

## Analisis Daya di Pengaruhi Switching Kapasitor Bank Menggunakan Power Factor Regulator

**Andika Prasstia<sup>1</sup>, Indra Roza<sup>2\*</sup>, dan Agus Almi Nasution<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Harapan Medan  
Jl. H. M. Joni No. 70 C Medan, 20216<sup>1,2,3</sup>  
e-mail: indrarozar@gmail.com

**Abstrak**— Penelitian ini menganalisis dampak switching kapasitor bank pada kualitas daya dalam sistem tenaga listrik, khususnya pengaruhnya terhadap fenomena transien yang menyebabkan lonjakan tegangan dan arus. Switching kapasitor bank tanpa pengaturan yang tepat dapat menurunkan stabilitas sistem dan menyebabkan gangguan operasional. Untuk mengatasi hal ini, Power Factor Regulator (PFR) digunakan sebagai alat mitigasi. Studi ini mengevaluasi efektivitas PFR dalam meredam transien yang terjadi selama switching kapasitor bank, dengan fokus pada peningkatan faktor daya dan pengurangan distorsi harmonik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan PFR secara signifikan mengurangi amplitudo lonjakan tegangan dan arus, serta mempercepat pemulihan sistem ke kondisi stabil. Temuan ini menegaskan pentingnya integrasi PFR dalam desain dan operasi sistem tenaga listrik untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk menguji kinerja PFR dalam berbagai kondisi operasional yang lebih kompleks dan realistis.

**Kata kunci** : Kapasitor bank, switching, power Factor regulator, kualitas daya, sistem tenaga listrik.

***Abstract**—This study analyzes the impact of capacitor bank switching on power quality in a power system, especially its effect on transient phenomena that cause voltage and current spikes. Switching capacitor banks without proper regulation can reduce system stability and cause operational disruptions. To overcome this, a Power Factor Regulator (PFR) is used as a mitigation tool. This study evaluates the effectiveness of PFR in damping transients that occur during capacitor bank switching, with a focus on improving the power factor and reducing harmonic distortion. Simulation results show that the use of PFR significantly reduces the amplitude of voltage and current spikes, and accelerates system recovery to steady state. These findings emphasize the importance of integrating PFR in the design and operation of power systems to improve system efficiency and reliability. Further research is recommended to test the performance of PFR under more complex and realistic operational conditions.*

**Keywords** : Capacitor bank, switching, power factor regulator, power quality, electric power system.

### I. PENDAHULUAN

Dalam sistem tenaga listrik, kualitas daya merupakan aspek yang sangat penting untuk memastikan operasi yang efisien dan andal [1]. Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas daya adalah dengan menggunakan kapasitor bank, yang berfungsi untuk memperbaiki faktor daya dan mengurangi beban reaktif [2]. Namun, switching kapasitor bank, terutama dalam sistem dengan beban yang bervariasi, dapat menimbulkan fenomena transien yang signifikan, seperti lonjakan tegangan dan arus [3]. Fenomena transien ini dapat menyebabkan gangguan operasional, menurunkan kualitas daya, dan bahkan merusak peralatan listrik yang sensitive [4]. Fenomena transien yang dihasilkan dari switching kapasitor bank sering kali sulit dikendalikan, terutama pada sistem yang tidak dilengkapi dengan perangkat pengatur yang memadai [5]. Power Factor Regulator (PFR) merupakan salah satu solusi yang dirancang untuk mengatasi masalah ini [6]. PFR bekerja dengan

mengoptimalkan urutan dan waktu switching, sehingga dapat meredam transien yang terjadi dan mempercepat pemulihan sistem ke kondisi stabil [7]. Meskipun penggunaan PFR telah banyak dikaji dalam literatur, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam kondisi operasional yang lebih kompleks dan realistis [8]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak switching kapasitor bank terhadap daya dalam sistem tenaga listrik dan mengkaji peran PFR dalam meredam dampak negatif yang ditimbulkan oleh transien [9]. Studi ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru tentang pentingnya integrasi PFR dalam sistem tenaga listrik, serta menyajikan bukti empiris yang mendukung penggunaan PFR untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi acuan dalam desain dan operasi sistem tenaga listrik yang lebih stabil dan berkualitas.

## II. STUDI PUSTAKA

### 1. Daya dalam Sistem Tenaga Listrik

Daya dalam sistem tenaga listrik terbagi menjadi tiga komponen utama: daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S). Daya aktif adalah komponen daya yang digunakan untuk melakukan kerja nyata, seperti memutar motor atau menyalakan lampu, dan diukur dalam watt (W). Daya reaktif adalah komponen daya yang beresilasi antara sumber dan beban tanpa melakukan kerja nyata, seringkali terkait dengan elemen reaktif seperti induktor dan kapasitor, dan diukur dalam volt-ampere reaktif (VAR). Daya semu adalah kombinasi vektor dari daya aktif dan reaktif, diukur dalam volt-ampere (VA) [10].

Rumus dasar untuk menghitung komponen daya ini dalam sistem AC adalah sebagai berikut [10]:

$$P = V_{rms} \times I_{rms} \times \cos(\theta) \quad (1)$$

$$Q = V_{rms} \times I_{rms} \times \sin(\theta) \quad (2)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3)$$

### 2. Faktor Daya (Power Factor)

Faktor daya (Pf) adalah rasio antara daya aktif dengan daya semu, dan dinyatakan sebagai  $\cos(\theta)$ . Faktor daya yang rendah menunjukkan bahwa lebih banyak daya yang disalurkan daripada yang digunakan secara efektif untuk melakukan kerja [11]. Hal ini menyebabkan peningkatan rugi-rugi dalam sistem dan efisiensi operasi yang lebih rendah [12]. Oleh karena itu, memperbaiki faktor daya melalui penggunaan kapasitor bank menjadi penting [13].

### 3. Kapasitor Bank

Kapasitor bank digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk memperbaiki faktor daya dan mengurangi daya reaktif yang dibutuhkan oleh beban induktif [14], [15]. Dengan mengkompensasi komponen daya reaktif, kapasitor bank meningkatkan efisiensi sistem dan menurunkan beban pada generator dan transmisi [16].

Namun, switching kapasitor bank dapat menimbulkan fenomena transien, yang ditandai oleh lonjakan tegangan dan arus mendadak [3]. Transien ini dapat mengganggu operasi peralatan listrik yang sensitif dan merusak komponen system [4].

### 4. Fenomena Transien Akibat Switching Kapasitor Bank

Transien yang terjadi selama switching kapasitor bank disebabkan oleh perubahan mendadak dalam aliran arus dan tegangan [17],[18]. Fenomena ini dapat dianalisis menggunakan persamaan diferensial yang melibatkan parameter-parameter sistem, seperti induktansi (L), kapasitansi (C), dan resistansi (R) [19]. Karakteristik transien ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti ukuran kapasitor, kecepatan switching, dan kondisi jaringan pada saat switching [3].

### 5. Power Factor Regulator (PFR)

Power Factor Regulator (PFR) adalah perangkat yang dirancang untuk mengatur faktor daya secara otomatis dengan mengontrol urutan dan waktu

switching kapasitor bank [9]. PFR bekerja dengan mendeteksi kondisi sistem dan menyesuaikan operasi kapasitor bank untuk mengurangi dampak transien[20]. PFR juga dapat membantu mempertahankan faktor daya yang optimal, yang pada akhirnya meningkatkan efisiensi dan kestabilan sistem tenaga Listrik [11].

### 6. Dampak PFR terhadap Transien Switching

Penggunaan PFR terbukti efektif dalam meredam transien yang terjadi selama proses switching kapasitor bank [6]. PFR mampu mengurangi amplitudo lonjakan tegangan dan arus, serta mempercepat pemulihan sistem ke kondisi stabil [21]. Dengan demikian, PFR berperan penting dalam menjaga kualitas daya dan stabilitas operasi sistem tenaga Listrik [22].

## III. METODE

### A. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode simulasi untuk menganalisis pengaruh switching kapasitor bank terhadap kualitas daya dalam sistem tenaga listrik. Simulasi dilakukan untuk mengamati bagaimana Power Factor Regulator (PFR) mempengaruhi parameter-parameter seperti tegangan, arus, dan faktor daya.

### B. Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah sistem tenaga listrik tiga fasa yang terdiri dari sumber tegangan, beban induktif, dan kapasitor bank. Sistem ini dimodelkan menggunakan perangkat lunak simulasi yang dapat memodelkan fenomena transien.

### C. Variabel Penelitian

- a. Variabel Bebas: Kondisi switching kapasitor bank (dengan dan tanpa PFR).
- b. Variabel Terikat:
  1. Lonjakan tegangan (V).
  2. Lonjakan arus (I).
  3. Durasi transien (ms).
  4. Faktor daya (Power Factor, Pf).

### D. Prosedur Penelitian

- a. Pemodelan Sistem: Sistem tenaga listrik dimodelkan menggunakan perangkat lunak seperti MATLAB/Simulink. Model ini mencakup sumber tegangan tiga fasa, beban induktif, kapasitor bank, dan Power Factor Regulator (PFR).
- b. Simulasi Switching Tanpa PFR: Simulasi pertama dilakukan untuk menganalisis efek switching kapasitor bank tanpa penggunaan PFR. Data yang dikumpulkan meliputi lonjakan tegangan, lonjakan arus, durasi transien, faktor daya, dan distorsi harmonik.

- c. Implementasi dan Simulasi dengan PFR: Setelah itu, PFR diimplementasikan dalam sistem, dan simulasi diulang. Data yang sama dikumpulkan untuk melihat bagaimana PFR mempengaruhi parameter yang diamati.
- d. Pengumpulan dan Analisis Data: Data dari kedua skenario (dengan dan tanpa PFR) dibandingkan untuk menganalisis dampak PFR terhadap pengurangan lonjakan tegangan dan arus, serta perbaikan faktor daya

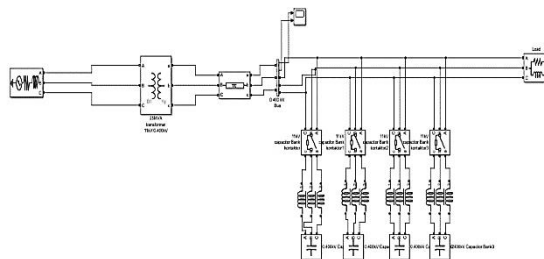
**E. Instrumen dan Perangkat Lunak**

- a. Perangkat Lunak Simulasi: MATLAB/Simulink digunakan sebagai platform utama untuk melakukan simulasi dan pengukuran.
- b. Instrumen Analisis: Instrumen yang digunakan untuk mengukur dan menganalisis tegangan, arus, dan faktor daya.

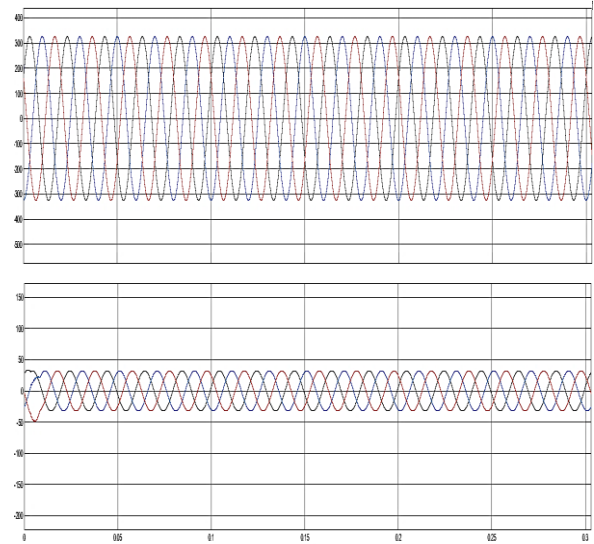
**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**1. Hasil Simulasi Switching Kapasitor Bank**

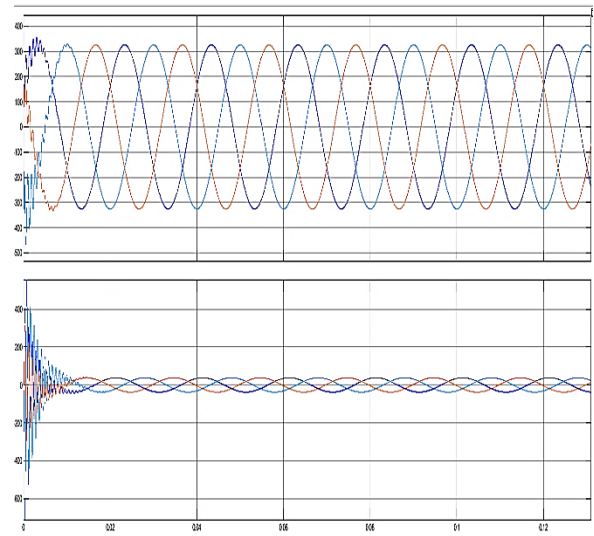
Simulasi yang dilakukan pada sistem tenaga listrik dengan kapasitor bank menunjukkan bahwa proses switching dapat menimbulkan fluktuasi tegangan yang signifikan. Pada saat kapasitor bank diaktifkan, terjadi lonjakan tegangan yang dapat mencapai beberapa persen dari tegangan nominal sistem. Fluktuasi ini terjadi karena adanya transien yang dihasilkan saat kapasitor bank terhubung ke jaringan. Arus transien yang tinggi juga diamati selama proses switching, yang dapat berdampak negatif pada peralatan yang terhubung. Dalam analisa perencanaan Panel daya listrik menggunakan Kapasitor Bank ke peralatan diambil berdasarkan data yang akan dirancang. Berdasarkan data, Daya aktif = 15 kW ( Cos φ = 0,95), Daya Reaktif = 9,3 kVAR ( Cos φ = 0,95), Daya Semu = 17,65 kVA ( Cos φ = 0,95), Tegangan = 400 V ( 3 phasa), Target Cos φ = 0,95, Cos φ awal = 0,85, jarak beban = 5 meter, Arus Kapasitor 4 kVAR = 22,8 A maka (1 Kapasitor = 5,7 A x 4), Maka kapasitor ( 4 x 4 kVAR)



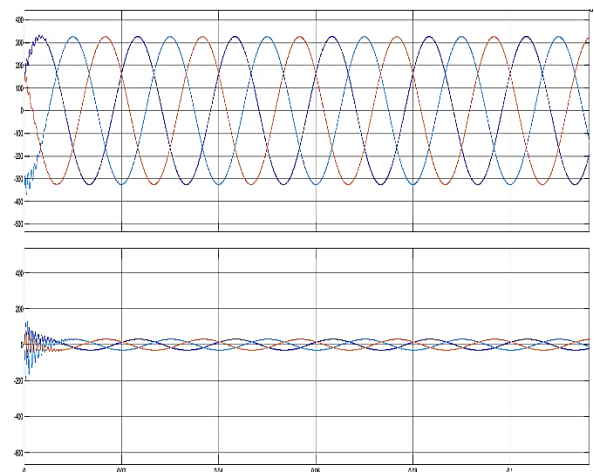
Gambar. 1. Pengujian Simulasi menggunakan Simulink Matlab



Gambar. 2. Hasil Simulasi pengoperasian Tanpa Power Regulator



Gambar.3 Hasil Simulasi switching Power Factor Regulator menggunakan 1 Kapasitor Bank



Gambar.4 Simulasi switching Power Factor Regulator menggunakan 3 Kapasitor Bank

## 2. Pengaruh Power Factor Regulator terhadap Kualitas Daya

Ketika power factor regulator digunakan untuk mengendalikan switching kapasitor bank, hasil simulasi menunjukkan perbaikan yang signifikan dalam kualitas daya. Penggunaan power regulator berhasil mengurangi amplitudo lonjakan tegangan dan arus transien yang dihasilkan selama switching. Dengan pengaturan yang tepat, power regulator mampu meredam fenomena transien sehingga tegangan dan arus kembali stabil dalam waktu yang lebih singkat.

Tabel 1. Kapasitor Bank Dengan Power Factor Regulator

Status Kondisi	Tegan 3 fasa (volt)	RMS (V)	RMS (I)	P (watt)	Q kVAR	Pf
Kapasitor bank -I	400	230.4	23.88	1.493	696.7	0,9063
(Close)	400	230.4	23.88			
Kapasitor bank-II	400	230.3	22.05	1.494	299.1	0,9806
(Close)	400	230.3	22.05			
Kapasitor bank-III	400	230.3	21.65	1.492	991.2	0,9978
(close)	400	230.3	21.65			
Kapasitor bank-IV	400	28.9	22.75	1.491	497	0,9487
(close)	400	238.9	22.75			

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran dari sistem kapasitor bank yang dikontrol oleh Power Factor Regulator pada berbagai kondisi. Tabel ini mencatat parameter seperti tegangan tiga fasa (400 volt), arus RMS (sekitar 230 V), dan daya aktif (P), reaktif (Q), serta faktor daya (Pf) pada beberapa konfigurasi kapasitor bank (I, II, III, dan IV).

1. Pada Kapasitor bank-I (close), faktor daya mencapai 0,9063 dengan daya reaktif (Q) sebesar 696,7 kVAR.
2. Kapasitor bank-II menunjukkan faktor daya lebih baik (0,9806) dengan daya reaktif lebih rendah (299,1 kVAR).
3. Kapasitor bank-III menghasilkan faktor daya mendekati ideal (0,9978) dengan daya reaktif tertinggi (991,2 kVAR).
4. Kapasitor bank-IV mencatat faktor daya 0,9487 dengan daya reaktif sebesar 497 kVAR.

Perubahan konfigurasi kapasitor bank berdampak pada peningkatan faktor daya serta pengurangan daya reaktif yang dihasilkan.

## 3. Analisis Perbandingan Sebelum dan Sesudah Penggunaan Power Factor Regulator

Tabel 2. Kapasitor Bank Dengan Power Factor Regulator

Status Kondisi	Tegan 3 fasa (volt)	RMS (V)	RMS (I)	P (watt)	Q kVAR	Pf
Tanpa kapasitor bank	400	230.4	26.85	1.498	1.097	0,8068
	400	230.4	26.85			
	400	230.4	26.85			

Kapasitor bank -I	400	230.4	23.88	1.493	696.7	0,9063
(Close)	400	230.4	23.88			
Kapasitor bank-II	400	230.3	22.05	1.494	299.1	0,9806
(Close)	400	230.3	22.05			
Kapasitor bank-III	400	230.3	21.65	1.492	991.2	0,9978
(close)	400	230.3	21.65			
Kapasitor bank-IV	400	28.9	22.75	1.491	497	0,9487
(close)	400	238.9	22.75			

Tabel 2 menggambarkan pengaruh penggunaan kapasitor bank yang dikendalikan oleh Power Factor Regulator terhadap parameter kelistrikan seperti tegangan, arus, daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan faktor daya (Pf).

1. **Tanpa kapasitor bank**, faktor daya cukup rendah (0,8068) dengan daya reaktif (Q) sebesar 1.097 kVAR dan arus RMS (I) yang tertinggi di antara semua kondisi (26,85 A).
2. **Kapasitor bank-I (close)** meningkatkan faktor daya menjadi 0,9063 dengan daya reaktif berkurang hingga 696,7 kVAR.
3. **Kapasitor bank-II (close)** lebih efisien dengan faktor daya 0,9806 dan daya reaktif hanya 299,1 kVAR.
4. **Kapasitor bank-III (close)** mencapai faktor daya hampir sempurna (0,9978) dengan daya reaktif tertinggi (991,2 kVAR).
5. **Kapasitor bank-IV (close)** menunjukkan faktor daya 0,9487 dengan daya reaktif 497 kVAR.

Penerapan kapasitor bank secara bertahap meningkatkan faktor daya dan mengurangi daya reaktif serta arus yang dibutuhkan sistem.

## 4. Diskusi Implementasi di Lapangan

Meskipun simulasi menunjukkan hasil yang positif, implementasi power regulator di lapangan perlu mempertimbangkan beberapa faktor tambahan. Di antaranya adalah biaya pemasangan, kompleksitas pengaturan, serta kebutuhan pemeliharaan jangka panjang. Selain itu, penyesuaian parameter power regulator yang sesuai dengan kondisi spesifik sistem tenaga di lapangan juga menjadi kunci keberhasilan implementasi. Pengujian lebih lanjut pada kondisi nyata akan membantu memvalidasi temuan dari simulasi dan memastikan bahwa peralatan bekerja optimal dalam berbagai kondisi operasi.

## V. KESIMPULAN

Switching kapasitor bank dalam sistem tenaga listrik menyebabkan fenomena transien yang signifikan, termasuk lonjakan tegangan dan arus. Tanpa pengaturan yang tepat, transien ini dapat berdampak negatif pada kualitas daya dan stabilitas sistem, berpotensi menyebabkan gangguan operasional dan kerusakan pada peralatan listrik. Penggunaan Power



Factor Regulator (PFR) terbukti efektif dalam meredam dampak negatif dari transien yang terjadi selama switching kapasitor bank. PFR mampu mengurangi amplitudo lonjakan tegangan dan arus, serta mempercepat pemulihan sistem ke kondisi stabil, sehingga meningkatkan efisiensi dan kualitas daya. Implementasi PFR dalam desain dan operasi sistem tenaga listrik sangat direkomendasikan, terutama dalam sistem yang menggunakan kapasitor bank. PFR tidak hanya membantu dalam pengaturan faktor daya tetapi juga berfungsi sebagai mekanisme mitigasi terhadap transien, sehingga meminimalkan risiko gangguan dan meningkatkan efisiensi operasional sistem. Meskipun hasil penelitian menunjukkan efektivitas PFR, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menguji kinerja PFR dalam berbagai kondisi operasional yang lebih kompleks dan realistis. Pengujian lapangan pada sistem nyata akan membantu memvalidasi hasil simulasi dan memastikan bahwa PFR dapat diimplementasikan secara optimal dalam berbagai skenario operasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. R. Tur, "Solution Methods and Recommendations for Power Quality Analysis in Power Systems Journal of Engineering and Technology Solution Methods and Recommendations for Power Quality Analysis in Power Systems," no. December 2018, 2019.
- [2] M. Heis, "Power factor correction using capacitors," *Energy Eng. J. Assoc. Energy Eng.*, vol. 86, no. 3, pp. 59–70, 1989.
- [3] S. A. Ali, "Capacitor Banks Switching Transients in Power Systems," *Energy Sci. Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 62–73, 2011, doi: 10.3968/j.est.1923847920110202.121.
- [4] I. K. M. Prah and J. C. Attachie, "Effect of Switching Devices on Power Quality and Transient Voltage Suppression Using Capacitor Bank Model," *J. Power Energy Eng.*, vol. 10, no. 05, pp. 77–89, 2022, doi: 10.4236/jpee.2022.105006.
- [5] I. Nisja, M. Zoni, and Armita, "Study of Capacitor Bank Switching Transient in Distribution Network," *MATEC Web Conf.*, vol. 248, pp. 4–10, 2018, doi: 10.1051/mateconf/201824802004.
- [6] T. Ghanbari, E. Farjah, F. Naseri, N. Tashakor, H. Givi, and R. Khayam, "Solid-State Capacitor Switching Transient Limiter based on Kalman Filter algorithm for mitigation of capacitor bank switching transients," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 90, no. March, pp. 1069–1081, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.019.
- [7] Barath C M K, Indhu Vadhana S, Siran P, Vignesh A G, and Dr.Radha M, "Voltage Regulation and Power Factor Enhancement for EV Charging Station by Using Optimization Algorithm," *Int. Res. J. Adv. Eng. Hub*, vol. 2, no. 03, pp. 662–671, 2024, doi: 10.47392/irjaeh.2024.0096.
- [8] S. Garip, Ş. Özdemir, and N. Altın, "Power system reliability assessment - A review on analysis and evaluation methods," *J. Energy Syst.*, vol. 6, no. 3, pp. 401–419, 2022, doi: 10.30521/jes.1099618.
- [9] M. Abedini, M. Davarpanah, A. Sepehr, and F. B. Ajaei, "Shunt capacitor bank: Transient issues and analytical solutions," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 120, p. 106025, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2020.106025>.
- [10] H. Saadat, "Power System Analysis - Hadi Saadat.pdf," pp. 1–720, 1999.
- [11] C. M. Coman, A. Florescu, and C. D. Oancea, "Improving the efficiency and sustainability of power systems using distributed power factor correction methods," *Sustain.*, vol. 12, no. 8, pp. 1–20, 2020, doi: 10.3390/SU12083134.
- [12] Y. Panggei, Y. R. Pasalli, F. Y. S. Paisey, and A. Rehiara, "Power factor correction for energy efficient at public hospital of Manokwari," *J. Innov. Mater. Energy, Sustain. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 20–34, 2023, doi: 10.61511/jimese.v1i1.2023.33.
- [13] M. Kalhari, H. E. Bandara, and S. Ediriweera, "Power Factor Improvement of Industrial Loads using a Capacitor Bank and a Solar PV System," *Int. Conf. Adv. Technol. Comput.*, no. December, pp. 7–11, 2022.
- [14] S. Bisanovic, M. Hajro, and M. Samardzic, "One approach for reactive power control of capacitor banks in distribution and industrial networks," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 60, pp. 67–73, 2014, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.02.039.
- [15] I. Roza, "Analisis Penurunan Cos phi dengan menentukan Kapasitas Kapasitor Bank Pada Pembangkit Tenaga Listrik Pabrik Kelapa Sawit (PKS) Decrease Analysis of Cos phi by determining the Capacitive Capacity of Banks in Oil Palm Pabrik Kelapa Sawit (PKS)," *J. Electr. Syst. Control Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–10, 2018, [Online]. Available: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jesce>
- [16] A. Yani, "Improvement of Load Power Factor by Using Capacitor," *IOSR J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 12, no. 01, pp. 30–34, 2017, doi: 10.9790/1676-1201043034.
- [17] A. O. Akinrinde, A. Swanson, and R. Tiako, "Transient Analysis and Mitigation of Capacitor Bank Switching on a Standalone Wind Farm," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 10, no. 4, pp. 535–544, 2016, [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1124019>
- [18] I. Roza, I. D. Sara, T. Tarmizi, and N. Nasaruddin, "Hysteresis Amplifier Model to Eliminate Multi-switching on IGBT Work," in *2023 10th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 2023, pp. 104–109, doi: 10.1109/EECSI59885.2023.10295709.
- [19] S. Rakesh, "ELECTRICAL CIRCUIT ANALYSIS Lecture Notes Prepared By," *Electr. Circuit Anal.*, vol. 1, no. 2, pp. 1–135, 2019.
- [20] M. Y. Naqash and Z. Rashid, "PI Controller Based Automatic Power Factor Correction (APFC) Using Capacitor Bank," *Electr. Control Commun. Eng.*, vol. 19, no. 1, pp. 40–48, 2023, doi: 10.2478/ece-2023-0006.
- [21] M. P. B. Mali and M. N. S. Mahajan, "Improving the Voltage Stability and Performance of FACTS Controller in Transmission Line Network," *Int. J. Adv. Eng. Res. Sci.*, vol. 4, no. 1, pp. 5–11, 2016, doi: 10.22161/ijaers.4.1.2.
- [22] Y. Al Mashhadany, A. K. Abbas, and S. Algburi, "Study and Analysis of Power System Stability Based on FACT Controller System," *Indones. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 10, no. 2, pp. 317–332, 2022, doi: 10.52549/ijeei.v10i2.3630.