

Efektifitas Pemasangan Kapasitor di Gardu Induk Terhadap Kualitas Daya di Jaringan Transmisi

Andi M. Nur Putra*, Bella Sefia Putri
Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang
Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo, Padang, Indonesia
E-mail: andimnurputra@itp.ac.id

Informasi Artikel

Diserahkan tanggal:
5 Januari 2021

Direvisi tanggal:
10 Januari 2021

Diterima tanggal:
22 Januari 2021

Dipublikasikan tanggal:
31 Januari 2021

Digital Object Identifier:
10.21063/JTE.2021.31331006



Abstrak

Kasus penurunan tegangan pada saluran transmisi dapat menyebabkan penurunan nilai faktor daya. Ketika nilai faktor daya rendah pada suatu instalasi listrik dapat merugikan sistem tenaga. Secara teoritis sistem dengan faktor daya yang rendah tentunya akan menyebabkan arus yang dibutuhkan dari penyalur menjadi besar. Oleh karena itu untuk membantu memperbaiki nilai faktor daya yang rendah pada GI pauh Limo dipasang kapasitor shunt yang dapat mensuplai energi pada penghantar Indarung (1 dan 2) penghantar Simpang haru (1 dan 2), penghantar PIP dan penghantar Lubuk Alung. Dari simulasi yang dilakukan ditemukan nilai faktor daya rendah terdapat pada penghantar Indarung (1 dan 2) dan PIP dengan nilai $\cos \phi$ Indarung 1 0,78, Indarung 2 0,72, PIP 0,64. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor shunt pada GI pauh limo didapatkan nilai faktor daya dari Indarung (1 dan 2) yaitu 0,98 dengan 26 Mvar dan 0,83 dengan 12 Mvar, PIP 0,78 dengan 5 Mvar. Jadi dengan melakukan pemasangan kapasitor shunt dapat meningkatkan atau memperbaiki nilai penurunan faktor daya. Namun setelah dilihat dari $\cos \phi$ SPLN yakni 0,85 penghantar Indarung 2 dan PIP belum memenuhi syarat untuk perbaikan faktor daya, hal ini disebabkan karena kapasitas kapasitor yang terpasang pada GI saat ini belum memadai.

Kata kunci: Kualitas daya, kapasitor shunt, faktor daya, perbaikan daya.

1. PENDAHULUAN

Energi listrik mempunyai peranan yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Berbagai peralatan dengan energi listrik memberi kemudahan kepada manusia dalam melaksanakan aktivitasnya. Beban listrik umumnya merupakan beban induktif yang membutuhkan daya reaktif disamping daya aktif. Daya reaktif itu merupakan daya tidak berguna sehingga tidak dapat dirubah menjadi tenaga akan tetapi diperlukan untuk proses transmisi energi listrik pada beban. Penjumlahan kedua daya aktif dan reaktif akan menghasilkan daya nyata yang merupakan daya yang disuplai oleh PLN [1]. Faktor daya yang rendah pada suatu instalasi listrik merugikan sistem tenaga. Secara teoritis sistem dengan faktor daya yang rendah tentunya akan menyebabkan arus yang dibutuhkan dari penyalur menjadi besar [2]. Oleh karena itu PLN mensyaratkan pelanggan agar PF minimal adalah 0,8. Jika PF kurang dari angka tersebut, maka PLN akan menagih biaya KVAR yang dipakai konsumen [3-6].

Alternatif untuk mengurangi akibat dari meningkatnya arus reaktif adalah dengan melakukan kompensasi daya reaktif, yang bertujuan untuk transportasi daya reaktif pada jaringan tenaga listrik dan menjaga agar profil tegangan selalu berada pada batas-batas yang diizinkan. Pemasangan kapasitor secara shunt merupakan salah satu alternatif untuk mengkompensasi rugi daya reaktif yang disebabkan oleh beban-beban induktif. Kapasitor menyediakan daya reaktif yang diperlukan oleh induktor. Penggunaan kapasitor selain memperbaiki faktor daya sistem juga juga dapat mengurangi rugi-rugi daya pada hantaran, sebagai akibat penurunan nilai arus yang mengalir [7-8].

Kapasitor merupakan salah satu alat listrik yang sering digunakan untuk memperbaiki faktor daya, untuk memperbesar nilai $\cos \phi$ yang rendah adalah dengan cara memperkecil sudut ϕ sehingga $\cos \phi$ mendekati nilai 1. Sedangkan untuk memperkecil sudut ϕ hal yang mungkin dilakukan adalah memperkecil komponen daya reaktif. Berarti komponen daya reaktif yang ada bersifat induktif harus dikurangi dan pengurangan itu bisa dilakukan dengan menambah suatu sumber daya reaktif yaitu berupa kapasitor [9].

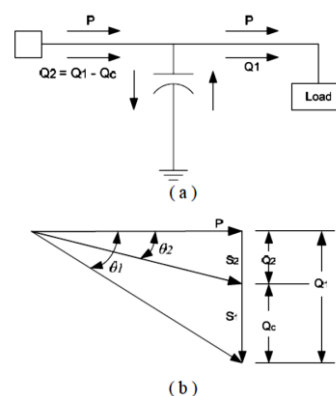
Dimana Kapasitor merupakan kumpulan dari beberapa kapasitor yang dihubungkan secara seri atau paralel satu sama lain untuk menyimpan energi listrik. Penyimpanan yang dihasilkan kemudian digunakan untuk menetralkan atau memperbaiki kelambatan faktor daya dan meningkatkan jumlah keseluruhan energi yang tersimpan.

Contoh kasus penurunan faktor daya yang terjadi akibat banyaknya beban induktif terjadi di kota Padang. Permintaan listrik semakin meningkat dipengaruhi oleh bertambahnya jumlah penduduk dan pertumbuhan industri-industri pada saat ini. Untuk mengelola kualitas daya yang disalurkan maka pihak penyedia listrik melakukan upaya perbaikan dengan memasang kapasitor yang terhubung langsung ke saluran transmisi. Gardu Induk (GI) Pauh Limo merupakan salah satu area yang telah dilakukan pemasangan kapasitor untuk membantu perbaikan kasus penurunan tegangan pada saluran transmisinya sehingga dengan kasus penurunan tegangan tersebut menyebabkan penurunan faktor daya. Penempatan kapasitor di GI tersebut dilakukan karena lokasinya yang terletak di tengah di antara beberapa GI yang menghubungkan kota Padang dengan sekitarnya sehingga dianggap sebagai lokasi yang paling tepat, namun efektivitas dari pemasangan kapasitor ini perlu dilihat kembali terhadap peningkatan kualitas daya yang disalurkan.

2. METODOLOGI

Perbaikan faktor daya umumnya adalah penambahan komponen sebagai pembangkit daya reaktif (*Reactive power generation*) yang memungkinkan untuk mensuplai kebutuhan kVAr pada beban-beban induktif. Untuk merencanakan suatu sistem dalam memperbaiki faktor daya, dapat dipergunakan suatu konsep yaitu kompensator ideal, dimana sistem ini dapat dihubungkan pada titik penyambungan secara paralel dengan beban dan memenuhi 3 fungsi utama, yaitu memperbaiki faktor daya mendekati nilai 1 (*unity power factor*), mengurangi atau mengeliminasi regulasi tegangan dan menyeimbangkan arus beban dan tegangan fasa. Untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif yang efektif dan efisien, maka perlu dilakukan pemilihan sumber daya reaktif untuk perbaikan faktor daya [10-14].

Gambar 1 merupakan ilustrasi proses perbaikan faktor daya dengan pemasangan kapasitor sebagai sumber daya reaktif. Ketika terdapat daya reaktif yang cukup besar di saluran, kapasitor akan memberikan suplai daya yang dibutuhkan sehingga terjadi pengurangan nilai reaktif dan berdampak pada perbaikan kualitas daya yang disalurkan.



Gambar 1. Ilustrasi dari koreksi faktor daya

$$\cos\theta_1 = \frac{P}{S_1} \text{ atau } \cos\theta_1 = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}} \quad (1)$$

Ketika kapasitor shunt Q_C kVAr dipasang pada beban, faktor daya dapat ditingkatkan dari $\cos\theta_1$ ke $\cos\theta_2$, dimana:

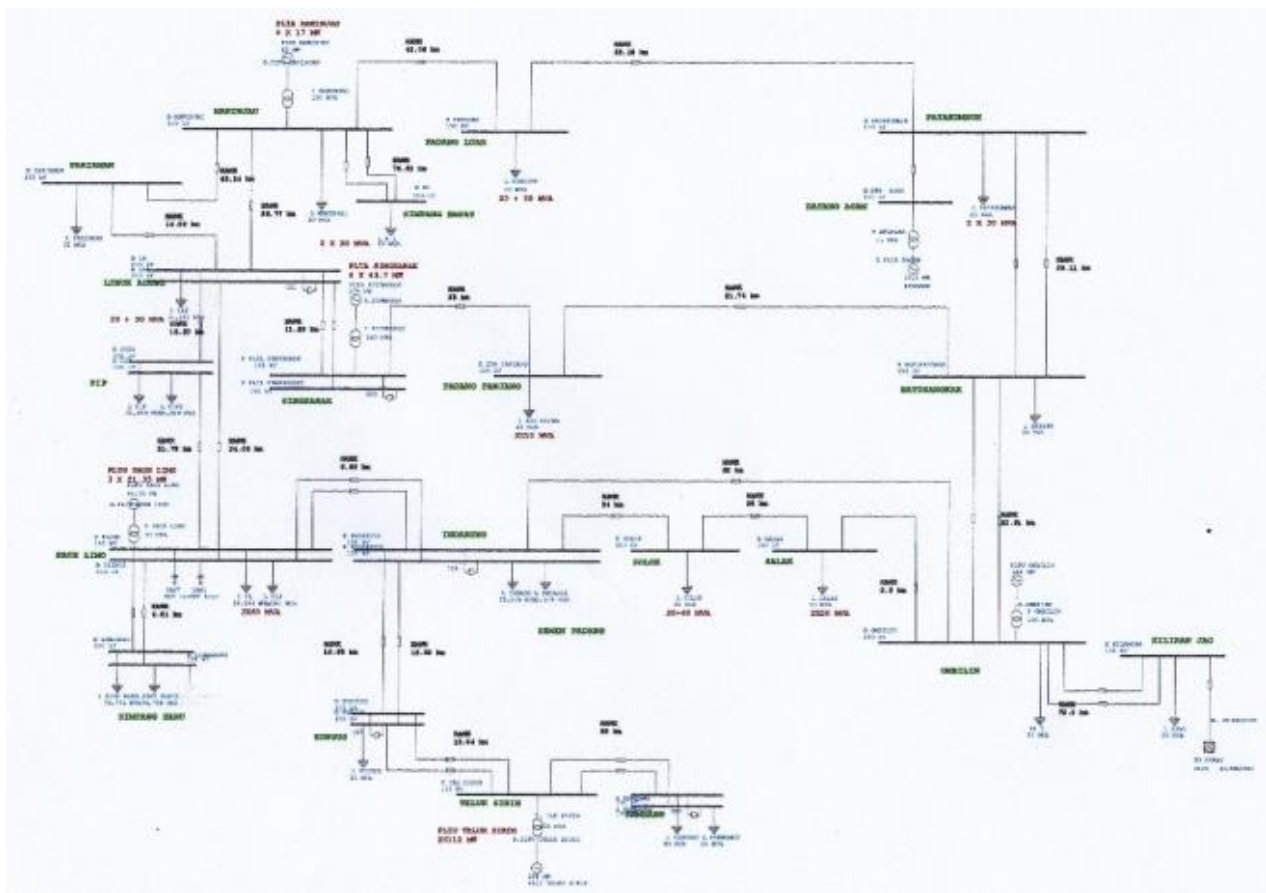
$$\cos\theta_2 = \frac{P}{S_2} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (Q_1 - Q_C)^2}} \quad (2)$$

$$\tan\phi = \frac{\text{Daya reaktif (Q)}}{\text{Daya aktif (P)}} \quad (3)$$

Karena komponen daya aktif umumnya konstan (komponen kVA dan kVAr berubah sesuai dengan faktor daya), dapat juga di tulis sebagai berikut:

$$Q = P.Tan \varphi \quad (4)$$

Dalam paper ini, efektifitas penggunaan kapasitor yang dipasang di GI Pauh Limo dianalisis dengan cara mensimulasikan sistem kelistrikan Sumbar. Simulasi dilakukan pada perangkat lunak ETAP 12.6 dengan metode *load flow analysis*. Proses simulasi dimulai dengan menggambarkan diagram sistem kelistrikan Sumbar seperti pada Gambar 2 di lembar kerja ETAP. Kondisis sistem kelistrikan digambarkan sesuai dengan keadaan yang ada yang dijadikan sebaai parameter masukan dalam proses simulasi. Untuk mendapatkan unjuk keluaran yang dibutuhkan maka dilakukan analisa aliran daya di bus dan semua penghantar yang masuk dan keluar dari GI Pauh Limo dimana kapasitor hanya bekerja (tersambung ke sistem) ketika faktor daya turun ($< 0,8$) yang menandakan daya reaktif sudah melebihi batas, kemudian kapasitor kembali lepas dari sistem saat faktor daya telah kembali normal. Oleh sebab itu, dengan data profil beban harian di tiap-tiap penghantar maka simulasi dilakukan dalam tiga langkah yakni: beban normal, beban puncak dan perbaikan seperti dijelaskan pada tabel 1 di bawah.



Gambar 2. Rangkaian simulasi di ETAP

Tabel 1. Kondisi waktu simulasi

Mode	Keterangan
Beban Normal	Simulasi di luar waktu beban puncak/daya reaktif kecil
Beban Puncak	Simulasi di waktu beban puncak/daya reaktif besar
Perbaikan	Simulasi di waktu beban puncak setelah dipasang kapasitor

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi yang telah dilakukan untuk ketiga langkah di atas memberikan hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 2 di bawah. Dalam beban normal, kondisi sistem secara keseluruhan berada dalam kondisi yang baik. Saat simulasi dilanjutkan dalam kondisi beban puncak yakni ketika kandungan daya reaktif di saluran besar, terjadi penurunan faktor daya di penghantar Indarung (1 dan 2) dan PIP. Pada penghantar tersebut seperti terlihat di tabel faktor daya masing-masingnya turun dari menjadi 0,77 (Indarung 1), 0,72 (Indarung 2) dan 0,64 (PIP). Sementara itu, penghantar-penghantar yang lain tidak mengalami perubahan/penurunan faktor daya. Simulasi dilanjutkan dengan memasang kapasitor ke BUS di GI Pauh Limo menggunakan beban yang sama saat simulasi beban puncak. Pemasangan kapasitor ini memberikan dampak perbaikan faktor daya pada penghantar Indarung dan PIP yang mana faktor daya masing-masing penghantar tersebut mengalami penurunan ketika beroperasi di beban puncak. Seperti pada penghantar Indarung yang dalam mode kritis faktor dayanya dari 0,77 naik menjadi 0,98. Selain itu, penghantar PIP juga mengalami perbaikan faktor daya dari 0,64 pada mode kritis menjadi 0,77 pada mode perbaikan seperti dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Hasil perbaikan faktor daya sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor

Penghantar	Beban Puncak				Mode Perbaikan			
	Kw	kvar	Amp	%PF	KW	kvar	Amp	%PF
INDARUNG 1	15571	12607	78,2	77,7	8323	1257	32,8	98,9
INDARUNG 2	35536	33945	191,6	72,3	35625	24055	167,3	82,9
SIMPANG HARU 1	71881	20790	291,9	96,1	33949	932	132,2	100,0
SIMPANG HARU 2	33839	929	132,0	100,0	33939	932	132,2	100,0
PIP	15641	12664	78,3	64,5	15641	12664	78,3	77,7
LUBUK ALUNG	91914	25753	372,1	96,3	92170	40282	391,5	91,1

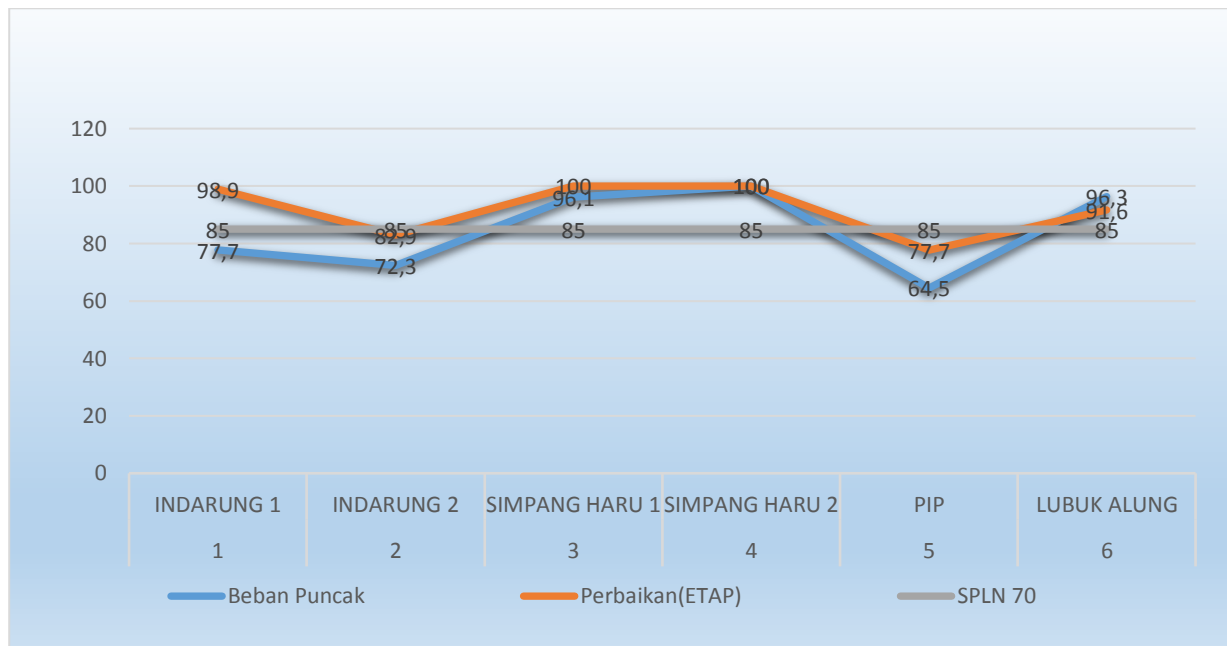
Penurunan faktor daya pada penghantar/saluran dapat menyebabkan beban akan menarik daya reaktif yang cukup tinggi sehingga daya yang mesti disalurkan menjadi besar. Pemasangan kapasitor seperti yang telah disimulasikan dapat menurunkan daya nyata yang diserap dari sumber. Penurunan ini merupakan selisih antara daya nyata terukur sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor. Besar penurunan daya nyata ini tergantung dari besar kompensasi kapasitor yang diberikan dan faktor daya awal beban sebelum pemasangan kapasitor. Kapasitor akan menyuplai daya reaktif yang dibutuhkan beban, sehingga mengurangi daya reaktif yang diperlukan dari sumber. Perbaikan faktor daya yang terjadi pada penghantar Indarung (1 dan 2) dan PIP saat di pasang kapasitor seperti terlihat pada tabel di atas terjadi karena adanya suplai daya reaktif yang diberikan oleh kapasitor ke jaringan. Besarnya suplai daya reaktif yang diberikan ditunjukkan pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Daya reaktif yang dihasilkan oleh kapasitor untuk perbaikan faktor daya

Penghantar	cos ϕ 1	cos ϕ 2	QC (Kvar)	%
INDARUNG 1	0,78	0,98	26385,6	21,02
INDARUNG 2	0,72	0,83	12753	10,6
PIP	0,65	0,78	4705	13,2

Perbaikan faktor daya di GI Pauh Limo dengan adanya pemasangan kapasitor dapat dilihat pada tabel di atas. Beberapa penghantar yang mengalami penurunan faktor daya ketika beroperasi adalah penghantar Indarung dan penghantar PIP yang mana daerah tersebut merupakan lokasi Industri dengan beban induktif yang besar. Dengan dipasangnya kapasitor di sisi GI Pauh Limo secara nyata berdampak terhadap perbaikan faktor daya pada penghantar yang terhubung langsung dengan GI. Faktor daya yang rendah dapat

menyebabkan kerugian bagi PLN sebagai penyuplai energi listrik maupun konsumen pengguna listrik itu sendiri.



Gambar 3 Grafik perbandingan perbaikan nilai faktor daya hasil dari simulasi etap dan sesuai slpn 70

Dari grafik perbandingan nilai faktor daya dengan hasil simulasi dari ETAP 12.6 dan sesuai SPLN 70 dapat dilihat bahwa pada penghantar indarung 1 dengan dipasangnya kapasitor di GI pauh limo dapat memperbaiki $\cos \phi$ yang rendah atau memperbaiki beban puncak menjadi beban normal diatas $\cos \phi$ yang di tetapkan sesuai dari SPLN 70 yakni dari 0,78 menjadi 0,98. Sementara pada penghantar penghantar Indarung 2 perbaikannya belum mencapai SPLN 70 yakni dari 0,72 menjadi 0,83 sama halnya dengan penghantar PIP yang belum mencapai SPLN 70 yakni dari 0,64 menjadi 0,77. Pada penghantar Simpang Haru 1 dan Simpang Haru 2 pada tanggal 28 Januari 2020 yakni tanggal atau beban harian dilakukannya simulasi dalam keadaan normal bahkan sangat baik dari ketetapan SPLN yakni hampir mencapai 1 dan sama halnya pada penghantar Lubuk Alung.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis perbaikan faktor daya di GI Pauh Limo dengan adanya pemasangan kapasitor dapat disimpulkan bahwa dengan dipasangnya kapasitor shunt pada GI Pauh Limo dengan kapasitas 25 MVAR terdapat perbaikan pada kualitas daya yaitu peningkatan nilai faktor daya di penghantar yang terhubung ke gardu induk tersebut. Faktor daya pada penghantar yang sebelumnya turun seperti penghantar Indarung (1 dan 2) dan PIP dapat diperbaiki kembali. Persentase perbaikan faktor daya tersebut yakni naiknya faktor daya hingga 40 % sesudah dipasang kapasitor ke GI. Perbaikan terjadi setelah kapasitor dimasukkan ke sistem ketika beroperasi di waktu beban puncak. Namun, pada beberapa penghantar seperti hantar Indarung (1 dan 2) dan PIP merupakan kawasan industri yang terdapat daya reaktif besar, perbaikan faktor daya belum mencapai batas minimum yang telah ditetapkan. Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil perbaikan tersebut salah satunya adalah karena ketiga penghantar tersebut beroperasi di wilayah industri yang ada di kota Padang sehingga perlu dilakukan analisis lanjutan tentang penyebab tidak terjadinya peningkatan yang signifikan di ketiga penghantar tersebut. selain itu, untuk mendapatkan hasil yang baik terhadap perbaikan faktor daya pada penghantar-penghantar yang mengalami penurunan faktor daya perlu juga dilakukan kajian tentang lokasi penempatan kapasitor yang paling tepat di sistem.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Winasis, A. wahyu windi nugraha (2007) 'Pengaruh pemasangan kapasitor shunt terhadap konsumsi daya aktif instalasi listrik', 3(1).
- [2]. Roem, Prasetyo. (2007). Capacitor Bank, Antara Mitos/Asumsi dengan Kenyataan Makalah seminar disampaikan pada Pemantapan Teknis Manajemen Energi Depdiknas, Banjarmasin 12 Mei 2007.

- [3]. Alamajibuwono, H., Sukmadi, T. and Handoko, S. (2012) 'Optimasi Penempatan Kapasitor Menggunakan Algoritma Genetika Pada Sistem Distribusi Untuk Memperbaiki Faktor Daya Dan Tegangan', pp. 1–10.
- [4]. Putu, D. (2004) 'Memperbaiki Profil Tegangan Di Sistem Distribusi', *Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana*, 7, pp. 45–46.
- [5]. Darusman, M. (2011) 'Analisa Kelayakan Pemasangan Kapasitor Bank Pada Gardu Distribusi Untuk Kemampuan Layanan', *elektro*, p. 2.
- [6]. Aribowo, D. (2016). Analisis Kerugian Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Ekstra Tinggi 500 Kv Unit Pelayanan Transmisi Cilegon Baru - Cibinong. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 1(1), 29–36. <https://doi.org/10.1088/0004-637X/772/2/146>
- [7]. Handoko, S., & Winardi. (2012). Optimasi Penempatan Kapasitor Menggunakan Logika Fuzzy Dan Algoritma Genetika Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik. *Transient*, 1(4), 1–10.
- [8]. Dani, A., & Hasanuddin, M. (2018). *Sebagai Kompensator Daya Reaktif (Studi Kasus SttSinar Husni)*. 998(September).
- [9]. Waaqi, A. (2010). *Perhitungan Nilai rating Reaktor Shunt Untuk Kompensasi Efek Ferranti Saluran Transmisi Krianke Ungaran Menggunakan ETAP*. 1–29.
- [10]. Fatahillah, M. R. (2016). No Title. *Penggunaan Kapasitor Shunt Pada Gardu Induk Untuk Mereduksi Rugi-Rugi Saluran Transmisi Jarak Menengah*, (1–61).
- [11]. Mahendra, S. (2015). *Studi Rekonfigurasi Jaringan Dan Penentuan Lokasi Distributed Generation (DG) Pada Sistem Distribusi Radial 3 Fasa Metode Newton Raphson Untuk Meningkatkan Keluaran Daya Aktif DG*. 4(2), 159.
- [12]. Marlindawati. (2012). *Peningkatan Kualitas Pembelajaran Dengan Pemanfaatan Perangkat Lunak Ajar Penyelesaian Persamaan Non-Linier Dengan Metode Newton Raphson*. 2012 (semnasIF), 67–74.
- [13]. Sulistiyono, D. (2011). Perbandingan metode gauss - seidel, metode newton raphson dan metode fast decoupled dalam solusi aliran daya. *Makalah Tugas Akhir*.
- [14]. Nursalam, "analisis kebutuhan Capacitor Bank beserta implementasinya untuk memperbaiki factor daya," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013.
- [15]. Muhammad Chandra (2014) 'Penyelesaian Aliran Daya 37 Bus Dengan Metode Newton Raphson (Studi Kasus Sistem Interkoneksi 150 kV Sulawesi Selatan)', *Jurnal Teknik Mesin SINERGI*, 12(1), pp. 35–49.
- [16]. Prasetya, D. B., Iswanto and Sadad, R. T. A. (2010) 'Implementasi Mikrokontroler Sebagai Pengendali Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya Otomatis pada Jaringan Listrik', *Semesta Teknika*, 13(2), pp. 181–192.
- [17]. Zondra, E., & Arlenny. (2015). Analisis Perbaikan Faktor Daya Motor Induksi Tiga Fasa Di Laboratorium Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning. *Jurnal Sains Teknologi Dan Industri*, 12(2), 232–241.