

ANALISIS KARAKTERISITIK KAPASITOR BANK UNTUK MEMPERBAIKI KUALITAS DAYA PADA SALAH SATU PENYULANG DI GARDU INDUK SIDOARJO 150KV DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 19.0**Andy Surya Dharma¹, Rifqi Firmansyah², Fendi Achmad³, Joko⁴**

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

email : andy.19014@mhs.unesa.ac.id, rifqifirmansyah@unesa.ac.id, fendiachmad@unesa.ac.id, joko@unesa.ac.id**Abstract (English)**

The increasing demand for electrical energy requires reliable power quality to ensure the stability and efficiency of power systems. One of the common issues in distribution networks is low power factor, which leads to higher power losses, voltage drops, and reduced system efficiency. Capacitor banks are widely applied as a corrective device to supply reactive power, thereby reducing line current and improving overall power quality. This study aims to analyze the characteristics of capacitor banks on one feeder at the Sidoarjo 150 kV Substation and to evaluate their performance in improving power quality using ETAP 19.0 software. The research method involves collecting transformer and load data, followed by simulation under two scenarios: capacitor bank disconnected (OFF) and capacitor bank connected (ON). The analysis focuses on changes in power factor, voltage profile, and power losses within the system. The simulation results show that the installation of a capacitor bank is able to improve the power factor from the initial condition of 0.9737 to the target value of 0.9745, reduce the network current from the initial value of 431.8 A to 431.4 A, improve the voltage profile at the load bus from the initial condition of 146 kV to 146.2 kV, and enhance power quality from the initial value of 551,8 kW to 550,9 kW. Therefore, the capacitor bank is proven to be effective as a reactive power compensation device for improving power quality in the distribution system at Sidoarjo Substation.

Article History

Submitted: 25 Januari 2026

Accepted: 28 Januari 2026

Published: 29 Januari 2026

Key Words

Capacitor bank, power quality, power factor, ETAP 19.0.

Abstrak (Indonesia)

Peningkatan kebutuhan energi listrik menuntut kualitas daya yang andal untuk menjaga keandalan sistem tenaga listrik. Salah satu permasalahan yang sering muncul pada jaringan distribusi adalah rendahnya faktor daya, yang dapat menyebabkan rugi-rugi daya, penurunan tegangan, serta menurunkan efisiensi sistem. Kapasitor bank digunakan sebagai solusi koreksi faktor daya dengan cara menyuplai daya reaktif sehingga arus jaringan berkurang dan kualitas daya meningkat. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik kapasitor bank pada salah satu penyulang di Gardu Induk Sidoarjo 150 kV serta mengevaluasi kinerjanya dalam memperbaiki kualitas daya menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0. Metode penelitian dilakukan melalui pengumpulan data trafo dan beban, kemudian disimulasikan dalam dua skenario, kapasitor bank tidak terpasang (OFF), dan kapasitor bank terpasang (ON). Analisis difokuskan pada perubahan faktor daya, profil tegangan, serta rugi-rugi daya pada sistem. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor bank mampu meningkatkan faktor daya dari kondisi awal 0,9737 hingga mencapai nilai target 0,9745, menurunkan arus jaringan dari kondisi awal 431,8 A hingga mencapai 431,4 A, memperbaiki profil tegangan pada bus beban dari kondisi awal 146 kV hingga mencapai 146,2 kV, memperbaiki kualitas daya dari kondisi awal 551,8 kW hingga mencapai 550,9 kW. Dengan demikian, kapasitor bank terbukti efektif sebagai perangkat kompensasi daya reaktif untuk meningkatkan kualitas daya pada sistem distribusi di Gardu Induk Sidoarjo.

Sejarah Artikel

Submitted: 25 Januari 2026

Accepted: 28 Januari 2026

Published: 29 Januari 2026

Kata Kunci

Kapasitor bank, kualitas daya, faktor daya, ETAP 19.0.

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk dan konsumsi energi listrik menyebabkan kenaikan beban pada sistem tenaga listrik, yang berdampak pada penurunan kualitas daya, terutama akibat rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi[1]. Kualitas daya yang rendah dapat memicu peningkatan arus, menurunkan efisiensi sistem, serta memperbesar risiko gangguan dan kerusakan peralatan listrik[2]. Salah satu metode yang efektif untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah perbaikan faktor daya melalui pemasangan kapasitor bank, yang berfungsi menyediakan daya reaktif sehingga arus jaringan dan rugi-rugi daya dapat dikurangi[3].

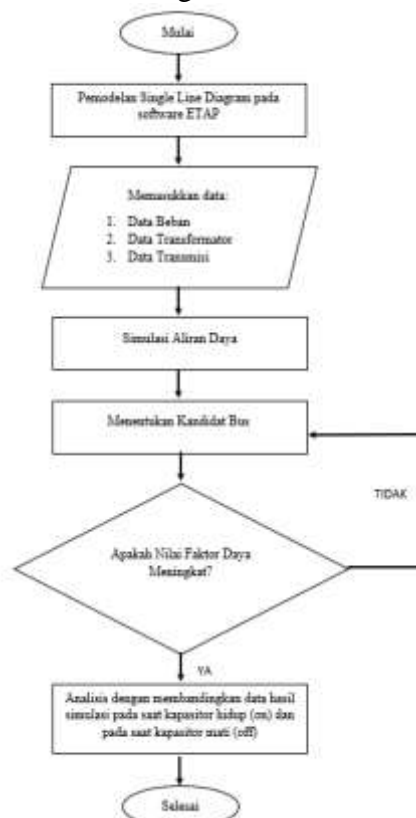
Gardu Induk 150 kV Sidoarjo merupakan bagian penting dari sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik PT PLN (Persero) yang melayani beban industri dan rumah tangga. Oleh karena itu, peningkatan keandalan dan kualitas daya pada gardu induk ini sangat diperlukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik dan kinerja kapasitor bank dalam memperbaiki kualitas daya pada Gardu Induk 150 kV Sidoarjo, sehingga dapat menjadi referensi teknis bagi pengelolaan dan pengembangan sistem tenaga listrik.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan simulasi. Data teknis berupa parameter transformator, beban, dan konfigurasi sistem dikumpulkan melalui observasi lapangan, wawancara, serta studi literatur. Sistem tenaga listrik kemudian dimodelkan dalam bentuk single line diagram menggunakan software ETAP 19.0.

Simulasi aliran daya (*load flow*) dilakukan dalam dua skenario, yaitu kondisi kapasitor bank tidak beroperasi (OFF) dan kondisi kapasitor bank beroperasi (ON). Parameter yang dianalisis meliputi faktor daya, profil tegangan, arus jaringan, dan rugi-rugi daya. Hasil simulasi dari kedua kondisi dibandingkan untuk menilai pengaruh pemasangan kapasitor bank terhadap kualitas daya sistem. Diagram alir simulasi pengkondisian kapasitor bank dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut.

Gambar 1 Diagram Alir Simulasi



Parameter Evaluasi

Perubahan karakteristik sistem tenaga listrik akibat pemasangan kapasitor bank memberikan sebuah perubahan yang sistematis. Sehingga diperlukan suatu ringkasan batas parameter yang mengacu pada standar dan literatur yang berlaku. Batas parameter setelah pemasangan kapasitor bank ditunjukkan pada Tabel 1 sebagai berikut[4].

Tabel 1 Batas Parameter setelah Pemasangan Kapasitor Bank

Parameter	Batas / Nilai Acuan
Tegangan sistem	142,5 – 157,5 kV ($\pm 5\%$)
Kenaikan tegangan	$\pm 1 - 5\%$
Arus sistem	\leq rating peralatan ($\pm 1000-2000$ A)
Penurunan arus	$\pm 5 - 20\%$
Faktor daya minimum	$\geq 0,85$
Faktor daya optimal	0,90 – 0,95

HASIL DAN PEMBAHASAN

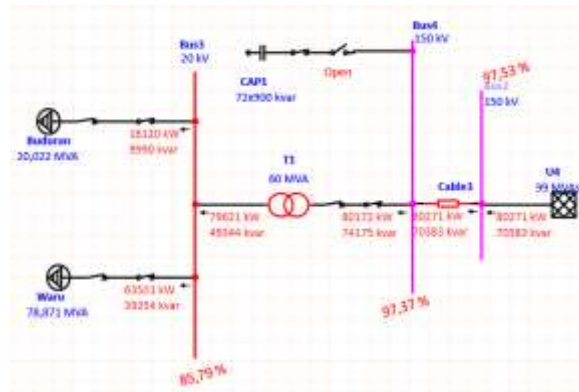
Analisis difokuskan pada karakteristik kinerja kapasitor bank pada Gardu Induk Sidoarjo, serta evaluasi kinerjanya menggunakan software ETAP 19.0. Simulasi dilakukan untuk mengevaluasi kondisi sistem tenaga listrik sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor bank, dengan tujuan memperbaiki profil tegangan, meningkatkan power factor, serta memperbaiki kualitas daya.

Karakteristik Kapasitor Bank pada Gardu Induk Sidoarjo

Kapasitor bank pada Gardu Induk Sidoarjo terdiri dari 72 unit kapasitor single-phase tipe ABB BAM 8.26-900-1W, yang dibagi menjadi 24 unit per fase. Setiap unit memiliki rating reactive power 900 kvar pada tegangan rated 8.26 kV, frekuensi 50 Hz, dan kapasitansi 42.72 μF . Total rating bank adalah 64.8 MVAR pada tegangan sistem 150 kV.

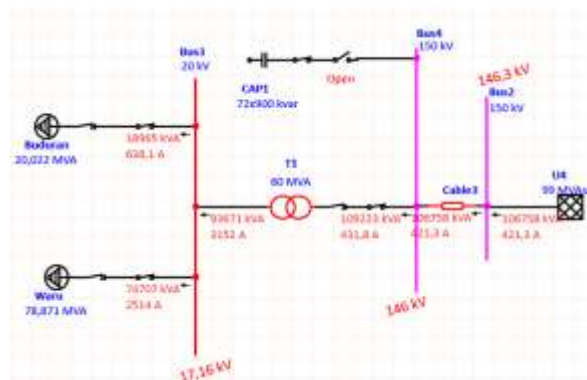
Desain dan standar kapasitor ini, diproduksi oleh ABB Xi'an Power Capacitor Co., Ltd., sesuai standar IEC 60871-1/2005. Unit ini menggunakan cairan flammable non-PCB (Faradol) sebagai dielektrik, dengan internal fuse untuk proteksi terhadap kegagalan internal dan discharge device yang terintegrasi. Dibuat pada Desember 2018, dengan deviasi kapasitansi $\pm 2\%$.

Konfigurasi pada kapasitor ini, unit-unit dihubungkan dalam rangkaian parallel per fase untuk menyesuaikan dengan tegangan 150 kV (phase-to-neutral sekitar 86.6 kV), dengan estimasi 10–11 unit series per string dan 2-3 parallel untuk mencapai 24 unit per fase. Ini memungkinkan bank menangani over voltage hingga 105% (157.5 kV max) dan suhu operasi -25°C hingga $+50^{\circ}\text{C}$. laju perubahan suhu selama proses pendinginan berlangsung.

Simulasi Kapasitor Bank dengan Software ETAP 19.0**1. Kapasitor Bank OFF (Open)**

Gambar 3 Simulasi Kapasitor Bank OFF
(Nilai Daya Aktif, Daya Reaktif, dan Faktor Daya)

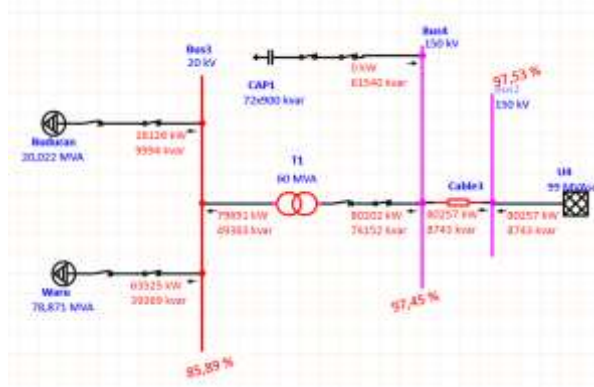
Dari Gambar 3 dapat dilihat jika pada bus 4 (150 kV), sistem menerima suplai daya aktif sebesar 80,27 MW dan daya reaktif 70,38 MVar dengan faktor daya 0,9753. Melalui transformator daya 60 MVA, daya yang disalurkan tercatat sebesar 80,17 MW dan 74,17 MVar, dengan faktor daya 0,9737, yang menunjukkan aliran daya reaktif masih cukup besar. Pada sisi bus 20 kV, total daya aktif yang disuplai ke GI Buduran dan GI Waru mencapai 79,6 MW dengan kebutuhan daya reaktif 49,3 MVar, serta faktor daya sebesar 0,8579.



Gambar 4 Simulasi Kapasitor Bank OFF
(Nilai Daya Semu, Arus, dan Profil Tegangan)

Dari Gambar 4 dapat dilihat jika Pada bus 4 (150 kV), hasil simulasi menunjukkan profil tegangan sebesar 146 kV dengan daya semu 109.223 kVA dan arus 431,8 A yang mengalir menuju transformator. Pada sisi bus 20 kV, transformator menyuplai beban GI Buduran dan GI Waru dengan tegangan 17,16 kV, daya semu total sekitar 93.671 kVA, dan arus sebesar 3.152 A. Ditinjau dari profil tegangan, bus 20 kV mengalami undervoltage dengan tegangan hanya mencapai sekitar 85,8% dari nilai nominal, yang berpotensi mempengaruhi kinerja peralatan distribusi. Sebaliknya, tegangan pada bus 150 kV berada pada kisaran 146–146,3 kV atau sekitar 97% dari tegangan nominal, sehingga masih memenuhi batas toleransi operasi sistem transmisi.

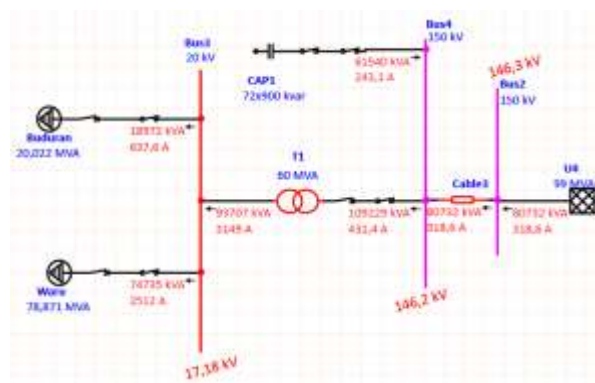
2. Kapasitor Bank ON (Close)



Gambar 5 Simulasi Kapasitor Bank ON
(Nilai Daya Aktif, Daya Reaktif, dan Faktor Daya)

Dari Gambar 5 hasil simulasi menunjukkan bahwa pada Bus 4 (150 kV), daya aktif yang disuplai sebesar 80,257 MW dengan daya reaktif turun menjadi 8,743 MVar, menghasilkan faktor daya sebesar 0,9745. Kapasitor bank memberikan kontribusi daya reaktif sebesar 61,4 MVar, sehingga aliran daya reaktif menuju transformator dapat ditekan. Transformator daya 60 MVA kemudian menyalurkan daya aktif sebesar 79,651 MW dengan daya reaktif 49,363 MVar ke Bus 3 (20 kV).

Pada sisi beban, total daya aktif yang disalurkan ke GI Buduran dan GI Waru tetap relatif konstan sekitar 80 MW, menunjukkan bahwa pengoperasian kapasitor bank tidak memengaruhi konsumsi daya aktif. Namun, aliran daya reaktif pada saluran dan transformator mengalami penurunan signifikan, yang berdampak pada peningkatan faktor daya dan perbaikan profil tegangan sistem.



Gambar 6 Simulasi Kapasitor Bank ON
(Nilai Daya Aktif, Daya Reaktif, dan Faktor Daya)

Dari Gambar 6 dapat dilihat jika hasil simulasi menunjukkan bahwa pada sisi tegangan tinggi 150 kV, sumber menyalurkan daya semu sebesar 80.732 kVA dengan arus 318,6 A. Pada Bus 4 (150 kV), profil tegangan tercatat sebesar 146,2 kV dengan daya semu 109.229 kVA dan arus 431,4 A menuju transformator T1. Transformator daya berkapasitas 60 MVA menyalurkan daya semu sebesar 93.707 kVA pada sisi sekunder dengan arus 3.149 A, yang menunjukkan bahwa transformator masih beroperasi di bawah kapasitas nominalnya.

Pada sisi Bus 3 (20 kV), tegangan tercatat sebesar 17,18 kV. Transformator menyuplai beban GI Buduran dengan daya semu 18.792 kVA dan arus 637,6 A, serta GI Waru sebesar 74.735 kVA dengan arus 2.152 A. Nilai arus pada seluruh elemen

sistem berada dalam batas operasi yang aman, menandakan peningkatan efisiensi sistem setelah kapasitor bank dioperasikan.

Ditinjau dari profil tegangan, tegangan pada Bus 3, Bus 4, dan Bus 2 masing-masing sebesar 17,18 kV, 146,2 kV, dan 146,3 kV, yang masih berada dalam rentang toleransi $\pm 5\%$ dari tegangan nominal. Secara keseluruhan, kondisi kapasitor bank ON menyebabkan penurunan daya semu dan arus pada jaringan, mengurangi beban termal peralatan, serta memperbaiki profil tegangan. Hasil ini membuktikan bahwa pengoperasian kapasitor bank efektif dalam meningkatkan efisiensi sistem, menekan rugi-rugi daya, dan menjaga keandalan sistem tenaga listrik.

Perbedaan hasil simulasi dari kedua skenario ditunjukkan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2 Perbedaan Hasil Simulasi

Parameter	Kapasitor Bank OFF	Kapasitor Bank ON	Perbedaan / Perubahan
cos ϕ Tegangan Bus 3 (20 kV)	0,8579 (17,16 kV)	0,8589 (17,18 kV)	0,10 (0,2 kV)
cos ϕ Tegangan Bus 4 (150 kV)	0,9737 (146 kV)	0,9745 (146,2 kV)	0,08 (0,2 kV)
Daya Aktif dari Sumber (kW)	80.271 kW	80.257 kW	14 kW
Daya Reaktif dari Sumber (kVAr)	70.383 kVAr	8.743 kVAr	61.640 kVAr
Daya Reaktif Kapasitor Bank (kVAr)	0 kVAr	64.800 kVAr	64.800 kVAr
Daya Aktif Trafo T1 (kW)	79.621 kW	79.651 kW	30 kW
Daya Reaktif Trafo T1 (kVAr)	49.344 kVAr	49.363 kVAr	19 kVAr
Kondisi Faktor Daya Sistem	Baik	Meningkat	Membaik
Profil Tegangan Sistem	Baik	Meningkat	Membaik
Arus Jaringan	Tinggi	Lebih rendah	Menurun
Kualitas Daya	Tinggi	Menurun	Lebih Baik

Profil Tegangan

Profil tegangan sistem menunjukkan perbedaan antara kondisi kapasitor bank OFF dan ON. Pada kondisi OFF, tegangan Bus 3 (20 kV) mencapai nilai sebesar 17,16 kV dengan nilai cos ϕ mencapai 0,8579 dan Bus 4 mencapai nilai sebesar 146 kV dengan nilai cos ϕ sebesar 0,9737 akibat tingginya aliran daya reaktif dari beban induktif yang meningkatkan arus dan jatuh tegangan. Setelah kapasitor bank dioperasikan, tegangan Bus 3 meningkat menjadi 17,18 kV dengan nilai cos ϕ sebesar 0,8589 dan Bus 4 menjadi 146,2 kV dengan nilai cos ϕ sebesar 0,9745 sehingga menunjukkan bahwa suplai daya reaktif lokal oleh kapasitor bank mampu mengurangi jatuh tegangan dan meningkatkan kestabilan tegangan sistem.

Aliran Daya Aktif dan Reaktif

Hasil simulasi menunjukkan bahwa aliran daya aktif relatif tidak berubah antara kondisi kapasitor bank OFF dan ON, yaitu dari 80.271 kW menjadi 80.257 kW, sehingga pemasangan

kapasitor bank tidak memengaruhi kebutuhan daya aktif beban. Sebaliknya, aliran daya reaktif mengalami penurunan signifikan dari 70.383 kVAr menjadi 8.743 kVAr setelah kapasitor bank menyuplai sekitar 64.800 kVAr secara lokal. Penurunan daya reaktif ini mengurangi arus pada saluran dan transformator, sehingga menurunkan rugi-rugi daya dan meningkatkan efisiensi penyaluran energi listrik.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang dilakukan pada sistem tenaga listrik di Gardu Induk Sidoarjo 150 kV menggunakan perangkat lunak ETAP 19.0, dapat disimpulkan bahwa Kapasitor bank yang terpasang pada Gardu Induk 150 kV Sidoarjo terdiri dari 72 unit kapasitor single-phase tipe ABB BAM 8.26-900-1W dengan total kapasitas daya reaktif sebesar 64,8 MVAR. Kapasitor ini dirancang sesuai standar IEC 60871-1/2005 dan dilengkapi dengan sistem proteksi internal berupa fuse dan discharge device untuk menjamin keandalan dan keselamatan operasi. Konfigurasi rangkaian kapasitor disusun untuk menyesuaikan tegangan sistem 150 kV serta mampu beroperasi pada kondisi overvoltage hingga 105% dan rentang suhu operasi yang luas. Dengan spesifikasi dan konfigurasi tersebut, kapasitor bank ini layak dan andal digunakan sebagai perangkat kompensasi daya reaktif pada sistem transmisi Gardu Induk Sidoarjo.

Kondisi sistem tenaga listrik tanpa pengoperasian kapasitor bank CAP1 (OFF) menunjukkan aliran daya reaktif yang tinggi dari sumber utama sebesar ± 70.383 kVAr dengan daya aktif ± 80.271 kW, yang menyebabkan peningkatan arus jaringan serta penurunan profil tegangan, khususnya pada Bus 3 sisi 20 kV yang hanya mencapai nilai sebesar 17,16 kV dengan nilai $\cos \phi$ mencapai 0,8579, sementara tegangan Bus 4 mencapai nilai sebesar 146 kV dengan nilai $\cos \phi$ sebesar 0,9737. Setelah kapasitor bank CAP1 dioperasikan (ON), kapasitor bank mampu menyuplai daya reaktif secara lokal sebesar ± 64.800 kVAr sehingga daya reaktif dari sumber utama menurun drastis menjadi sekitar ± 8.743 kVAr dengan daya aktif relatif tetap sebesar ± 80.257 kW. Kondisi ini berdampak pada perbaikan profil tegangan sistem, yang ditunjukkan oleh peningkatan tegangan Bus 3 menjadi 17,18 kV dengan nilai $\cos \phi$ sebesar 0,8589 dan Bus 4 menjadi 146,2 kV dengan nilai $\cos \phi$ sebesar 0,9745. Secara keseluruhan, pengoperasian kapasitor bank CAP1 terbukti efektif dalam menurunkan aliran daya reaktif, meningkatkan faktor daya, memperbaiki profil tegangan, serta meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem tenaga listrik.

Saran

1. Pemeliharaan dan Monitoring Rutin. Inspeksi berkala pada capacitor bank (pemeriksaan kapasitansi unit, internal fuse, discharge resistor, dan isolasi) sesuai pedoman manufacturer ABB dan standar IEC 60871. Pasang sistem monitoring online (seperti sensor temperatur, unbalance current, atau power quality meter) untuk mendeteksi dini degradasi atau kegagalan unit, mengingatkan capacitor bank beroperasi pada tegangan tinggi 150 kV.
2. Optimalisasi Operasi Harian: Pertahankan capacitor bank dalam status ON selama kondisi beban normal hingga puncak (di atas 70-80% beban), karena manfaat kompensasi reaktif dan voltage support sangat signifikan. Hindari operasi terus-menerus pada beban sangat ringan tanpa pengawasan untuk mencegah leading power factor berlebih yang dapat menyebabkan kenaikan tegangan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. D. Nurmahandy, "Analisis Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Pada Penyulang Barata Pt Pln Ngagel Surabaya," Jurnal Teknik Elektro, vol. 10, no. 1, pp. 261-270, 2021.

- [2] A. Rofii and R. Ferdinand, “Analisa Penggunaan Kapasitor Bank Dalam Upaya Perbaikan Faktor Daya,” Jurnal Kajian Teknik Elektro, vol. 3, no. 1, pp. 39–51, 2018.
- [3] D. Frebiandi, “Analisis arus inrush akibat switching kapasitor bank di gardu induk sragen,” Analisis Arus Inrush Akibat Switching Kapasitor Bank Di Gardu Induk Sragen, 2018.
- [4] P. T. Pln, J. T. B. M-i, K. Baru, and J. Selatan, “DRAF POKJA II Buku Petunjuk Batasan Operasi dan Pemeliharaan Peralatan Penyaluran Tenaga Listrik KAPASITOR,” pp. 4–22, 2009.