

Pengurangan Rugi Daya pada Jaringan Distribusi Primer dengan Menggunakan Kapasitor Shunt 20 kV, 1200 kVAr

Iwa Noerdin^{1*}, Erwan Darmawan²

^{1,2}Universitas Faletahan, Jl. Raya Cilegon Drangong Serang – Banten, Kec. Kramatwatu, Kab. Serang, Banten
E-mail: Iwa.nugraha.wirawan69@gmail.com

* Corresponding Author

 <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i4.6250>

ARTICLE INFO

Article history

Received: 15 Mar 2026

Revised: 23 April 2026

Accepted: 04 May 2026

Kata Kunci:

Kapasitor, Shunt, Daya, Penyulang, Distribusi

Keywords:

Capacitor, Shunt, Power, Feeder, Distribution

ABSTRACT

Faktor daya rendah pada saluran gardu induk merupakan tantangan operasional kritis yang secara signifikan meningkatkan kerugian daya aktif, menurunkan profil tegangan, dan seringkali menimbulkan sanksi finansial dari penyedia utilitas. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis dan meningkatkan faktor daya pada saluran gardu induk tertentu melalui perencanaan strategis dan penerapan kapasitor shunt. Metodologi penelitian mencakup pemantauan profil beban harian berkelanjutan selama dua bulan pada perangkat pengukuran di lokasi. Setelah mengumpulkan data selama dua bulan, kami merata-ratakan data untuk setiap jam. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa faktor daya saluran awal sekitar 0,8 lagging berhasil ditingkatkan menjadi di atas 0,9 lagging setelah pemasangan bank kapasitor shunt 20 kV, 1200 kVAr pada bus saluran yang ditentukan. Implementasi korektif ini mengurangi kerugian daya sekitar 20%. Studi ini secara meyakinkan menunjukkan bahwa kompensasi daya reaktif melalui kapasitor shunt memberikan solusi yang sangat efektif untuk peningkatan faktor daya. Strategi ini sangat direkomendasikan untuk diintegrasikan ke dalam kerangka kerja manajemen energi gardu induk modern untuk mengoptimalkan efisiensi jaringan, meningkatkan keandalan sistem, dan mendukung operasi distribusi listrik yang berkelanjutan.

Low power factor on substation feeder represents a critical operational challenge that significantly increases active power losses, degrades voltage profile and frequently incurs financial penalties from utility providers. The study purpose was to analyze and improve the power factor of a specific substation feeder through the strategic planning and deployment of shunt capacitors. The research methodology encompasses two months of continuous daily load profile monitoring on site metering devices. After collecting data in two months, we average the data for every single our. Calculation results demonstrate that the initial feeder power factor of around 0,8 lagging was successfully elevated to above 0,9 lagging following the installation of a 20 kV, 1200 kVAr shunt capacitor bank at a designated feeder bus. This corrective implementation reduced power losses by about 20%. The study conclusively demonstrates that reactive power compensation via shunt capacitors provides a highly effective for power factor improvement. This strategy is strongly recommended for integration into modern substation energy management frameworks to optimize grid efficiency, enhance system reliability and support sustainable electrical distribution operation.



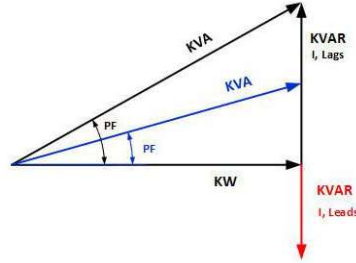
This is an open access article under the CC–BY-SA license.

How to Cite: Iwa Noerdin, et al (2026). Pengurangan Rugi Daya pada Jaringan Distribusi Primer dengan Menggunakan Kapasitor Shunt 20 kV, 1200 kVAr, 4(4) 24712-24717. <https://doi.org/10.31004/jerkin.v4i4.6250>

PENDAHULUAN

Dalam penyaluran daya listrik selain disalurkan daya nyata juga disalurkan daya reaktif. Daya reaktif ini bersifat induktif dan dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet pada peralatan listrik seperti motor, trafo dan peralatan lain yg bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik (Safrizal, 2015).

Jika daya reaktif yg mengalir pada saluran berlebihan, akan menimbulkan banyak kerugian diantaranya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan di sisi penerima atau beban. Untuk menekan kerugian tersebut diusahakan agar daya reaktif yg mengalir pada saluran berada pada suatu tingkat yg minimum dan itu bisa diperoleh dengan memasang kapasitor shunt. Hubungan ketiga daya tersebut dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Segitiga Daya

Dari gambar 1 di atas dapat ditulis :

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \text{ (VA)} \dots\dots\dots (1)$$

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \cos \phi \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (2)$$

$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \sin \phi \text{ (VAr)} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan :
 S : Daya Semu
 P ; Daya Aktif
 Q : Daya Reaktif
 ϕ : sudut segitiga daya

Dari formula (1), (2) dan (3) diatas dapat dihitung arus total (I), arus aktif ($I_a = I \times \cos \phi$) dan arus reaktif ($I_{re} = I \times \sin \phi$) saluran baik sebelum maupun sesudah dipasang kapasitor shunt. Rugi daya dapat dihitung :

$$Rugi \text{ daya} = I^2 \times R \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (4)$$

Setelah dipasang kapasitor shunt, daya reaktif saluran berkurang menjadi :

$$Q_2 = Q_1 - Q_c \dots\dots\dots (5)$$

Dengan:
 Q_1 = dara rekatif saluran sebelum dipasang kapasitor shunt.
 Q_2 = daya rekatif saluran setelah dipasang kapasitor shunt
 Q_c = daya reaktif yg dihasilkan kapasitor shunt.

Dengan diperoleh nilai Q_2 , maka daya semu dan faktor daya baru bisa diperoleh dengan cara:

$$\phi_2 = \arctan \frac{Q_2}{P} \dots\dots\dots (6)$$

$$S = \frac{Q_2}{\phi_2} \text{ (kVA)} \dots\dots\dots (7)$$

Arus reaktif (setelah dipasang kapasitor shunt) menjadi:

$$I_{re2} = I \sin \phi_2 \text{ (A)} \dots\dots\dots (8)$$

Sehingga diperoleh arus total sebesar;

$$I = \sqrt{(I_a^2 + I_{re2}^2)} \dots\dots\dots (9)$$

Maka rugi daya setelah dipasang kapasitor shunt dapat dihitung menggunakan persamaan (4) dan selisih kedua rugi daya tersebut diperoleh dengan mengurangkan rugi aya setelah dipasang kapasitor shunt dengan rugi daya sebelum dipasang kapasitor shunt.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan analisis dan simulasi pada sistem tenaga listrik. Data yang digunakan berupa data sekunder yang diperoleh dari pencatatan beban harian pada salah satu penyulang di gardu induk, meliputi parameter tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, dan faktor daya. Tahapan penelitian dimulai dari pengolahan data beban untuk menentukan kondisi beban puncak dan rata-rata, kemudian dilakukan perhitungan rugi-rugi daya awal pada saluran menggunakan persamaan $P_{loss} = I^2R$, yang merupakan metode umum dalam analisis rugi daya pada sistem distribusi (Safrizal, 2015). Selanjutnya dianalisis hubungan antara daya aktif, daya reaktif, dan daya semu untuk mengetahui kebutuhan kompensasi daya reaktif dalam sistem tenaga listrik (Electric Power Distribution Engineering). Pada tahap berikutnya dilakukan simulasi pemasangan kapasitor shunt berkapasitas 1200 kVA pada penyulang tersebut untuk mengurangi aliran daya reaktif, sebagaimana umum digunakan dalam perbaikan faktor daya dan efisiensi sistem distribusi (Electric Power Distribution Engineering). Setelah itu dihitung kembali nilai daya reaktif, arus saluran, serta rugi-rugi daya setelah kompensasi. Hasil perhitungan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor shunt kemudian dibandingkan untuk mengetahui besarnya penurunan rugi-rugi daya, perbaikan faktor daya, serta pengaruh terhadap tegangan pada sisi beban. Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dan komparatif dengan menghitung persentase efisiensi penurunan rugi-rugi daya, sehingga dapat diperoleh kesimpulan mengenai efektivitas pemasangan kapasitor shunt dalam meningkatkan efisiensi penyaluran daya listrik pada penyulang tersebut. Pendekatan ini juga sejalan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa pemasangan kapasitor shunt dapat mengurangi losses dan meningkatkan profil tegangan pada jaringan distribusi (Haris Ariwata, 2024; Herawati & Nur, 2019).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini penulis mengambil data pada penyulang IGI yg ada di Gardu Induk Pulogadung. Kabel yang digunakan pada penyulang IGI adalah XLPE dengan data sebagai berikut:

Tabel 1. Pada $f = 50$ hz

Ukuran (mm ²)	Tahanan (ohm/km)	Reaktansi (ohm/km)
150	0,23	0,091

Adapun data beban harian pada penyulang IGI adalah sebagai berikut:

Tabel 2.

Jam	Tegangan (kV)	Arus (A)	Faktor Daya (Cos ϕ)
01	20	110	0,826
02	20	110	0,826
03	20	110	0,826
04	20	110	0,826
05	20	110	0,826
06	20	120	0,832
07	20	120	0,832
08	20	125	0,832
09	20	125	0,828
10	20	115	0,828
11	20	115	0,828
12	20	115	0,816
13	20	110	0,816
14	20	95	0,804
15	20	95	0,804
16	20	110	0,8
17	20	90	0,813
18	20	95	0,813
19	20	95	0,824
20	20	95	0,824
21	20	90	0,8

22	20	90	0,8
23	20	95	0,824
24	20	95	0,824

Sumber: GI. Pulogadung

Berdasarkan data pada tabel di atas, dapat dihitung arus reaktif dan rugi daya sebagai berikut:

$$I_r = I \times \sin \phi$$

Untuk jam 01 :

$$\phi = \arccos 0,826$$

$$\phi = 34,31^\circ$$

$$I_r = 110 \times \sin 34,31^\circ = 62,004 \text{ A}$$

$$\text{Rugi Daya} = I^2 \times R = 110^2 \times 1,035 \text{ watt}$$

$$R = 4500 \text{ km} \times 0,23 \text{ ohm/km} = 1,035 \text{ ohm}$$

Untuk jam berikutnya diperoleh dengan cara yg sama.

Tabel 3.

Jam	Arus Reaktif (A)	Rugi Daya (kW)
01	62,004	12,52
02	62,004	12,52
03	62,004	12,52
04	62,004	12,52
05	62,004	12,52
06	66,570	14,90
07	66,570	14,90
08	69,355	16,17
09	70,091	16,17
10	64,483	13,69
11	64,483	13,69
12	66,475	13,69
13	63,585	12,52
14	56,489	9,34
15	56,489	9,34
16	66,000	12,52
17	52,400	8,34
18	55,315	9,34
19	53,826	9,34
20	53,826	9,34
21	54,000	8,38
22	54,000	8,38
23	53,826	9,34
24	53,826	9,34

Kapasitor shunt yang diusulkan adalah kapasitor 3 fasa, 20 kV, 1200 kVAr.

Arus reaktif kapasitor tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_c = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \cdot V_L}$$

$$= \frac{1200 \text{ kVAr}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}}$$

$$= 34,64 \text{ A}$$

Arus reaktif pada jam 01 dapat diperoleh dengan mengurangkan arus reaktif sebelum dipasang kapasitor dengan arus reaktif kapasitor,

$$I_{r2} = I_r - I_c$$

$$I_{r2} = 62,004 - 34,64 = 27,364 \text{ A}$$

Untuk jam-jam berikutnya diperoleh dengan cara yg sama.

Dengan adanya arus kapasitor sebesar 34,64 ampere maka arus reaktif di saluran akan berkurang sebesar arus kapasitor tersebut yg pada gilirannya akan mengurangi arus total sebab faktor daya juga berkurang. Dengan berkurangnya arus total pada jaringan, maka rugi – rugi daya saluran akan berkurang dan hasil perhitungan rugi daya pada saluran diperlihatkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.

Jam	Arus Reaktif (A)	Faktor Daya	Arus Total (A)	Rugi Daya (kW)
01	27,364	0,958	94,89	9,32
02	27,364	0,958	94,89	9,32
03	27,364	0,958	94,89	9,32
04	27,364	0,958	94,89	9,32
05	27,364	0,958	94,89	9,32
06	31,93	0,952	104,82	11,37
07	31,93	0,952	104,82	11,37
08	34,715	0,948	109,00	12,30
09	35,451	0,946	109,40	12,39
10	29,843	0,954	99,78	10,30
11	29,843	0,954	99,78	10,30
12	31,835	0,947	99,10	10,16
13	28,945	0,952	94,28	9,20
14	21,849	0,961	79,44	6,53
15	21,849	0,961	79,44	6,53
16	31,36	0,942	93,42	9,03
17	17,76	0,972	75,29	5,87
18	20,675	0,960	79,95	6,62
19	19,186	0,971	80,61	6,73
20	19,186	0,971	80,61	6,73
21	19,36	0,966	74,53	5,75
22	19,36	0,966	74,53	5,75
23	19,186	0,971	80,61	6,73
24	19,186	0,971	80,61	6,73

Selisih rugi daya

Tabel 5.

Jam	Rugi Daya Sebelum Dipasang Kapasitor Shunt (kW)	Rugi Daya Setelah Dipasang Kapasitor Shunt (kW)	Selisih Rugi Daya (kW)
01	12,52	9,32	3,2
02	12,52	9,32	3,2
03	12,52	9,32	3,2
04	12,52	9,32	3,2
05	12,52	9,32	3,2
06	14,90	11,37	3,3
07	14,90	11,37	3,3
08	16,17	12,30	3,87
09	16,17	12,39	3,78
10	13,69	10,30	3,39
11	13,69	10,30	3,39
12	13,69	10,16	3,53
13	12,52	9,20	3,32
14	9,34	6,53	2,81
15	9,34	6,53	2,81
16	12,52	9,03	3,49
17	8,34	5,87	2,47

18	9,34	6,62	2,72
19	9,34	6,73	2,61
20	9,34	6,73	2,61
21	8,38	5,75	2,63
22	8,38	5,75	2,63
23	9,34	6,73	2,61
24	9,34	6,73	2,61

SIMPULAN

Dengan dipasangnya kapasitor shunt, daya reaktif yang mengalir pada saluran dapat dikurangi sehingga arus total sistem menurun dan pada akhirnya menyebabkan rugi-rugi daya pada saluran juga berkurang. Penurunan aliran daya reaktif ini terbukti dapat meningkatkan efisiensi sistem serta memperbaiki profil tegangan pada jaringan distribusi tenaga Listrik (Astrid et al., 2018) Selain itu, kapasitor shunt berfungsi sebagai kompensator daya reaktif yang mampu memperbaiki faktor daya dan menekan rugi-rugi daya akibat beban induktif Namun demikian, penentuan kapasitas kapasitor harus dilakukan secara tepat agar faktor daya dapat ditingkatkan mendekati satu tanpa menyebabkan kondisi overkompensasi (leading), sehingga sistem tetap berada dalam kondisi lagging yang aman dan stabil. Perencanaan penggunaan kapasitor bank juga perlu dilakukan secara matang karena pertumbuhan beban di masa mendatang dapat meningkatkan kebutuhan daya reaktif, sehingga diperlukan penentuan kapasitas dan lokasi pemasangan yang optimal untuk menjaga efisiensi dan keandalan sistem distribusi (Astrid et al., 2018)

REFERENSI

- Al-Ammar, E. A., Ghazi, G. A., & Ko, W. (2018). Impact of ambient temperature on shunt capacitor placement in a distorted radial distribution system. *Energies*, 11(6). <https://doi.org/10.3390/en11061585>
- Astrid, E., Dewi, C., & Maulana, R. (2018). Optimal Placement dan Sizing Kapasitor pada Sistem Radial Distribusi Listrik Untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya Menggunakan Metode Modified Particle Swarm Optimization (MPSO).
- Haris Ariwata, N. P. A. R. S. (2024). Optimilisasi Penempatan Kapasitor Untuk Meningkatkan Profil Tegangan Pada Jaringan Distribusi 20 KV. *Sinarfe* 7, 52–58. (<https://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/view/639>).
- Herawati, Y., & Nur, G. (2019). Optimasi Penempatan Kapasitor Pada Sistem Tegangan Menengah Regional Jawa Barat.
- Nath Dhakal, M., & Ghimire, R. (2019). Efficiency Improvement on a Distribution Feeder: A Case Study (Vol. 15, Number 3).
- Oyedoh, M. O., & Obasohan, O. (2023). Evaluating Technical Losses Arising from Power Factor Fluctuations: A Case Study of the Nekpenekpen 33/11 kV Injection Substation. *NIPES - Journal of Science and Technology Research*, 5(2), 367–377. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8074934>
- Safrizal. (2015). Automatic Power Factor Control (APFR) Kapasitor Shunt Untuk Optimalisasi Daya Reaktif Menggunakan Metode Invoice (Vol. 6, Number 2).
- Sepia Putri, B., Yuana Dewi, A., & Nur Putra, A. M. (2025). Enhancing Power Quality through Power Factor Correction Using Shunt Capacitor Banks: A Case Study at 150 kV Pauh Limo Substation. *Southeast Asian Journal of Advance Engineering and Technology Original Research*, 2(2), 60–65.
- Zhou, Y., Huang, Z., Xiang, Y., Wei, Z., You, X., Li, Q., Li, X., & Liu, J. (2026). Incentive V2G pricing considering the opportunity cost irrational perception distortion of ride-hailing vehicles. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 177. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2026.111776>