor Tegangan AC (ZMPT101B) – mengukur tegangan tiap fasa
- Sensor Arus (SCT-013-100 atau INA219) – mengukur arus beban
- Sensor Suhu Kabel (DS18B20/PT100) – mengukur suhu isolasi kabel
- Node MCU / ESP32 – mengirimkan data ke cloud

Arsitektur Sistem

- Sensor → NodeMCU/ESP32
- NodeMCU → WiFi/GSM
- Data dikirim ke server (ThingSpeak, MQTT broker, Firebase, atau platform IoT lokal)
- Dashboard menampilkan grafik real-time tegangan, arus, dan suhu

Monitoring dilakukan selama beberapa hari untuk mendapatkan data dinamis, meliputi: Tegangan tiap fasa (V), Arus beban tiap fasa (A), Suhu kabel (°C), Waktu pengambilan (timestamp). Data IoT memberikan pola perubahan terhadap: Beban puncak harian, Beban minimum, Kondisi tidak normal (lonjakan tegangan atau arus), Pengaruh suhu terhadap resistansi kabel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lingkup dari bahan penelitian ini berupa pengumpulan bahan pustaka sebagai referensi, buku-buku yang berkaitan dengan objek penelitian, informasi data lapangan dari sumber yang akan diteliti. Single line diagram kelistrikan proyek pembangunan. Data yang dikumpulkan dianalisa agar mendapatkan persentasi dari tegangan jatuh pada jaringan listrik tegangan rendah 3 phase.

Untuk mencapai tujuan penelitian dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Mengumpulkan bahan-bahan pustaka, tulisan-tulisan untuk referensi, dan buku-buku yang berkaitan dengan objek penelitian.
- b. Mengumpulkan informasi melalui tanya jawab dari narasumber pada tempat penelitian.
- c. Pengambilan data system kelistrikan yang berupa :
 1. Single line diagram
 2. Data kabel
 3. Total beban
 4. Melakukan analisis tegangan jatuh pada jaringan listrik tegangan rendah

Tabel 1. Data Pengukuran

DATA PENGUKURAN	NO	LOKASI PENGUKURAN	HASIL PENGUKURAN (VOLT)
Sebelum dibebani	1	CB Transformator 100 KVA	400,8 V
	2	TD 1300 Meter	399,8 V
	3	CB Transformator 100 KVA	400,5 V

Berdasarkan data yang didapatkan diketahui : Daya output transformator : 20.7 Kw

Daya pada name plate transformator : 100 Kva => 100 Kva x 0.85 = 85 Kw Maka efisiensi transformator :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{20,7 \text{ KW}}{85 \text{ KW}} \times 100\%$$

$$\eta = 24,35\%$$

3.1 Menghitung Drop Tegangan Menggunakan Rumus

Berdasarkan data yang diperoleh seperti ukuran kabel, jenis kabel, Panjang kabel dan data listrik kabel, kita akan menghitung berapa besar tegangan jatuh menggunakan rumus :

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I_L \cdot l \cdot (R \cos \phi + X L \sin \phi)$$

$$\Delta V = \sqrt{3} \times 35,1514 \times 1,3 (0,4446 \times 0,85 + 0,093478 \times 0,526)$$

$$\Delta V = 79,1468(0,42826)$$

$$\underline{\Delta V = 33,8954 \text{ Volt}}$$

Maka untuk tegangan terima pada ujung kabel dengan panjang 1,3 km, dihitung dengan menggunakan persamaan (3) dan di peroleh hasil sebagai berikut:

$$V_r = V_s - \Delta V$$

$$V_r = 400 - 33,8954$$

$$V_r = 366,1046 \text{ Volt}$$

Persentase jatuh tegangan untuk panjang kabel 1,3 km, dihitung dan diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\%$$

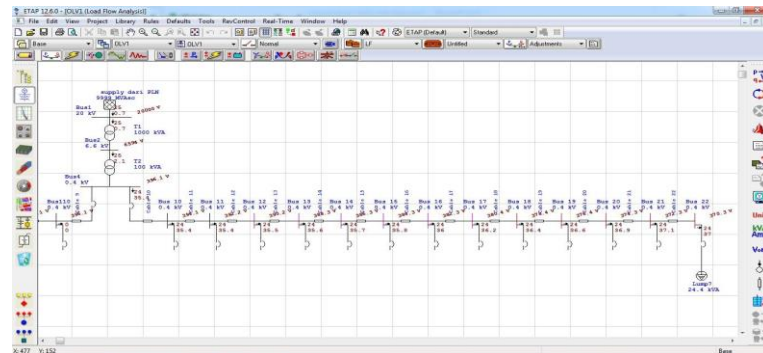
$$\Delta V\% = \frac{33,8954}{400} \times 100\%$$

$$\Delta V\% = 8,473\%$$

Tabel 2. Perhitungan Drop Tegangan

No	Ukuran Kabel	Panjang Saluran (km)	Perhitungan Menggunakan Rumus		
			ΔV	$\Delta V\%$	V_r
1	4 x 70 mm ²	1,3	33,89	8,473	366,1
2	4 x 70 mm ²	1,2	28,80	7,2	371,1
3	4 x 70 mm ²	1,1	24,20	6	375,7
4	4 x 70 mm ²	1,0	19,98	4,99	380
5	4 x 70 mm ²	0,9	16,20	4	383,8
6	4 x 70 mm ²	0,8	12,80	3,2	387,2
7	4 x 70 mm ²	0,7	9,80	2,45	390,2
8	4 x 70 mm ²	0,6	7,20	1,8	392,8
9	4 x 70 mm ²	0,5	5	1,25	395
10	4 x 70 mm ²	0,4	3,20	0,8	396,8
11	4 x 70 mm ²	0,3	1,8	0,45	398,2
12	4 x 70 mm ²	0,2	0,8	0,2	399,2
13	4 x 70 mm ²	0,1	0,20	0,05	399,8

3.2 Simulasi Drop Tegangan Menggunakan Software ETAP.



Gambar 2. Simulasi Drop Tegangan Menggunakan Kabel N2XY 4 x 70 mm²

Dari hasil simulasi drop tegangan menggunakan software ETAP dengan panjang kabel 1,3 km maka didapat presentase drop tegangan pada ujung terima sebesar 6,5%.

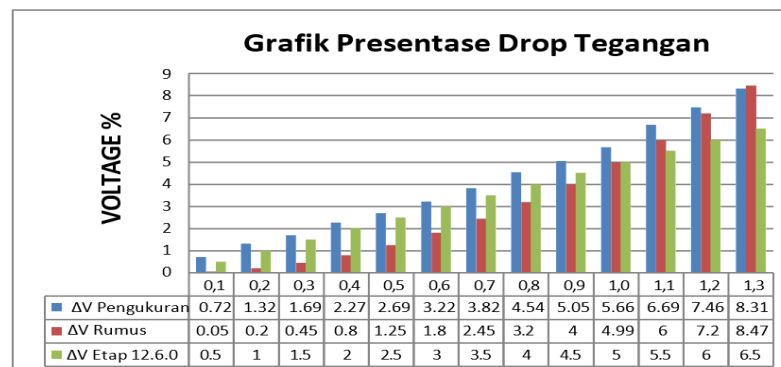
Tabel 3. Hasil Report Simulasi Power Loss Menggunakan Kabel N2XY 4 x 70 mm²

CKT / Branch		% Bus Voltage		Vd% Drop
ID		From	To	
T1		100	99.9	0.09
T2		99.9	99.0	0.89
Cable 10		99.0	98.5	0.49
Cable 11		98.5	98.0	0.49
Cable 12		98.0	97.6	0.49
Cable 13		97.6	97.1	0.49
Cable 14		97.1	96.6	0.49
Cable 15		96.6	96.1	0.49
Cable 16		96.1	95.6	0.49
Cable 17		95.6	95.1	0.50
Cable 18		95.1	94.6	0.50
Cable 19		94.6	94.1	0.50
Cable 20		94.1	93.6	0.50
Cable 21		93.6	93.1	0.51
Cable 22		93.1	92.6	0.51

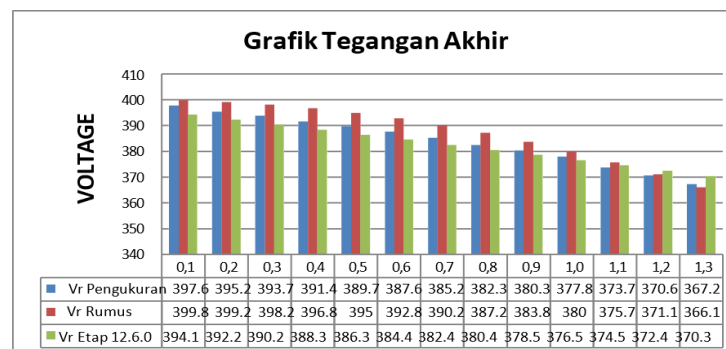
Table 4. Hasil Perbandingan Drop Tenggangan Dengan Metode Pengukuran, Perhitungan, dan Simulasi

No	Ukuran Kabel	Panjang Saluran (km)	Perhitungan Menggunakan Rumus			Simulasi Menggunakan ETAP 12.6.0		
			ΔV	$\Delta V\%$	V_r	ΔV	$\Delta V\%$	V_r
1	4 x 70 mm ²	1,3	33,89	8,473	366,1	25,8	6,5	370,3
2	4 x 70 mm ²	1,2	28,80	7,2	371,1	23,7	6	372,4
3	4 x 70 mm ²	1,1	24,20	6	375,7	21,6	5,5	374,5
4	4 x 70 mm ²	1,0	19,98	4,99	380	19,6	5	376,5
5	4 x 70 mm ²	0,9	16,20	4	383,8	17,6	4,5	378,5
6	4 x 70 mm ²	0,8	12,80	3,2	387,2	15,7	4	380,4
7	4 x 70 mm ²	0,7	9,80	2,45	390,2	13,7	3,5	382,4
8	4 x 70 mm ²	0,6	7,20	1,8	392,8	11,7	3	384,4
9	4 x 70 mm ²	0,5	5	1,25	395	9,8	2,5	386,3
10	4 x 70 mm ²	0,4	3,20	0,8	396,8	7,8	2	388,3
11	4 x 70 mm ²	0,3	1,8	0,45	398,2	5,9	1,5	390,2
12	4 x 70 mm ²	0,2	0,8	0,2	399,2	3,9	1	392,2

13	4 x 70 mm ²	0,1	0,20	0,05	399,8	2	0,5	394,1
----	------------------------	-----	------	------	-------	---	-----	-------



Gambar 3. Grafik Perbandingan Tegangan Akhir Dengan Metode Pengukuran, Perhitungan, dan Simulasi Menggunakan Kabel N2XY 4 x 70 mm²



Gambar 4. Grafik Perbandingan Presentase Drop Tegangan Dengan Metode Pengukuran, Perhitungan, dan Simulasi Menggunakan Kabel N2XY 4 x 70 mm²

Data menunjukkan bahwa semakin panjang saluran (dari 0,1 km hingga 1,3 km), nilai jatuh tegangan (ΔV) dan persentase jatuh tegangan ($\Delta V\%$) cenderung meningkat baik pada hasil pengukuran, perhitungan manual, maupun simulasi ETAP. Hal ini sejalan dengan teori bahwa resistansi penghantar meningkat seiring panjang kabel.

Hasil pengukuran langsung menunjukkan jatuh tegangan lebih tinggi dibandingkan hasil simulasi ETAP. Misalnya, pada panjang 1,3 km, pengukuran mencatat ΔV 33,3 V (8,31%), sedangkan simulasi ETAP hanya mencatat ΔV 25,8 V (6,5%). Ini menunjukkan bahwa simulasi cenderung memberikan hasil lebih ideal dibandingkan kondisi lapangan yang memiliki faktor eksternal.

Data di ketiga metode menunjukkan pola konsisten, di mana penurunan panjang kabel akan mengurangi nilai ΔV dan $\Delta V\%$. Hal ini mendukung asumsi bahwa memperpendek saluran atau memperbesar ukuran kabel dapat memperbaiki kestabilan tegangan.

Tegangan terima (V_r) pada pengukuran lapangan umumnya lebih rendah dibanding hasil perhitungan dan simulasi ETAP. Faktor-faktor eksternal seperti sambungan kabel yang kurang baik, rugi daya, dan kondisi lingkungan dapat mempengaruhi hasil pengukuran.

Untuk mempertahankan kualitas tegangan pada sistem distribusi listrik, terutama untuk jarak panjang seperti 1,3 km, perlu dipertimbangkan penggunaan kabel dengan luas penampang yang lebih besar dari 4 x 70 mm². Hal ini akan mengurangi ΔV dan menjaga kestabilan daya listrik pada beban ujung.

4. KESIMPULAN

Jaringan tegangan rendah sepanjang 1300 meter yang menggunakan kabel N2XY 4 x 70 mm² dengan total beban 20,7 kW menunjukkan bahwa nilai jatuh tegangan dari hasil pengukuran, perhitungan manual, dan simulasi ETAP memiliki pola yang konsisten, yaitu semakin panjang kabel maka jatuh tegangan semakin besar. Dari pengukuran diperoleh jatuh tegangan sebesar 33,3 V (8,31%), perhitungan manual menghasilkan 33,89 V (8,47%), sedangkan simulasi

ETAP menunjukkan nilai lebih rendah yaitu 25,8 V (6,5%). Perbedaan ini menegaskan bahwa kondisi lapangan memiliki faktor tambahan seperti kualitas sambungan dan rugi-rugi aktual yang tidak sepenuhnya tercakup dalam simulasi. Berdasarkan hasil tersebut, penggunaan kabel berpenampang lebih besar, seperti 4 x 185 mm², direkomendasikan untuk mengurangi jatuh tegangan dan meningkatkan kestabilan distribusi daya pada jaringan tegangan rendah.

REFERENCES

- [1] D. F. Iman, P. Khaerunnisa, H. M. Fitri, and D. Aribowo, "Analisis Operasional Sistem Distribusi Tegangan Menengah ke Tegangan Rendah di Gardu Induk Serang," *J. Electr. Power Control Autom.*, vol. 7, no. 2, p. 66, 2024, doi: 10.33087/jepca.v7i2.119.
- [2] M. Hasanuddin, C. A. Rizki, S. Khodijah, and A. A. Prayoga, "Pemberdayaan UMKM Melalui Pelatihan Digital Marketing dan Desain Konten Media Sosial," *J. Pengabd. Masy. Berdampak*, vol. 1, no. 3, pp. 107–114, 2025.
- [3] D. Apriadi and R. Saragih, "Pengaruh Penerapan IT Governance Terhadap Efektivitas Pengelolaan Sistem Informasi Manajemen," *J. Ilmu Komput. dan Tek. Inform.*, vol. 1, no. 2, pp. 45–51, 2025.
- [4] R. L. Rahardian, S. Khodijah, and C. A. Rizki, "Journal of Computer Science Artificial Intelligence Evaluation of the Usability of the Academic Information System Using the System Usability Scale (SUS) Method," vol. 2, no. 2, pp. 62–67, 2025.
- [5] M. Syekhurohim, A. Triyanto, and M. Firdaus, "Analisis Pengaruh Jatuh Tegangan JTR pada Gardu KDR86P Cengkareng," *J. Tek. Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 9, no. 2, pp. 598–606, 2025, doi: 10.36277/jteuniba.v9i2.1153.
- [6] Anggi, J. Ilham, and A. Y. Dako, "Evaluasi Sistem Instalasi Tenaga Listrik berdasarkan Standar PUIL 2011 (Studi Kasus Pada PT. Multi Nabati Sulawesi Luwuk)," *Res. Rev. J. Ilm. Multidisiplin*, vol. 4, no. 1, pp. 277–288, 2025, doi: 10.54923/researchreview.v4i1.141.
- [7] Y. S. Aritonang, P. Siagian, and S. Aryza, "Inovasi Dan Tantangan Dalam Pengembangan Sistem Transmisi Tenaga Listrik Berbasis Teknologi Tinggi Ultra High Voltage Untuk Meningkatkan Keandalan Dan Efisiensi Energi (Sebuah Tinjauan Literatur)," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3S1, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3s1.5220.
- [8] M. R. D. Rifai, Jumiaty Ilham, and E. H. Harun, "Pengujian Breakdown Voltage Bahan Isolasi Pvc Kabel Instalasi Listrik," *J. Renew. Energy Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 29–33, 2023, doi: 10.56190/jree.v1i2.15.
- [9] P. Siagian and E. Dalimunte, "ANALISIS INSTALASI SISTEM KELISTRIKAN PADA PERENCANAAN PEMBANGUNAN GEDUNG INDUSTRI PT. GROWTH ASIA," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 13, no. 3S1, 2025.
- [10] H. M. T. Simatupang *et al.*, "Pengaruh panjang jaringan tegangan rendah terhadap susut teknis di pt pln daerah cawang," *J. Teknol. Ind.*, vol. 13, no. 1, 2024.
- [11] D. K. R. Pamungkas and S. diah ayu Febriani, "PERHITUNGAN VOLTAGE DROP UNTUK PENENTUAN PENGGUNAAN KABEL DC PADA PLTS ROOFTOP 1,7 MWp DI PT PANVERTA CAKRAKENCANA," *Jinggo J. Inov. Teknol. Manufaktur, Energi, dan Otomotif*, vol. 2, no. 2, pp. 104–114, 2024.
- [12] R. B. Pratama, P. Wibowo, and S. Anisah, "Analisis Pengaruh Penggantian Konduktor pada Saluran Udara Tegangan Menengah 20kV terhadap Drop Tegangan di PT. PLN (Persero) UP3 Bangkinang," *J. Penelit. Inov.*, vol. 5, no. 2, pp. 803–812, 2025, doi: 10.54082/jupin.1361.
- [13] N. Soedjarwanto, A. Z. Kurniawan, and S. A. Aulia, "Analisis Pengaruh Arus Beban Dan Kekendoran Konektor Terhadap Tegangan Jatuh (Voltage Drop)," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4070.
- [14] I. W. D. Pancane, R. M. Silitonga, and I. M. Asna, "Perencanaan Instalasi Listrik di Hotel dan Villa Maua Nusa Penida," *J. Ilm. Telsinas Elektro, Sipil dan Tek. Inf.*, vol. 5, no. 1, pp. 34–53, 2022, doi: 10.38043/telsinas.v5i1.3664.
- [15] R. Rizaldi and L. Edahwati, "Analisa Termoelektrik Generator Dan Motor DC + Kipas Dengan Perbedaan Alas Konduktor Dari Sumber Energi Panas," *J. Flywheel*, vol. 13, no. 2, pp. 14–22, 2022, doi: 10.36040/flywheel.v13i2.5853.