

## **Kajian Perbaikan Tegangan Menggunakan Kapasitor Bank Di PT. Panca Agung Sejati**

**Khoirunnisa Ramadhanti<sup>1</sup>; Ibnu Hajar<sup>1\*</sup>**

1. Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan,  
Institut Teknologi PLN, Jakarta Barat, DKI Jakarta 11750, Indonesia

*\*Email: Ibnu.hajar@itpln.ac.id*

### **ABSTRACT**

*This work studies a voltage correction using capacitor banks on the PLN's network distribution with medium voltage consumer of PT. Panca Agung Sejati. Voltage drop into PT. Panca Agung Sejati network in operation condition is 17.87 kV, it mean happened voltage drop in persentage of 10.65. That is not aproprate to the SPLN 72:1987 standard, that is  $\pm 5\%$ . Meanwhile, voltage drop on the network of the company is still in the range of SPLN standard when it is not on operation by 19.67 kV (1.65%). Then, efforting to improve the voltage drop the PT. PLN (Persero) has installed capacitor banks on the network at PT. Panca Agung Sejati with a total capacity are 3 x 400 kVAR. Starting with the collection of related data needed for simulation in the application, then the drawing of a Single Line Diagram. After that, a simulation is carried out to see the voltage results obtained. This research simulates using ETAP 16.0 software to find out whether the capacitors are still effective for load growth in the next 10 years. Simulation result with the capacitors installed of 3 x 400 kVAR is 19.15 kV (4.25%) that is mean it has already in the range of SPLN standard. For load growth until year of 2030 will be needed five capacitors in capacity of 400 kVAR (5 x 400 kVAR) to correcting the occurred voltage drop.*

**Keywords:** Capacitors, voltage drop, electrical energy

### **ABSTRAK**

*Penelitian ini mengkaji perbaikan tegangan dengan pemasangan kapasitor bank pada saluran distribusi jaringan listrik milik PLN dengan pelanggan tegangan menengah PT. Panca Agung Sejati. Besar nilai tegangan yang terjadi di PT. Panca Agung Sejati saat beroperasi sebesar 17,87 kV yang berarti terjadi jatuh tegangan sebesar 10,65%. Hal tersebut tidak sesuai dengan standar PLN dalam SPLN 72:1987 yaitu  $\pm 5\%$ . Sedangkan saat PT. Panca Agung Sejati tidak beroperasi tegangan dalam keadaan standar yaitu sebesar 19,67 kV (1,65%). Sehubungan dengan usaha untuk memperbaiki jatuh tegangan tersebut, PT. PLN (Persero) telah memasang kapasitor pada jaringan di PT. Panca Agung Sejati dengan kapasitas total 3 x 400 kVAR. Diawali dengan pengumpulan data-data terkait yang diperlukan untuk simulasi pada aplikasi, lalu penggambaran Single Line Diagram. Setelahnya dilakukan simulasi untuk melihat hasil tegangan yang didapatkan. Penelitian ini mensimulasikan dengan menggunakan aplikasi ETAP 16.0 untuk mengetahui apakah kapasitor tersebut masih efektif untuk pertumbuhan beban 10 tahun ke depan. Hasil simulasi dengan menggunakan kapasitor 3 x 400 kVAR terpasang adalah 19,15 kV (4,25%) yang berarti hal tersebut telah sesuai standar SPLN. Untuk pertumbuhan beban sampai tahun 2030 diperlukan 5 buah kapasitor berkapasitas 400 kVAR untuk memperbaiki jatuh tegangan yang terjadi.*

**Kata kunci:** Kapasitor, jatuh tegangan, energi listrik

## 1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik yang baik haruslah memiliki tegangan yang tidak akan melebihi standar yg diberikan dari PLN serta rugi daya yang bernilai kecil [1]. Dalam sistem distribusi tenaga listrik terdapat masalah yang sering terjadi salah satunya adalah jatuh tegangan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan beberapa metode yaitu dengan pemasangan kapasitor bank, dan memperbesar luas penampang dari konduktor yang dipakai di saluran distribusi.

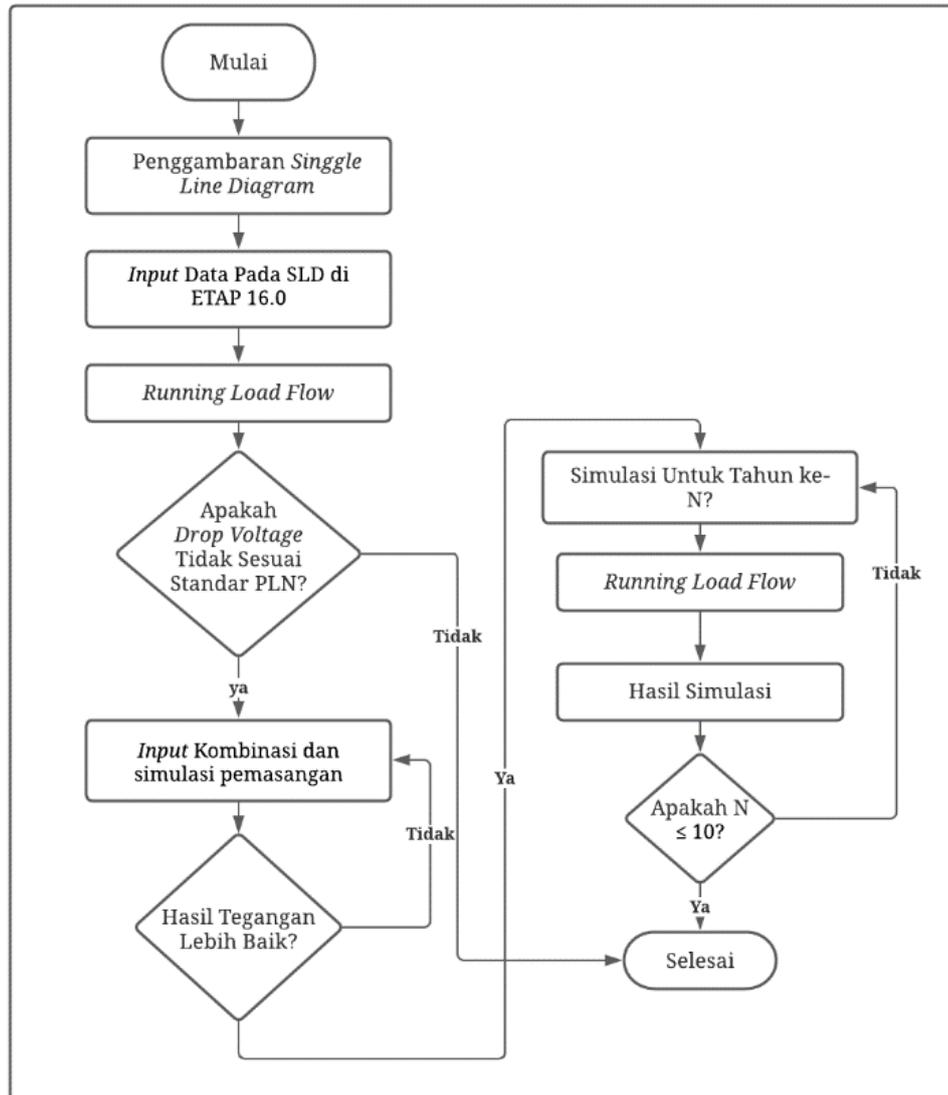
Pemakaian kapasitor bank dapat memperkecil arus mengalir pada penghantar dan dapat memperbaiki faktor daya sehingga dapat mengurangi besarnya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada saluran distribusi [2]. Kapasitor mempunyai fungsi dalam proses perbaikan faktor daya jaringan, mengurangi rugi-rugi (*losses*) jaringan, memperbaiki stabilitas dan menghilangkan/menghapus jatuh tegangan [3].

Persaingan dibidang industri juga semakin meningkat. Sudah mulai banyak pabrik-pabrik industri yang dibangun. Sering terjadi jatuh tegangan atau *voltage drop* karena pada penyulang/*feeder* mengalami beban yang berlebih (*overload*). PT. PLN Persero harus mampu untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang semakin bertambah setiap tahunnya. (PT. PLN (persero), 1995) namun tidak menutup kemungkinan pada sistem penyaluran tenaga listrik akan mengalami jatuh tegangan dibawah ketentuan minimum -5% dari tegangan nominalnya [4]. Pada penyulang Kujang yang terletak di kecamatan Sungai Keruh, Kabupaten Musi Banyuasin, Sumatera Selatan terdapat konsumen TM 20 kV baru yaitu PT. PAS sebuah pabrik yang beroperasi dengan daya 1.73 MVA terletak 55 kms dari GI Sekayu dengan penghantar A3C 70 mm. Saat pabrik tersebut beroperasi, terjadi jatuh tegangan yang melebihi ketentuan SPLN sebesar 17.9 kV. Untuk simulasi jatuh tegangan pada aplikasi *ETAP 16.0* sebelumnya sudah dilakukan terlebih dahulu untuk menentukan kapasitas dari kapasitor bank dan tap transformator. Setelah diketahui kapasitas dari kapasitor bank dan besarnya tap transformator yang akan digunakan kemudian dilakukan perhitungan dan simulasi untuk memperkirakan apakah kapasitas dari kapasitor bank yang digunakan masih efektif untuk 10 tahun yang akan datang.

## 2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

### 2.1. Desain Penelitian

Diagram alir yang dibuat untuk mensimulasikan pemasangan kapasitor seperti terlihat pada gambar 1. Penelitian ini diawali dengan menggambar *single line diagram* yang telah ditentukan, setelahnya dilakukan penginputan data yang dibutuhkan *single line diagram* pada aplikasi *ETAP 16.0*. Selanjutnya dilakukan proses *running load flow* pada aplikasi *ETAP 16.0* dan dapat dilihat nilai jatuh tegangan yang didapatkan dari hasil *running load flow* tersebut, apakah *drop voltage* yang ditunjukkan tidak sesuai dengan standar PLN atau sesuai. Jika tidak sesuai maka akan berlanjut ke proses input kombinasi kapasitor dan simulasi pemasangan kapasitor. Setelah didapatkan hasil jatuh tegangan dari simulasi pemasangan kapasitor, apakah hasil tegangan lebih baik. Jika hasil tegangan lebih baik maka proses berlanjut untuk mensimulasikan prediksi keefektifan dari kapasitor bank untuk 10 tahun yang akan datang.



**Gambar 1.** Diagram Alir Penyelesaian Masalah

## 2.2. Perbaikan Jatuh Tegangan dengan Kapasitor

Drop tegangan merupakan peristiwa dimana saat pendistribusian tegangan listrik terjadi penurunan tegangan pada beberapa titik konsumen. Besarnya tegangan yang diterima tidak sama dengan tegangan yang dikirim. Salah satu penyebab besarnya *drop* adalah bertambahnya beban listrik [5].

Kapasitor daya terdiri dari komponen konduktor dan isolasi, yaitu terdiri dari pelat metal yang dipisahkan satu sama lain dengan bahan isolasi. Tidak ada bagian yang bergerak, akan tetapi terdapat gaya yang bekerja sebagai fungsi dari kuat medan listrik [6].

Pada sebuah saluran distribusi yang semakin panjang salurannya dan semakin banyak motor penggerak yang digunakan akan semakin memperbesar daya reaktif induktif yang dapat menyebabkan jatuh tegangan dan rugi-rugi daya. Diperlukannya sumber daya reaktif kapasitif untuk memperbaiki jatuh tegangan tersebut dengan memasang kapasitor bank yang kapasitasnya tepat untuk memperbaiki jatuh tegangan tersebut pada saluran distribusi primer [7]. Kebutuhan kompensasi daya reaktif ( $Q_c$ ) yang dibutuhkan

untuk dapat memperbaiki tegangan yang rendah pada sistem dapat dilihat dari persamaan (1) berikut ini:

$$Q_c = P (\tan(\cos^{-1}(PF_1)) - \tan(\cos^{-1}(PF_2))) \quad \dots (1)$$

Dalam Perbaikan faktor daya dengan pengaturan tegangan jaringan, para teknisi menggunakan kapasitor sebagai sistem kompensasi daya reaktif. Beban yang memiliki sifat induktif akan mengakibatkan penyerapan daya reaktif, dan akan menimbulkan jatuh tegangan di sisi yang menerima, pada saat ini kapasitor berfungsi untuk mengkompensasi daya reaktif serta memastikan tegangan terjadi di level beban puncak. Pemakaian kapasitor merupakan sebuah usaha yang dilakukan agar berguna untuk memberi *supply* daya reaktif, yang sebagaimana penggunaan kapasitor dapat mengurangi penyerapan oleh beban.

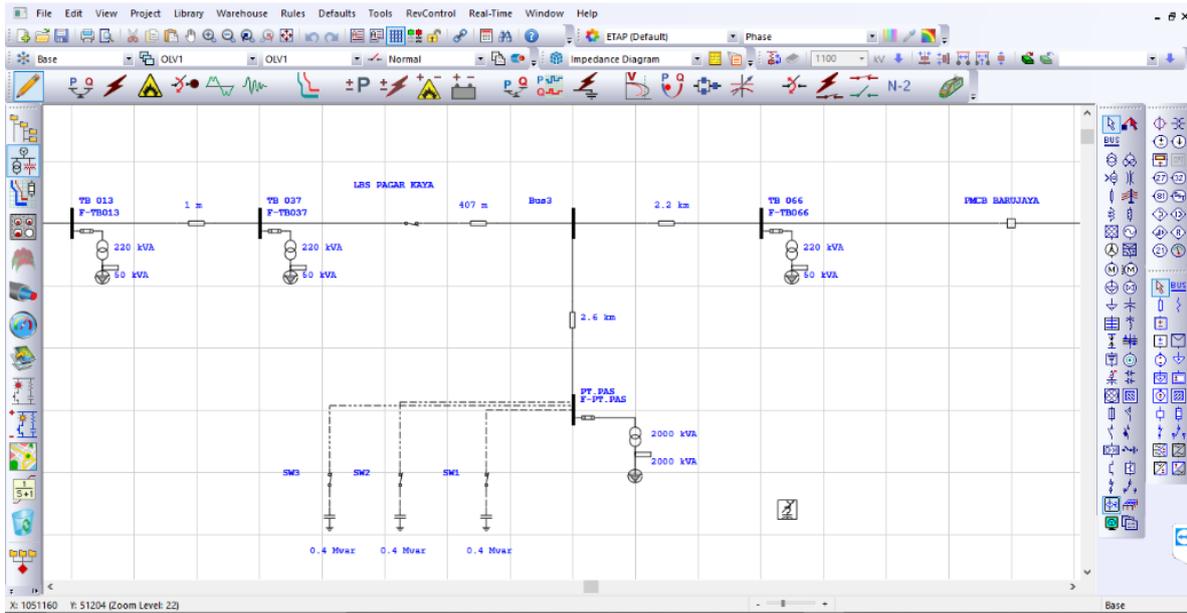
Fungsi kapasitor secara umum pada sistem tenaga adalah menyuplai daya reaktif agar dapat memaksimalkan penggunaan daya, mengurangi jatuh tegangan, memperbaiki faktor daya, mengurangi kelebihan beban transformator, memberi tambahan daya reaktif, kenaikan arus dan suhu pada penghantar dapat terhindar dan menghemat efisiensi.

**2.3. Penentuan Kapasitas Kapasitor dengan ETAP 16.0**

Program *ETAP 16.0* merupakan perangkat lunak yang digunakan sebagai penganalisis sistem kelistrikan terperinci yang mampu bekerja secara *offline* dan *online* untuk pengelolaan data secara *realtime*. Analisis yang dengan menggunakan *ETAP 16.0* adalah analisa aliran daya (*load flow analysis*), analisa hubung singkat (*short circuit analysis*), *arc flash analysis*, analisa kestabilan sistem (*transient stability system*), *motor starting*, *harmonic power system*, dan *protective device coordination*. Simulasi untuk memperbaiki jatuh tegangan pada *ETAP 16.0* adalah simulasi *Optimal Capacitor Placement*. [8]



**Gambar 2.** Tampilan aplikasi *ETAP 16.0*



**Gambar 3.** Tampilan SLD pada bagian PT. PAS

Pada penelitian ini untuk mengetahui nilai tegangan setelah pemasangan kapasitor dalam sebuah sistem, diperlukan adanya perhitungan aliran daya. Dalam sistem yang terdiri dari banyak busbar, perhitungan aliran daya dapat dipermudah dengan menggunakan *ETAP 16.0. Software ETAP 16.0* ini menggunakan metode *Newton Raphson* untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya. Metode ini lebih cepat mendapat nilai konvergen sehingga proses iterasinya lebih sedikit dan dengan waktu yang dibutuhkan untuk menghitung aliran daya suatu sistem lebih cepat. Sebelum menjalankan *ETAP 16.0* maka diperlukan input data parameter penghantar seperti panjang saluran, jenis konduktor yang digunakan, parameter R, X dan Z nya, kemudian transformator (kV, MVA), beban (P,Q), eksternal grid (P,Q), tegangan bus (kV). Setelah semua data ter-*input* maka perhitungan aliran daya dapat terselesaikan. Setelah didapatkan nilai aliran dayanya, maka akan diamati tegangan sistemnya. Tegangan yang kurang baik akan diperbaiki dengan pemasangan kapasitor bank.

**2.4. Perhitungan Pertumbuhan Beban**

Di bawah ini merupakan perkiraan penggunaan kapasitor bank dari tahun 2021 sampai dengan tahun 2030 secara perhitungan. Untuk daya aktif (P) dan kebutuhan suplai daya reaktif (Qc) dihitung dengan rumus-rumus sebagai berikut:

$$P_n = (P_{n-1} \times 7\%) + P_{n-1} \quad \dots(2)$$

$$Qc_n = (Qc_{n-1} \times 7\%) + Qc_{n-1} \quad \dots(3)$$

$$presentase\ pertumbuhan = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100\% \quad \dots(4)$$

**2.5. Sumber Data dan Jenis Data yang Dibutuhkan**

Dalam kajian ini ada data-data yang dibutuhkan untuk dapat menyelesaikan persoalan dalam penelitian. Data-data yang dibutuhkan adalah:

- Data beban puncak dan beban rendah sebelum pemasangan kapasitor di penyulang Kujang.

- Data penghantar pada penyulang Kujang.
- Data pembebanan pada penyulang Kujang.
- Data profil tegangan sebelum pemasangan kapasitor pada penyulang Kujang.

Untuk data-data tersebut dapat diperoleh dari PLN Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Palembang.

## 2.6. Teknik Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data peneliti akan melakukan beberapa tahapan sehingga kebutuhan data dapat diperoleh dan juga mengetahui data apa saja yang akan digunakan dalam pengkajian. Beberapa metode yang digunakan peneliti dalam proses pengumpulan data, sebagai berikut:

- Melakukan wawancara dengan petugas yang ada dilapangan untuk mengetahui jenis data yang dibutuhkan untuk menyelesaikan masalah penelitian. Untuk hal-hal yang perlu ditanyakan mengenai data yang dibutuhkan, hal ini juga tidak terlepas dari beberapa arahan dosen pembimbing.
- Melakukan studi literature untuk memahami teori dan konsep dasar yang mendukung penelitian. Dengan bertambahnya jumlah penelitian pustaka, hal ini mempermudah proses pencarian data. Dengan cara ini, ketika mencari data, telah menguasai teori pendukung data tersebut.
- Melakukan observasi dan identifikasi terhadap objek yang diteliti yang dilakukan di Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Sub Bidang Jaringan Sistem Distribusi Palembang.

## 2.7. Metode Analisis Data

Setelah mengumpulkan data, data yang telah diperoleh selanjutnya dianalisis. Teknik analisis inidakan digunakan untuk mengolah semua data yang didapatkan untuk memenuhi tujuan penelitian. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif yang menghasilkan data berupa variabel-variabel terhubung dan lebih banyak menggunakan analisa.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Simulasi dengan ETAP 16.0

Simulasi yang menggunakan *ETAP 16.0* dilakukan dengan empat kondisi. Dimana kondisi pertama saat kapasitor bank belum masuk dan PT. Panca Agung Sejati tidak beroperasi, kondisi kedua yaitu saat kapasitor bank belum masuk dan PT. Panca Agung Sejati beroperasi, kondisi ketiga saat kapasitor bank masuk dan PT. Panca Agung Sejati tidak beroperasi, serta kondisi keempat saat kapasitor masuk dan PT. Panca Agung Sejati beroperasi. Tabel 1 berikut adalah hasil simulasi yang didapatkan:

**Tabel 1.** Tegangan PT. Panca Agung Sejati dalam empat kondisi

	Kondisi 1	Kondisi 2	Kondisi 3	Kondisi 4
Tegangan PT. PAS (kV)	19.67	17.87	21.16	19.15

Sehingga dipasang kapasitor untuk memperbaiki jatuh tegangan yang terjadi. Dengan  $\cos \theta_{awal}$  sebesar 0.85 dan  $\cos \theta_{target}$  untuk menaikkan tegangan sebesar 0.9. Dengan daya aktif sebesar 1700 kW. Dilakukan perhitungan kebutuhan daya reaktifnya menggunakan persamaan (1):

$$Q_c = 1700 \text{ kW} (\tan(\cos^{-1}(0.85)) - \tan(\cos^{-1}(0.9))) = 1033.779 \text{ kVAR}$$

Dari perhitungan tersebut, dibutuhkan kapasitor berkapasitas 400 kVAR sebanyak 3 buah untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif.

**3.2. Perkiraan Beban Energi Listrik**

Pertumbuhan beban energi listrik yang terjadi di PT. PLN UP3 Palembang setiap tahunnya diperkirakan sebesar 7% berdasarkan perhitungan pertumbuhan beban puncak yang diambil dari tahun 2019 sampai 2021. Presentase kenaikan beban dihitung dari data table 2 dibawah ini:

**Tabel 2.** Data beban puncak penyulang Kujang Maret 2019 sampai Maret 2021

Nama Penyulang	Maret 2019 (MW)	Maret 2020 (MW)	Maret 2021 (MW)
Kujang	19.52	20.99	22.57

Didapatkan pertumbuhan beban yang dihitung dari tahun 2019 sampai 2021 dengan menggunakan persamaan (4) dengan nilai P2 20.99 MW dan P2 19.52 MW untuk tahun 2019-2020, sedangkan untuk tahun 2020-2021 nilai P2 sebesar 22.57 MW dan P1 20.99 sehingga dari tahun 2019 sampai 2021 didapatkan presentase pertumbuhan beban energi listrik sebesar 7%.

**3.3. Evaluasi Kapasitor Selama 10 Tahun**

Dari hasil simulasi yang dilakukan pada aplikasi ETAP 16.0 didapatkan data seperti pada Tabel 3 sebagai berikut:

**Tabel 3.** Perbaikan Tegangan PT. Panca Agung Sejati dari 2021 sampai 2030 dengan 3×400 kVAR kapasitor bank

BUSBAR	TAHUN	TEGANGAN SEBELUM PERBAIKAN (kV)	TEGANGAN SETELAH PERBAIKAN (kV)	% Drop Voltage sesudah pemasangan kapasitor
PT. PAS	2021	17.87	19.15	4.25
	2022	17.68	18.93	5.35
	2023	17.48	18.71	6.45
	2024	17.26	18.47	7.65
	2025	17.04	18.23	8,85
	2026	16.81	17.97	10.15
	2027	16.56	17.7	11.5
	2028	16.3	17.42	12.9
	2029	16.03	17.12	14.4
	2030	15.75	16.81	15.95

Dari tabel di atas, tegangan yang terdapat pada tabel tersebut merupakan tegangan pada saat kapasitor 3×400 kVAR masuk. Kemudian kapasitor 3×400 kVAR tersebut masih dapat memperbaiki jatuh tegangan sampai dengan tahun 2025. Ditahun 2026 sampai dengan tahun 2030 kapasitor 3×400 kVAR sudah tidak efektif lagi dalam memperbaiki jatuh tegangan di PT. Panca Agung Sejati.

Tabel 4 di bawah ini merupakan perkiraan penggunaan kapasitor bank dari tahun 2021 sampai dengan tahun 2030 secara perhitungan.

**Tabel 4.** Kebutuhan kapasitor bank tiap tahunnya.

BUSBAR	TAHUN	P ( kW )	KEBUTUHAN KAPASITOR (kVAR)	Kapasitas (kVAR )	Jumlah Bank
PT. PAS	2021	1700	1033.779	400	3
	2022	1819	1106.143	400	3
	2023	1946.33	1183.573	400	3
	2024	2082.57	1266.423	400	4
	2025	2228.35	1355.073	400	4
	2026	2384.33	1449.93	400	4
	2027	2551.23	1551.425	400	4
	2028	2729.81	1660.025	400	5
	2029	2920.897	1776.227	400	5
	2030	3125.36	1900.563	400	5

Dari hasil evaluasi dengan pertumbuhan beban sebesar 7% setiap tahunnya secara perhitungan, dapat dilihat bahwa pada tahun 2024 kebutuhan kapasitor bank bertambah menjadi 4 bank yang awalnya hanya 3 bank. Empat kapasitor bank ini dapat efektif digunakan sampai tahun 2027. Sedangkan untuk tahun 2028 dibutuhkan tambahan 1 kapasitor bank sehingga menjadi 5 kapasitor bank dengan masing-masing berkapasitas 400 kVAR.

Dengan penggunaan kapasitor bank 3×400 kVAR pada tahun 2026 berdasarkan parameter tegangan, jatuh tegangan yang terjadi di PT. Panca Agung Sejati telah melewati SPLN yaitu -10% dari tegangan nominal.

#### **4. KESIMPULAN DAN SARAN**

Setelah dilakukannya pemasangan kapasitor 3×400 kVAR, tegangan pada PT. Panca Agung Sejati saat beroperasi dapat kembali sesuai standar PLN yaitu -10% sebesar 19.15 kV. Kapasitor yang terpasang dari tahun 2021 dengan kapasitas 3×400 kVAR hanya mampu bertahan sampai tahun 2023 untuk memperbaiki jatuh tegangan yang terjadi di PT. Panca Agung Sejati. Melalui simulasi dan perhitungan, kapasitor bank yang diperlukan sampai tahun 2030 sebanyak 5 bank dengan kapasitas 400 kVAR, Serta Saranya Perlu dilakukan pemantauan kapasitor bank secara berkala agar pengoperasian kapasitor bank menjadi lebih baik.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan ditulisnya artikel ilmiah ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besar kepada pihak Kampus IT – PLN Jakarta yang telah membantu membimbing serta memberikan ilmu untuk menyelesaikan artikel ilmiah ini, dan PT. PLN Persero UP3 Palembang yang telah membantu dan memperbolehkan melakukan penelitian di PT. PLN Persero UP3.

## DAFTAR ISI

- [1] S. Akbar Abadi, (2015), "Analisa Perbaikan Profil Tegangan Sistem Tenaga Listrik Sumbar Menggunakan Kapasitor Bank Dan Tap Transformator," Jurnal Nasional Teknik Elektro, Pp. 158-163.
- [2] D. Y. S. F. Hermanto, (2017) "Perbaikan Jatuh Tegangan Pada Feeder Jaringan Distribusi Tegangan Menengah 20 kV Teluk Kuantan," Jom Fteknik Vol. 4 No. 1, Pp. 1-8.
- [3] PT.PLN (Persero), (2014), Buku Pedoman Pemeliharaan Kapasitor Nomor: Pdm/Pgi/04:2014, Jakarta: Tim Review Kepdir.
- [4] PT. PLN (Persero), (1995) "Tegangan - Tegangan Standar," P.T. Perusahaan Listrik Negara (Persero), Jakarta.
- [5] I. M. A. Mahardiananta, P. A. R. Arimbawa Dan D. A. S. Santiari, (2020), "Perhitungan Drop Tegangan Sistem Distribusi Menggunakan Metode Aliran Daya," Jurnal Resistor, Vol. 3, P. 13.
- [6] M. K. Nizam Dan T. Rijanto, (2019), "Analisis Perbaikan Kualitas Daya Menggunakan Kapasitor Bank Pada Penyulang Lumumba Pt. Pln Ngagel Surabaya," Jurnal Teknik Elektro, Vol. 08, P. 657.
- [7] E. E. D. Y. S. Akto Sello, (2014), "Kajian Penempatan Kapasitor Bank Menggunakan Metode Genetik Algoritma Pada South Balam Feeder 1 Pt Chevron Pacific Indonesia," Jom Fteknik Vol. 2, P. 1.
- [8] Samsurizal, and Benyamin Hadinoto. (2020), "Studi Analisis Dampak Overload Transformator Terhadap Kualitas Daya Di PT. PLN (Persero) Up3 Pondok Gede."
- [9] KILAT 9.1: 136-142. H. P. Anugrah, (2018), "Analisis Kebutuhan Kapasitor Bank Pada Bus Beban Untuk Perbaikan Faktor Daya Dan Drop Tegangan Menggunakan Simulasi Optimal Capacitor Placement Etap 12.6 (Studi Kasus Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya)," Universitas Muhammadiyah Malang, Malang.
- [10] R. M. Agata Dzionk, (2016), "Activity Coordination Of Capacitor Banks And Power Transformer Controllers In Order To Reduce Power Losses In The Mv Grid," Ieee, Pp. 27-32.
- [11] D. Marsudi, (2016) Operasi Sistem Tenaga Listrik Edisi 3, Yogyakarta: Graha Ilmu.