# ANALISIS PENGGUNAAN BANK KAPASITOR UNTUK PERBAIKAN TEGANGAN DI PENYULANG PANGSUMA DAN TOMEN PT. PLN UP3 MEMPAWAH

**Erwin Febriyanto[1], Muhammad Iqbal Arsyad[2], Rudy Gianto[3]**
[1,2,3]Universitas Tanjungpura
[1]erwinfebri06@student.untan.ac.id, [2]iqbal.arsyad@ee.untan.ac.id, [3]rudy.gianto@ee.untan.ac.id

***Abstract***

*Transmission and distribution lines with excessive lengths have the potential to cause voltage drop due to the line impedance, which consists of resistance and reactance. Voltage drop is defined as the difference in voltage between the sending end and the receiving end of a power system. According to SPLN T6.001:2013, the allowable difference between the highest and the lowest voltage must not exceed ±10% of the nominal voltage. This study aims to evaluate the voltage profile and analyze the potential for voltage drop on the Pangsuma and Tomen feeders at PT PLN (Persero) UP3 Mempawah, as well as to improve the voltage profile by installing capacitor banks at the buses with the lowest voltage whenever the voltage drop exceeds the allowable limit. The study employs power flow simulation using MATLAB software. Under existing operating conditions, the Tomen feeder is divided into two independent feeder systems, namely Tomen 1 and Tomen 2. The simulation results indicate that both the Pangsuma feeder and Tomen 1 feeder experience voltage drops exceeding the allowable standard. The lowest voltage on the Pangsuma feeder is 15.87 kV (20.86% voltage drop) at Bus 162, while the lowest voltage on the Tomen 1 feeder is 17.45 kV (12.76% voltage drop) at Bus 130. In contrast, the Tomen 2 feeder exhibits a stable voltage profile, with the lowest voltage of 18.17 kV (9.15% voltage drop) occurring at Bus 93. Voltage improvement on the Pangsuma feeder was carried out using three capacitor bank installation scenarios. In Scenario 1, the installation of a 1000 kVAR capacitor bank at Bus 162 increased the minimum voltage to 17.33 kV (13.35% voltage drop) at Bus 114. In Scenario 2, the installation of two capacitor banks rated at 1000 kVAR and 500 kVAR at Buses 162 and 114 increased the minimum voltage to 17.86 kV (10.70% voltage drop) at Bus 94. In Scenario 3, three capacitor banks with capacities of 1000 kVAR, 500 kVAR, and 250 kVAR were installed at Buses 162, 114, and 94, respectively, resulting in the minimum voltage increasing to 18.09 kV (9.57% voltage drop). This scenario produced the most optimal voltage improvement among all scenarios. For the Tomen 1 feeder, only one improvement scenario was implemented. The installation of a 750 kVAR capacitor bank at Bus 130 successfully increased the minimum voltage to 18.31 kV, reducing the voltage drop to 8.44%. Meanwhile, for the Tomen 2 feeder, a 500 kVAR capacitor bank was installed at Bus 93 to further improve system performance. As a result, the minimum voltage increased to 18.78 kV, while the voltage drop decreased to 7.50%.*

**Keywords:** Voltage, voltage drop, power flow simulation, capacitor banks, MATLAB.

**Article History**
Received: July 2026
Reviewed: July 2026
Published: July 2026

Plagiarism Checker No 237.u873247.fh8374

**Copyright : Author**
**Publish by : Kohesi**

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

**Abstrak**

Saluran transmisi dan distribusi yang terlalu panjang akan berpotensi menimbulkan fenomena jatuh tegangan yang terjadi akibat impedansi saluran berupa resistansi dan reaktansi. Jatuh tegangan adalah terjadi perbedaan tegangan antara sisi kirim dan sisi terima. Pada SPLN T6.001:2013 menetapkan tegangan tertinggi dan tegangan terendah perbedaannya tidak boleh lebih besar dari ±10%. Penelitian dilakukan untuk mengetahui kondisi tegangan dan menganalisa potensi jatuh tegangan pada Penyulang Pangsuma dan Tomen UP3 Mempawah, serta melakukan upaya perbaikan dengan pemasangan bank kapasitor pada bus dengan tegangan terendah apabila kondisi jatuh tegangan penyulang melewati batas toleransi. Metode yang digunakan adalah simulasi aliran daya menggunakan program komputer MATLAB. Pada kondisi eksisting Penyulang Tomen terbagi menjadi dua sistem penyulang yaitu Tomen 1 dan Tomen 2. Hasil simulasi kondisi eksisting masing-masing penyulang menunjukkan Penyulang Pangsuma dan Penyulang Tomen 1 mengalami kondisi jatuh tegangan yang melebihi batas standar toleransi. Pada Penyulang Pangsuma tegangan terendah sebesar 15,87kV (jatuh tegangan 20,86%) terjadi pada bus 162 dan pada Penyulang Tomen 1 tegangan terendah sebesar 17,45 kV (jatuh tegangan 12,76%) terjadi pada bus 130. Sedangkan untuk Penyulang Tomen 2 kondisi tegangan sudah sangat stabil dengan tegangan terendah sebesar 18,17 kV (jatuh tegangan 9,15%) pada bus 93. Upaya perbaikan tegangan pada Penyulang Pangsuma dilakukan dengan 3 skenario pemasangan bank kapasitor. Pada Skenario 1 perbaikan Penyulang Pangsuma dengan pemasangan satu bank kapasitor kapasitas 1000 kVAR pada bus 162 menunjukkan hasil tegangan terendah menjadi 17,33 kV (jatuh tegangan 13,35%) pada bus 114. Pada Skenario 2 pemasangan 2 bank kapasitor pada bus 162 dan bus 114 dengan kapasitas 1000 kVAR dan 500 kVAR, hasil menunjukkan tegangan terendah menjadi 17,86 kV (jatuh tegangan 10,70%) pada bus 94. Kemudian skenario 3 pemasangan 3 bank kapasitor pada bus 162, bus 114 dan bus 94 dengan kapasitas 1000 kVAR, 500 kVAR dan 250 kVAR hasil menunjukkan tegangan terendah menjadi 18,09 kV (jatuh tegangan 9,57%), ini merupakan hasil paling optimal dari semua skenario perbaikan. Sedangkan untuk perbaikan tegangan Penyulang Tomen 1 hanya dilakukan dengan 1 skenario pemasangan bank kapasitor. pemasangan satu bank kapasitor berkapasitas 750 kVAR pada bus 130 berhasil meningkatkan tegangan terendah menjadi 18,31 kV (jatuh tegangan 8,44%). Untuk Penyulang Tomen 2 dilakukan skenario pemasngan satu bank kapasitor berkapasitas 500 kVAR pada bus 93 dengan tujuan meningkatkan performansi. Hasil yang didapat tegangan terendah meningkat menjadi 18,78 kV dan jatuh tegangan menjadi 7,50%.

**Kata kunci:** Tegangan, Jatuh Tegangan, Simulasi Aliran Daya, Bank Kapasitor, MATLAB.

## 1. PENDAHULUAN

PT. PLN Persero yang bertanggung jawab dalam pengadaan dan penyaluran energi listrik di Indonesia mencatat kenaikan rasio elektrifikasi mencapai 99.81% pada tahun 2024 yang artinya hampir seluruh rumah tangga di Indonesia sudah dapat mengakses listrik [1]. Walaupun hal ini dapat dilihat sebagai sebuah kemajuan akan tetapi untuk dapat menyalurkan energi listrik ke titik-titik beban yang jauh dari pembangkit tenaga listrik diperlukan saluran transmisi dan distribusi yang cukup panjang. Panjang saluran dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik dapat menjadi faktor utama yang menimbulkan permasalahan teknis berupa penurunan tegangan dan rugi-rugi daya listrik [2].

Pada saluran listrik bolak-balik besarnya jatuh tegangan tergantung dari nilai impedansi dan admitansi saluran yang berupa resistansi dan reaktansi. Kedua nilai tersebut sangat dipengaruhi oleh panjang saluran, yang berarti semakin panjang saluran nya potensi untuk terjadinya jatuh tegangan juga semakin tinggi [2]. Dalam standar SPLN T6.001:2013, PT. PLN (persero) menetapkan tegangan tertinggi dan tegangan terendah perbedaannya tidak boleh lebih besar ±10% dari tegangan nominal sistem [3]. Jika melewati batas toleransi tersebut jatuh tegangan dapat mengganggu kinerja dan keamanan peralatan listrik.

Pada lingkup area PT. PLN UP3 Mempawah terdapat dua penyulang dari total 13 penyulang sistem distribusi tenaga listrik tegangan menengah yaitu Penyulang Pangsuma dan Penyulang Tomen yang diatur oleh unit layanan ULP Mempawah. Berdasarkan data tahun 2025 yang telah di dapat, Penyulang Pangsuma memiliki total panjang saluran 158,154 km dengan jumlah gardu distribusi sebanyak 99 unit, sedangkan Penyulang Tomen memiliki total panjang saluran 373,110 km dengan jumlah gardu distribusi sebanyak 174 unit. Dalam operasional nya Penyulang Tomen tercatat secara administratif sebagai satu penyulang. Tetapi jika berdasarkan konfigurasi jaringan dalam kondisi eksisting, Penyulang Tomen meliputi dua sistem yang terpisah yaitu Penyulang Tomen 1 dan Tomen 2. Kedua sistem penyulang tersebut disuplai oleh gardu induk yang berbeda dan tidak memiliki hubungan interkoneksi, sehingga masing-masing beroperasi secara independen.

Berdasarkan data tersebut potensi terjadinya jatuh tegangan pada Penyulang Pangsuma dan Tomen cukup tinggi karena penyulang tersebut memiliki saluran yang cukup panjang dengan beban yang cukup banyak. Jika ternyata kondisi jatuh tegangan melewati standar tersebut maka perlu ada solusi perbaikan tegangan agar tidak terjadi gangguan kinerja dan meminimalisir rugi-rugi daya dalam penyaluran energi listrik pada Penyulang Pangsuma dan Tomen. Salah satu metode perbaikan jatuh tegangan yaitu dengan pemasangan bank kapasitor. Penggunaan bank kapasitor merupakan langkah untuk menyediakan pasokan daya reaktif tambahan secara lokal, yang pada gilirannya akan mengurangi penyerapan daya reaktif dari sumber sistem (Gardu Induk) yang disebabkan oleh beban induktif [2]. Selain memperbaiki tegangan, penggunaan bank kapasitor juga dapat meningkatkan faktor daya dan mengurangi besar arus yang mengalir pada saluran sehingga rugi-rugi daya listrik juga dapat berkurang [2].

## 2. METODE PENELITIAN

Sumber data dalam penelitian ini menggunakan sumber data sekunder dari PT PLN (Persero) UP3 Mempawah. Data tersebut dijadikan dasar utama untuk melakukan simulasi aliran daya. Konfigurasi dari Penyulang Pangsuma dan Penyulang Tomen dibangun dalam konfigurasi radial. Akan tetapi Dalam operasional nya Penyulang Tomen tercatat secara administratif sebagai satu penyulang. Tetapi jika berdasarkan konfigurasi jaringan dalam kondisi eksisting, Penyulang Tomen meliputi dua sistem yang terpisah yaitu Penyulang Tomen 1 dan Tomen 2. Kedua sistem penyulang tersebut disuplai oleh gardu induk yang berbeda dan tidak memiliki hubungan interkoneksi, sehingga masing-masing beroperasi secara independen. Beberapa studi terdahulu yang relevan untuk dijadikan acuan dalam penelitian ini banyak membuktikan penggunaan bank kapasitor merupakan solusi yang ekonomis dalam memperbaiki kondisi

tegangan dengan implementasi yang tidak terlalu rumit [4]. Berikut adalah rincian data yang digunakan:

**2.1 Jaringan Distribusi**

Pemodelan jaringan distribusi penyulang menggunakan data yang dipetakan sesuai konfigurasi aktual dari *Single Line Diagram* Penyulang Pangsuma dan Penyulang Tomen. Dari data tersebut akan dilakukan pemodelan sistem jaringan yang berisi saluran dan bus. Bus pertama merupakan gardu induk sampai pada bus terakhir yang merupakan gardu distribusi pada ujung sistem. Dengan pemodelan tersebut akan mempermudah dalam menentukan saluran antar bus, penentuan bus beban dan bus cabang agar nantinya hasil simulasi dapat merepresentasikan kondisi nyata. Dengan demikian hasil simulasi dapat menunjukkan titik-titik area dengan tegangan terendah yang nantinya dijadikan lokasi pemasangan bank kapasitor.

Data jaringan distribusi dengan tegangan nominal sebesar 20 kV mencakup data beban gardu distribusi berupa daya aktif (MW) dan daya reaktif (MVAR) [5]. Kemudian panjang saluran dan jenis kawat penghantar yang nantinya akan digunakan untuk menghitung nilai impedansi saluran berupa nilai resistansi dan reaktansi dalam satuan Ohm/km. Acuan standar jatuh tegangan yang digunakan adalah SPLN T6.001:2013 dengan batas maksimum jatuh tegangan adalah 10% [3].

**2.2 Bank Kapasitor**

Bank kapasitor adalah sebuah peralatan yang dipergunakan dalam sistem kelistrikan dengan tujuan untuk memperbaiki kualitas pasokan energi listrik seperti mutu tegangan di sisi beban, memperbaiki faktor daya (cos φ) dan meminimalisir rugi-rugi saluran [6]. Pada sistem distribusi tenaga listrik kapasitor yang sering digunakan adalah jenis kapasitor *shunt* atau kapasitor yang dipasang paralel dengan jaringan. Kapasitor *shunt* menginjeksi daya reaktif atau arus yang dibutuhkan untuk menstabilkan komponen arus yang tidak sefase akibat beban induktif, dengan kata lain kapasitor *shunt* mengubah karakteristik beban induktif dengan menarik arus yang mendahului *(leading current)* sebagai penyeimbang sebagian atau seluruh komponen arus beban induktif yang tertinggal *(lagging current)* pada lokasi pemasangan.

**2.3 Analisa Aliran Daya**

Kajian yang dilakukan terhadap daya pada setiap bus untuk mengetahui apakah bus tersebut memberikan daya atau menerima daya biasa disebut analisa aliran daya. Contohnya seperti faktor akibat interkoneksi, pertumbuhan beban, pembangkit baru atau gardu induk baru, dan kawat penghantar baru sebelum semuanya terpasang. Mengetahui besar vektor tegangan pada tiap bus dan besar aliran daya pada tiap cabang suatu jaringan untuk kondisi beban tertentu dalam kondisi normal merupakan tujuan dari dilakukannya analisa aliran daya [7]. Perhitungan dari aliran-aliran daya saluran dengan tegangan-tegangan pada bus dari sebuah sistem tenaga listrik pada kondisi pembangkitan dan beban tertentu adalah pendefinisiain dari masalah aliran daya sistem tenaga lsitrik. Kemudian perumusan untuk permasalahan tersebut dapat diperoleh dari persamaan simpul sebagai berikut [8]:

$$I = YV \quad \text{(Pers 1)}$$

Dimana:

$$I = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix}; V = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix}; Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{12} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{13} & Y_{23} & Y_{33} \end{bmatrix} \quad \text{(Pers 2)}$$

Persamaan tersebut dalam sistem N-bus dapat dituliskan sebagai berikut:

$$I_i = \sum_{j=1}^{N} Y_{ij} V_j \quad \text{(Pers 3)}$$

Berdasarkan hukum *kirchoff* untuk arus didapatkan:

$$I_{Gi} - I_{Li} = I_i \quad \text{(Pers 4)}$$

Dengan mengambil konjuget dari (Pers 4), didapatkan:

$I_{Gi}^{*} - I_{Li}^{*} = I_{i}^{*}$ (Pers 5)

Kemudian dikalikan dengan $V_i$, maka didapatkan:

$V_i I_{Gi}^{*} - V_i I_{Li}^{*} = Vi_i I_i^{*}$ (Pers 6)

Atau

$S_{Gi} - S_{Li} = Vi_i I_i^{*}$ (Pers 7)

Dimana:

$S_{Gi} = S_{Gi} + jQ_{Gi}$ : daya pembangkitan pada bus i

$S_{Li} = S_{Li} + jQ_{Li}$ : daya beban pada bus i

Perumusan untuk formulasi masalah aliran daya suatu sistem tenaga listrik didaptakan dari mensubtitusikan persamaan (Pers 3) pada persamaan (Pers 7). Kemudian dengan mengatur hasilnya maka didapatkan:

$$S_{Gi} - S_{Li} - |V_i| \sum_{j=1}^{N} |Y_{ij}| |V_j| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) = 0 \quad \text{(Pers 8)}$$

$$Q_{Gi} - Q_{Li} - |V_i| \sum_{j=1}^{N} |Y_{ij}| |V_j| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) = 0 \quad \text{(Pers 9)}$$

Persamaan (Pers 8) dan (Pers 9) menyatakan 2N variabel persamaan aliran daya untuk N-bus sistem tenaga. Dalam studi aliran daya yang dilakukan pada konsisi beban tertentu ($P_{Li}$ dan $Q_{Li}$ diketahui), masing-masing bus dikarakterisasi dengan empat variabel yaitu: $P_{Gi}$, $Q_{Gi}$, $|V_i|$, dan $\delta_i$ sehingga menghasilkan 4N variabel. Persamaan (Pers 8) dan (Pers 9) hanya bisa diselesaikan jika 2N variabel dari 4N variabel tersebut diketahui atau dispesifikasi.

## 2.4 Analisa Aliran Daya Dalam Sistem Distribusi

Untuk analisa aliran daya sistem distribusi, besaran-besaran listrik pada bus yang akan dihitung adalah sebagai berikut [7]:

1. $P_{Gi}$ dan $Q_{Gi}$ pada bus gardu induk atau bus *substation* (*SS bus*).
2. $|V_i|$ dan $\delta_i$ pada bus beban (*load buses*).

Besaran-besaran tersebut dapat didapat dari menyelesaikan persamaan *nonlinier* seperti pada persamaan (Pers 8) dan (Pers 9). Untuk sistem distribusi yang tidak mengandung bank kapasitor, hanya ada dua jenis peralatan yang terhubung pada bus sistem yaitu gardu induk atau sumber dan trafo distribusi atau beban. Gardu induk disini memiliki peranan sebagai bus penyuplai daya yang biasanya dilengkapi dengan peralatan pengatur tegangan sehingga bisa dianggap sebagai bus referensi yang nilai sudut fasa tegangannya adalah nol. Sedangkan bus-bus beban merupakan bus yang tidak memiliki pembangkitan daya sehingga nilai $P_{Gi}$ dan $Q_{Gi}$ adalah nol [8].

## 2.5 Matrix Laboratory (MATLAB)

Simulasi Aliran daya berdasarkan pemodelan sistem aktual dilakukan dengan menggunakan program komputer MATLAB. Perangkat lunak ini dipilih karena dapat melakukan analisis dan komputasi numerik menggunakan bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk atas dasar penggunaan sifat dan bentuk matkris Matlab dikembangkan sebagai perangkat lunak dengan bahasa pemrograman yang menawarkan banyak kemampuan untuk menyelesaikan berbagai kasus yang berhubungan langsung dengan matematika seperti matriks, vektor dan aljabar linier [9]. Dalam penelirian ini kode pemograman dibuat untuk melakukan perhitungan aliran daya sesuai data kondisi penyulang yang di input, sehingga hasil yang didapat akan lebih akurat.

## 2.6 Simulasi *Steady-State*

Metode simulasi *Steady-State*, adalah teknik analisa suatu sistem yang berada dalam kondisi tunak. Kondisi tunak terjadi pada saat semua parameter sistem sudah stabil dan tidak berubah terhadap waktu. Dalam penelitian ini digunakan simulasi aliran daya dengan proses pengambilan data *steady-state*. Simulasi *steady-state* digunakan karena fokus

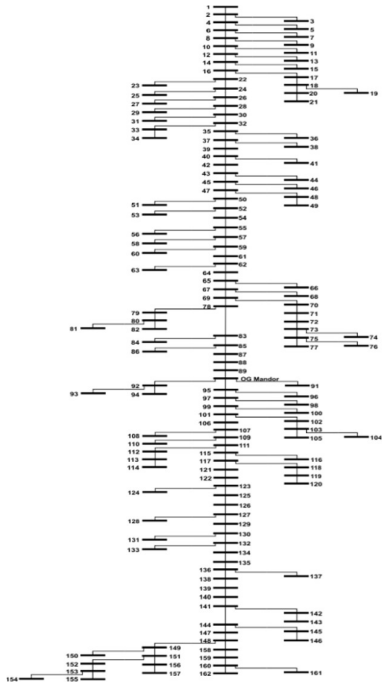
penelitian bukan menganalisis gangguan atau fenomena dinamis, seperti hubung singkat, *switching*, atau kestabilan sistem. Penelitian ini hanya mengevaluasi pengaruh pemasangan bank kapasitor terhadap tegangan dan rugi-rugi daya pada kondisi operasi normal. Oleh karena itu, simulasi *steady-state* menggunakan analisis aliran daya sudah sesuai dengan tujuan penelitian.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

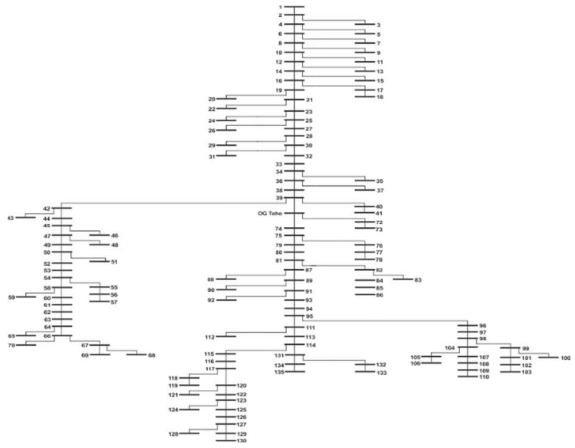
Pada bagian ini akan disajikan hasil dari pengolahan data penyulang dan hasil simulasi aliran daya Penyulang Pangsuma dan Penyulang Tomen (Tomen 1 dan Tomen 2). Analisa awal dilakukan dengan menganalisa hasil simulasi dari kondisi eksisting dari setiap penyulang. Kemudian akan dilakukan identifikasi terhadap penyulang yang mengalami jatuh tegangan melebihi batas standar toleransi. Setelah itu akan ditentukan skenario untuk melihat pengaruh pemasangan bank kapasitor terhadap tegangan. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan gambaran awal saja tetapi juga mengevaluasi kondisi tegangan dengan pemasangan bank kapasitor.

Tabel 1. Hasil Pengolahan Data Penyulang

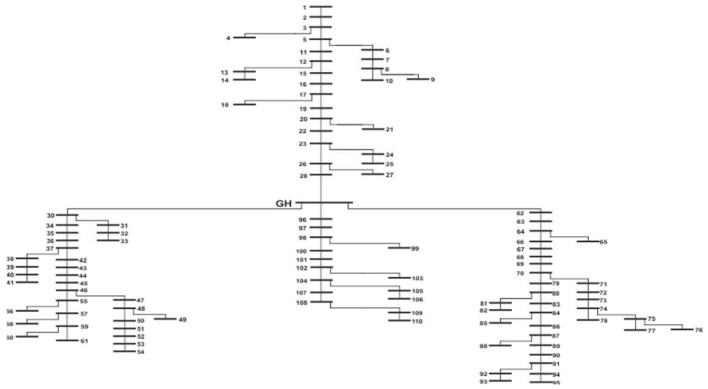
| Penyulang | Jumlah Saluran | Jumlah Bus | Total Impedansi Saluran (Ohm/Km) | | Total Beban | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Resistansi | Reaktansi | Aktif (p.u) | Reaktif (p.u) |
| **Pangsuma** | 161 | 162 | 55,780 | 54,626 | 3,44428 | 2,13458 |
| **Tomen 1** | 134 | 135 | 71,214 | 65,688 | 2,67693 | 1,65901 |
| **Tomen 2** | 109 | 110 | 67,491 | 63,960 | 1,76396 | 1,09321 |



Gambar. 1 Digaram Segaris Sederhana Penyulang Pangsuma



Gambar 2. Diagram Segaris Sederhana Penyulang Tomen 1




Gambar 3. Diagram Segaris Sederhana Penyulang Tomen 2

### 3.1 Kondisi Eksisting Masing-Masing Penyulang

Tabel 2. Analisa Nilai Tegangan Hasil Simulasi dan Pengukuran Kondisi Eksisting Setiap Penyulang

| Penyulang | Tegangan Terendah | | Jatuh Tegangan Tertinggi | | Kondisi Jatuh Tegangan menurut SPLN |
|---|---|---|---|---|---|
| | Simulasi | Pengukuran | Simulasi | Pengukuran | |
| **Pangsuma** | 15,87 kV (pada Bus 162) | 16,11 kV (pada Bus 145) | 20,68% (pada Bus 162) | 19,46% (pada Bus 145) | Melebihi standar |
| **Tomen 1** | 17,45 kV (pada Bus 130) | 17,75 kV (pada Bus 118) | 12,76% (pada Bus 130) | 11,23% (pada Bus 118) | Melebihi standar |
| **Tomen 2** | 18,17 kV (pada Bus 93) | 17,84 kV (pada Bus 162) | 9,14% (pada Bus 93) | 10,80% (pada Bus 162) | Sesuai standar |

Data diatas menunjukkan perbandingan nilai tegangan terendah antara hasil simulasi dan pengukuran setiap penyulang dalam kondisi eksisting. Berdasarkan hasil simulasi kondisi tegangan terburuk dialami oleh Penyulang Pangsuma dengan jatuh tegangan tertinggi mencapai 20,68% yang mana jauh melewati batas standar toleransi, sedangkan untuk Penyulang Tomen 1 kondisi tegangan sedikit lebih baik dengan jatuh tegangan tertinggi 12,76% walaupun begitu nilai tersebut masih melebihi batas standar

toleransi. Kemudian pada Penyulang Tomen 2, kondisi tegangan bisa dianggap sudah stabil dengan jatuh tegangan tertinggi hanya sebesar 9,14%.

Terdapat sedikit selisih antara hasil simulasi dan pengukuran kondisi tersebut terjadi karena pada saat simulasi kondisi sistem dianggap stabil sedangkan saat pengukuran data pengukuran PLN diambil langsung di setiap gardu distribusi oleh petugas pada waktu yang berbeda, baik siang maupun malam. Akibatnya, data pengukuran merupakan gabungan dari beberapa kondisi operasi sistem yang tidak terjadi secara bersamaan, sehingga tidak sepenuhnya mewakili satu kondisi operasi yang sama dengan simulasi.

### 3.2 Perbaikan Tegangan Penyulang Menggunakan Bank Kapasitor

Setelah diidentifikasi, dua dari tiga penyulang yaitu Penyulang Pangsuma dan Penyulang Tomen 1 ternyata memiliki tegangan yang cukup buruk saat kondisi eksisting dengan persentase jatuh tegangan yang sudah melewati batas standar (SPLN T6.001:2013). Sedangkan Penyulang Tomen 2 kondisi jatuh tegangan sudah sesuai dengan standar. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, akan dilakukan upaya perbaikan tegangan pada sistem Penyulang Pangsuma dan Penyulang Tomen 1 dengan cara memasang bank kapasitor melalui beberapa skenario simulasi. Sedangkan pada Penyulang Tomen 2 yang mana kondisi tegangan nya sudah sesuai dengan standar juga akan dilakukan skenario pemasangan bank kapasitor dengan tujuan mengetahui sejauh mana bank kapasitor dapat meningkatkan peforma sistem distribusi walaupun saat kondisi eksisting jatuh tegangan telah memenuhi standar.

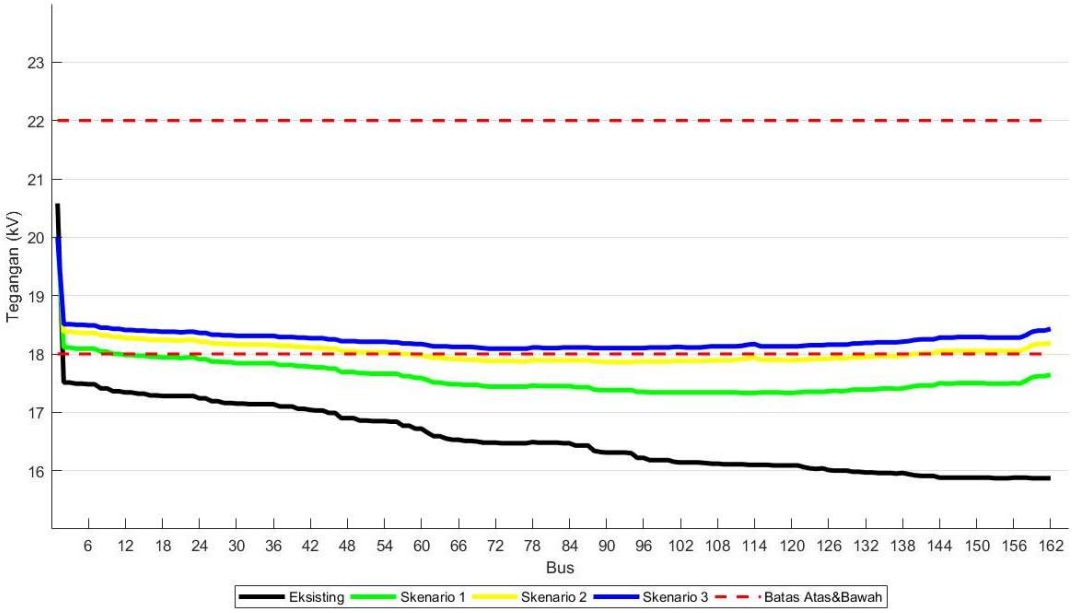
Tabel 3. Perencanaan Skenario Perbaikan Masing-masing Penyulang

| Penyulang | Skenario | Bank Kapasitor Terpasang | Kapasitas Kapasitor | Tujuan |
|---|---|---|---|---|
| Pangsuma | 1 | 1 | 1000 kVAR | Perbaikan Tegangan |
| | 2 | 2 | 1000 dan 500 kVAR | |
| | 3 | 3 | 1000, 500 dan 250 kVAR | |
| Tomen 1 | 1 | 1 | 750 kVAR | Perbaikan Tegangan |
| Tomen 2 | 1 | 1 | 500 kVAR | Peningkatan Peforma |

### 3.3 Upaya Perbaikan Tegangan Penyulang Pangsuma

Tabel 4. Hasil Perbaikan Tegangan Penyulang Pangsuma

| Kondisi | Bus Kritis | Rata-Rata Kenaikan Tegangan | Tegangan Terendah | Jatuh Tegangan Tertinggi | Perbaikan Paling Signifikan |
|---|---|---|---|---|---|
| Eksisting | 2 - 162 | - | 15,87 kV (pada Bus 162) | 20,68% (pada Bus 162) | - |
| Skenario 1 | 10 - 162 | 1,06 kV | 17,33 kV (pada Bus 114) | 13,35% (pada Bus 114) | Bus 130 – Bus 162 |
| Skenario 2 | 59 - 139 | 0,44 kV | 17,86 kV (pada Bus 94) | 10,70% (pada Bus 94) | Bus 61 – Bus 162 |
| Skenario 3 | - | 0,20 kV | 18,09 kV (pada Bus 77) | 9,57% (pada Bus 77) | Bus 59 – Bus 139 |




Gambar 4. Grafik Perbandingan Tegangan Penyulang Pangsuma Setiap Kondisi

Berdasarkan data dan gambar grafik diatas, pada Penyulang Pangsuma kondisi eksisting jatuh tegangan terjadi disepanjang sistem pada semua bus. Persentase jatuh tegangan konsisten mengalami kenaikan, dimulai dari bus 2 dengan jatuh tegangan sebesar 12,45% hingga pada ujung sistem yaitu bus 162 sebesar 20,68% serta rata-rata jatuh tegangan untuk keseluruhan bus sebesar 17,28% nilai tersebut jauh melebihi batas toleransi yang diperbolehkan oleh standar SPLN T6.001:2013.

Setelah dilakukan upaya perbaikan skenario pertama dengan pemasangan satu bank kapasitor berkapasitas 1000 kVAR pada bus dengan tegangan terendah saat kondisi eksisting yaitu bus 162, persentase jatuh tegangan yang terjadi disepanjang saluran sistem dapat diminimalisir. Rata-rata jatuh tegangan sebesar 17,28% pada kondisi eksisting, turun menjadi 12,04% walaupun sudah mengalami penurunan yang cukup signifikan akan tetapi angka tersebut masih belum sesuai dengan standar.

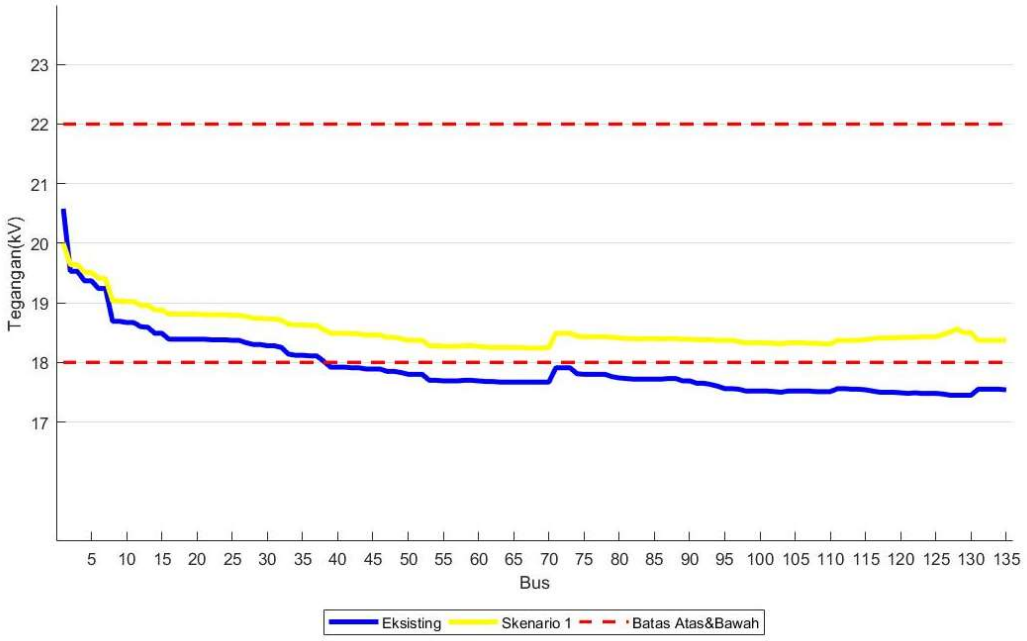
Perbaikan kemudian dilanjutkan ke skenario kedua dengan pemasangan kapasitor kedua pada bus 114 yang menjadi bus dengan tegangan terendah pada skenario 1 dengan kapasitas sebesar 500 kVAR, hasil yang didapatkan jatuh tegangan kembali mengalami penurunan dari kondisi sebelumnya, dengan rata-rata jatuh tegangan hanya 9,82%, kondisi ini jauh lebih baik dari eksisting. Walaupun demikian, pada bagian area tengah sistem khususnya pada bus 59 hingga bus 139 jatuh tegangan yang terjadi masih sedikit melebihi standar.

Maka perbaikan kembali dilanjutkan ke skenario ketiga dengan penambahan bank kapasitor ketiga pada bus 94 yang menjadi bus dengan tegangan terendah pada skenario 2 dengan kapasitas 250 kVAR. Hasil yang didapatkan, rata-rata jatuh tegangan yang terjadi pada keselurhan bus turun menjadi 8,82% dimana angka tersebut sudah sesuai dengan standar SPLN T6.001:2013. Skenario ketiga dengan integrasi tiga bank kapasitor berkapasitas total 1750 kVAR yang dipasang bertahap pada masing-masing bus dengan tegangan terendah berhasil memberikan kondisi tegangan yang cukup optimal dan stabil karena kompensasi daya reaktif yang diberikan tidak hanya berdasarkan total besar kapasitas, tetapi terdistribusi secara merata di beberapa titik kritis pada penyulang. Jadi, poin keberhasilan dari skenario ketiga bukan hanya berdasarkan jumlah kapasitas tetapi kombinasi antara lokasi pemasangan dan kapasitas yang dipilih.

### 3.4 Upaya Perbaikan Penyulang Tomen

Tabel 5. Hasil Perbaikan Tegangan Penyulang Tomen 1

| Kondisi | Bus Kritis | Rata-rata Kenaikan Tegangan | Tegangan Terendah | Jatuh Tegangan Tertinggi | Perbaikan Paling Signifikan |
|---|---|---|---|---|---|
| **Eksisting** | 39 - 135 | - | 17,45 kV (pada Bus 130) | 12,76% (pada Bus 130) | - |
| **Skenario 1** | - | 0,63 kV | 18,31 kV (pada Bus 103) | 8,44% (pada Bus 103) | Bus 39 – Bus 135 |




Gambar 5. Grafik Perbandingan Tegangan Penyulang Tomen 1

Berdasarkan data diatas yang menyajikan kondisi tegangan bus Penyulang Tomen 1 setelah simulasi perbaikan dengan pemasangan satu unit bank kapasitor berkapasitas 750 kVAR pada bus 130. Ternyata dengan pemasangan satu bank kapasitor sudah cukup untuk memperbaiki kondisi tegangan pada keseluruhan bus. Tegangan pada bus 39 hingga bus 135 berhasil diperbaiki hingga mencapai kondisi yang optimal sesuai dengan standar. Bus 130 yang merupakan lokasi pemasangan bank kapasitor pertama mengalami kenaikan tegangan dari yang awalnya 17,45 kV menjadi 18,50 kV, persentase jatuh tegangan juga berhasil turun sebesar 5,26%. Untuk rata-rata tegangan keseluruhan bus setelah perbaikan sebesar 18,54 kV dengan rata-rata jatuh tegangan hanya sebesar 7,32%. Grafik tersebut juga memperlihatkan efektifitas dari pemasangan bank kapasitor pada lokasi bus dengan tegangan terendah dalam memperbaiki tegangan dan menurunkan persentase jatuh tegangan agar sesuai dengan standar SPLN T6.001:2013.

### 3.5 Upaya Peningkatan Performa Penyulang Tomen 2

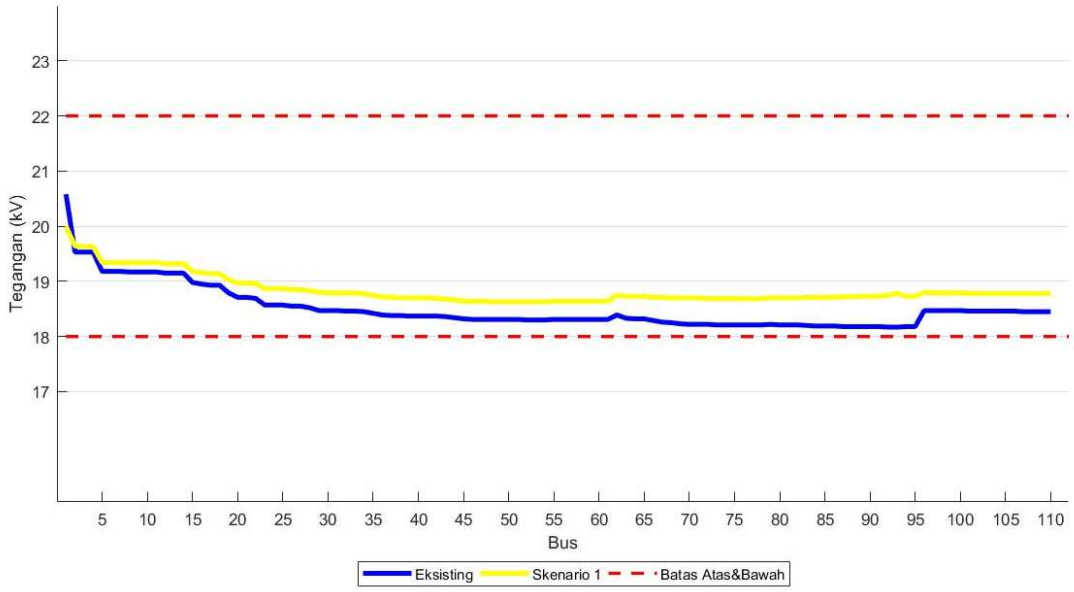
Hasil simulasi kondisi eksisting Penyulang Tomen 2 menunjukkan kondisi tegangan keseluruhan bus berada diatas batas minimum tegangan yang artinya sudah stabil dan jatuh tegangan yang terjadi tidak ada yang melebihi standar toleransi. Tegangan terendah terjadi pada bus 93 sebesar 18,17 kV dengan persentase jatuh tegangan hanya 9,15%. Skenario ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh bank kapasitor dalam meningkatkan peforma sistem distribusi walaupun kondisi

teganganya sudah sesuai. Oleh karena itu skenario dilakukan dengan memilih bus 93 sebagai lokasi pemasangan bank kapasitor.

Tabel 6. Hasil Peningkatan Performa Tegangan Penyulang Tomen 2

| Kondisi | Bus Kritis | Rata-rata Kenaikan Tegangan | Tegangan Terendah | Jatuh Tegangan Tertinggi | Peningkatan Paling Signifikan |
|---|---|---|---|---|---|
| **Eksisting** | - | - | 18,17 kV (pada Bus 93) | 9,15% (pada Bus 93) | - |
| **Skenario 1** | - | 0,35 kV | 18,63 kV (pada Bus 54) | 6,88% (pada Bus 54) | Bus 63 – Bus 95 |

Gambar 6. Grafik Perbandingan Tegangan Penyulang Tomen 2




Data dan gambar diatas menunjukkan kondisi tegangan Penyulang Tomen 2 dalam kondisi eksisting dan setelah skenario peningkatan peforma dengan pemasangan satu unit bank kapasitor berkapasitas 500 kVAR pada bus 93. Skenario simulasi yang bertujuan untuk melihat sejauh mana pengaruh bank kapasitor dalam meningkatkan performa tegangan sistem distribusi, ternyata berhasil menghasilkan kondisi tegangan yang jauh lebih baik lagi.

Kenaikan tegangan paling signifikan terjadi pada bus 63 hingga bus 95. Bus 93 yang merupakan lokasi pemasangan bank kapasitor mengalami kenaikan tegangan dari yang awalnya 18,17 kV menjadi 18,78 kV dan jatuh tegangan juga berhasil turun sebesar 3,02%. Untuk rata-rata tegangan keseluruhan bus setelah pemasangan satu bank kapasitor adalah 18,84 kV dengan rata-rata jatuh tegangan hanya sebesar 5,80% yang sebelumnya saat kondisi eksisting rata-rata jatuh tegangan adalah 7,50%.

Berdasarkan hasil yang di dapat disimpulkan bahwa pemasangan bank kapasitor tidak harus menunggu kondisi suatu penyulang mengalami masalah jatuh tegangan yang berlebih, tetapi kapanpun bisa digunakan untuk tujuan peningkatan performa operasi sistem distribusi agar bekerja lebih baik lagi.

### 3.6 Perbandingan Rugi-Rugi Daya Penyulang

Fenomena jatuh tegangan berhubungan erat dengan rugi-rugi daya karena kedua nya sama sama dipengaruhi oleh besarnya arus yang mengalir pada impedansi saluran. Ketika arus membesar jatuh tegangan akan bertambah karena adanya resistansi dan reaktansi saluran, sedangkan rugi-rugi daya meningkat karena besarnya rugi-rugi daya sama dengan kuadrat arus.

Tabel 7. Perbandingan Rugi-Rugi Daya Masing-Masing Penyulang

| Penyulang | Kondisi | Daya Pembangkitan | | Rugi-Rugi Daya | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Aktif (MW) | Reaktif (MVAR) | Aktif (MW) | Reaktif (MVAR) |
| Pangsuma | Eksisting | 3,927 | 2,878 | 0,488 | 0,744 |
| | Skenario 1 | 3,815 | 1,693 | 0,376 | 0,559 |
| | Skenario 2 | 3,787 | 1,150 | 0,348 | 0,516 |
| | Skenario 3 | 3,777 | 0,885 | 0,338 | 0,501 |
| Tomen 1 | Eksisting | 2,768 | 1,934 | 0,199 | 0,344 |
| | Skenario 1 | 2,371 | 1,108 | 0,161 | 0,267 |
| Tomen 2 | Eksisting | 1,801 | 1,231 | 0,116 | 0,129 |
| | Skenario 1 | 1,776 | 0,702 | 0,091 | 0,101 |

Integrasi bank kapasitor memiliki pengaruh yang cukup signifikan dalam membantu Gardu Induk (GI) menyuplai daya reaktif ke beban, khususnya beban-beban pada bagian ujung sistem yang tidak mendapat suplai daya reaktif yang cukup akibat impedansi saluran. Dapat dilihat pada tabel diatas, daya reaktif pembangkitan semakin berkurang seiring dengan penambahan total kapasitas bank kapasitor yang dipasang.

Pada kondisi eksisting kebutuhan daya aktif dan daya reaktif disuplai oleh (GI) menyebabkan arus yang mengalir pada saluran menjadi membesar. Karena rugi-rugi daya sebanding dengan kuadrat arus dan jatuh tegangan juga bergantung pada besarnya arus yang mengalir pada impedansi saluran maka rugi-rugi daya dan jatuh tegangan juga akan mengalami kenaikan. Peran bank kapasitor yang dipasang pada area kritis adalah untuk membantu (GI) dalam menyuplai daya reaktif lokal, sehingga daya reaktif yang dialirkan oleh (GI) berkurang menyebabkan arus yang mengalir pada saluran juga menurun sehingga dapat langsung memperbaiki kualitas tegangan dan memperkecil rugi-rugi daya yang terjadi.

Terbukti setelah pemasangan tiga bank kapasitor pada skenario 3 perbaikan Penyulang Pangsuma, rugi-rugi daya aktif turun sebesar 0,15 MW dan rugi-rugi daya reaktif turun sebesar 0,243 MVAR dari kondisi eksisting. Sedangkan Penyulang Tomen 1 dan Tomen 2 dengan pemasangan satu bank kapasitor rugi-rugi daya juga mengalami penurunan. Pada Penyulang Tomen 1 rugi-rugi daya aktif dan reaktif turun sebesar 0,038 MW dan 0,077 MVAR. Untuk Penyulang Tomen 2 rugi-rugi daya aktif dan reaktif turun sebesar 0,025 MW dan 0,028 MVAR.

## 4. KESIMPULAN

Hasil dan analisa dari penelitian ini berhasil menjawab asumsi awal mengenai potensi jatuh tegangan yang terjadi pada Penyulang Pangsuma dan Tomen. Selain itu hasil perbaikan yang dilakukan berhasil mengevaluasi kondisi tegangan pada penyulang yang teridentifikasi mengalami jatuh tegangan melebihi standar. berikut rangkuman dari hasil yang diperoleh:

1. Pada kondisi eksisting diketahui Penyulang Tomen terbagi menjadi dua bagian (masing-masing sistem tidak terhubung), dengan dua sumber Gardu Induk (GI) yang berbeda. Sehingga dalam

pembahasan Penyulang Tomen terbagi menjadi dua bagian yaitu, Penyulang Tomen 1 dan Penyulang Tomen 2.

2. Dalam kondisi eksisting hasil simulasi menunjukkan, pada Penyulang Pangsuma jatuh tegangan tertinggi mencapai 20,68%. Kemudian pada Penyulang Tomen 1, jatuh tegangan tertinggi sebesar 12,28%. Terakhir pada Penyulang Tomen 2 menunjukkan kondisi tegangan paling optimal dari kedua penyulang sebelumnya dengan jatuh tegangan tertinggi hanya 9,15%. Kondisi jatuh tegangan Penyulang Pangsuma dan Penyulang Tomen 1 melebihi batas standar SPLN T6.001:2013.
3. Upaya perbaikan tegangan menggunakan bank kapasitor yang dilakukan secara bertahap dan dipasang pada bus yang memiliki tegangan terendah terbukti efektif memperbaiki tegangan.
4. Karena hubungan jatuh tegangan dan rugi-rugi daya begitu erat, selain memperbaiki tegangan pemasangan bank kapasitor juga berhasil membantu menurunkan nilai rugi-rugi daya yang terjadi.

Penelitian ini berhasil menunjukkan kombinasi antara kapasitas bank kapasitor dan lokasi pemasangan yang tepat seperti pada bus dengan tegangan yang paling rendah memberikan dampak langsung dalam menyuplai daya reaktif lokal ke beban yang berada pada area kritis masing-masing Penyulang. Sehingga tegangan pada bus menjadi lebih stabil dan jatuh tegangan dapat ditekan sesuai dengan standar toleransi SPLN T6.001:2013.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] PT PLN Persero. Statistik PLN 2024. Data Operasional Unaudited. Jakarta. 2025.
[2] A. Muntaha, I. Darmawan, A. Jaya, & D. Maulidyawati. *Simulasi Perbaikan Drop Tegangan Dan Susut Pada Gardu Induk Alas Dengan Penambahan Kapasitor Bank*. Jurnal Informatika Teknologi dan Sains (Jinteks), 7(2), 516-525, Mei 2025.
[3] Tegangan-Tegangan Standar. SPLN T6.001:2013. 10 Mei 2013.
[4] R.T Winarko, R. Gianto, & Z. Abidin. *Perbaikan Profil Tegangan Pada Penyulang Kelam Di Jaringan Distribusi 20 Kv PT. PLN (Persero) ULP Sintang*. Kohesi: Jurnal Sains Dan Teknologi, 10(5), 191-200, September 2025.
[5] S. Daman, *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Padang: Universitas Negeri Padang. 2009.
[6] PT PLN Persero. *Buku Pedoman Pemeliharaan Kapasitor*. Jalan Trunojoyo Blok M I/135. Jakarta. 2014
[7] H. Saadat, *Power System Analysis*. New York: McGraw-Hill Book, 1999.
[8] R. Gianto. *Diktat Kendali dan Kestabilan Sistem Tenaga*. Universitas Tanjungpura
[9] B. Cahyono. *Penggunaan Software Matrix Laboratory (MATLAB) dalam Pembelajaran Aljabar Linier*. Jurnal Phenomenon, 1(1), 45-62. Juli 2013.