

ANALISA JATUH TEGANGAN DAN RUGI – RUGI DAYA DENGAN PENEMPATAN KAPASITOR BANK PADA PENYULANG NILA PT. PLN AREA METRO

Awansah¹, Rudy Setiabudy²

^{1,2}Universitas Indonesia

^{1,2}Jl. Margonda Raya, Pondok Cina, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat

¹awansah.st@gmail.com

²rudy@eng.ui.id

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 04-11-2021
revisi : 29-11-2021
diterima : 05-12-2021
dipublish : 30-12-2021

ABSTRAK

Jatuh tegangan dan rugi-rugi daya total (aktif dan reaktif) adalah permasalahan yang sering terjadi pada jaringan distribusi. Pemasangan kapasitor bank merupakan salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk mengurangi rugi-rugi daya total dan memperbaiki jatuh tegangan di jaringan distribusi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis rugi-rugi daya aktif maupun reaktif dan jatuh tegangan setelah pemasangan kapasitor bank pada penyulang nila. Perhitungan aliran daya menggunakan metode newton raphson yang dilakukan pada *software* MATLAB. Hasil simulasi menunjukkan rugi-rugi daya aktif pada saluran sebesar 370,62 kW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 560,68 kVAR dengan tegangan minimum sebesar 0,8710 pu pada bus 72 sebelum pemasangan kapasitor bank. Setelah adanya pemasangan kapasitor bank didapatkan rugi-rugi daya aktif sebesar 295,75 kW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 446,88 kVAR dengan tegangan minimum sebesar 0,9017 pu pada bus 76. Pada penelitian ini dengan adanya pemasangan kapasitor bank dapat memperbaiki profil tegangan setiap bus pada penyulang nila sehingga berada di standar SPLN 1:1995 yaitu 0,9 pu sampai 1,05 pu dan mengurangi rugi-rugi daya aktif sebesar 20,20% dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 20,29%.

Kata kunci : kapasitor bank; rugi-rugi daya; jatuh tegangan

ABSTRACT

Analysis of Voltage Drop and Power Loss with The Placement of Capacitor Bank at Nila Feeder in PT. PLN Area Metro.

Voltage drops and total power loss (active and reactive) are problems that occur in distribution networks. Installation of capacitor bank is one alternative to reduce total power loss and improve voltage profile in distribution network. The purpose of this paper is to analyze power loss and voltage drop after installation capacitor bank in nila feeder. Power flow simulation is using MATLAB software with newton raphson method. Simulation results show for before installation of the capacitor bank, the active power losses is 370.62 kW and the reactive power losses is 560.68 kVAR with a minimum voltage of 0.8710 on bus 72. For after installation of the capacitor bank, the active power losses is 276.72 kW and the reactive power losses is 395.81 kVAR with a minimum voltage of 0.9511 pu on bus 55. In this paper with the installation of capacitor bank can improve the voltage profile of each bus in nila feeder so that it is in the SPLN 1:1995 standart, which is 0,9 pu to 1,05 pu and decrease active power losses as 20.20% and reactive power losses as 20.29%.

Keywords : capasitor bank; power loss; voltage drop

PENDAHULUAN

Pembangkitan, jaringan transmisi, dan jaringan distribusi merupakan tiga komponen utama pada sistem tenaga listrik. Jaringan distribusi atau sering disebut penyulang merupakan saluran yang menghubungkan gardu induk dengan beban atau konsumen. Dengan semakin bertambahnya populasi penduduk maka akan berdampak pada semakin besarnya pemakaian tenaga listrik di sistem tenaga listrik. Pemakaian tenaga listrik semakin besar akan diikuti juga dengan meningkatnya daya reaktif akibat beban induktif yang ada pada peralatan konsumen maupun pada jaringan.

Apabila pada jaringan distribusi tidak memiliki sumber daya reaktif maka seluruh kebutuhan daya reaktif akan dipikul oleh Gardu Induk (GI) yang biasanya terletak jauh dari beban sehingga akan

Mengakibatkan membesarnya jatuh tegangan dan rugi-rugi daya total. Rugi-rugi daya akan membuat tidak efisiennya jaringan dalam pengiriman tenaga listrik dari sumber pembangkitan ke beban (konsumen). Untuk jatuh tegangan akan berakibat rusaknya peralatan listrik yang ada pada konsumen. Tegangan pada setiap bus yang diizinkan oleh PT. PLN pada SPLN 1:1995 yaitu sebesar +5% dan -10% dari tegangan nominal sistem yang sebesar 1 pu atau 20 kV. Untuk mengatasi permasalahan tersebut ada beberapa solusi yang dapat dilakukan yaitu dengan membangun pembangkit berkapasitas kecil (*distributed generation*) didekat beban, memasang *auto voltage regulator*, memasang kapasitor bank, dan pengaturan tap trafo (Fahrur, 2016). Pemasangan kapasitor yang tepat pada sistem distribusi maka akan memperbaiki tegangan, memperbaiki faktor

daya dan mengurangi rugi – rugi daya total (Awansah, 2018).

Tujuan dari penelitian ini untuk memperbaiki jatuh tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya aktif dan reaktif pada jaringan distribusi dengan simulasi pada *software* MATLAB menggunakan aliran daya newton raphson. Kapasitor bank adalah kapasitor yang terdiri dari beberapa unit kapasitor yang terhubung secara seri ataupun paralel. Kapasitor bank bekerja dengan cara menginjeksikan daya reaktif kapasitif ke jaringan sehingga memberikan peningkatan kestabilan sistem tenaga (Salah, 2017). Dengan adanya sumber daya reaktif yang baru maka daya reaktif yang disuplai dari pembangkit akan berkurang sehingga mengakibatkan berkurangnya rugi-rugi daya dan membaiknya tegangan pada jaringan distribusi.

TEORI

Dalam menganalisa suatu sistem tenaga listrik biasanya lebih banyak digunakan sistem per unit dibandingkan sistem *ohmic*. Sistem per unit ini digunakan untuk mempermudah perhitungan saat proses analisis daya pada sistem tenaga listrik. Beberapa keuntungan yang didapat dari penggunaan sistem per unit (pu) seperti memudahkan dalam komputasi digital, mengurangi penggunaan $\sqrt{3}$ saat perhitungan 3 fasa dan dengan penggunaan tegangan acuan yang sesuai maka dapat mempermudah dalam menyelesaikan rangkaian dengan beberapa transformator (Hakim, 2013).

Untuk mencari per unit (pu) digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Per Unit (pu)} = \frac{\text{nilai sebenarnya}}{\text{nilai base atau acuan}} \quad (1)$$

Untuk mencari nilai impedansi per unit (Z_{pu}) dengan tegangan acuan (V_b), arus acuan (I_b), dan daya kompleks acuan (S_b) dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$I_b = \frac{S_b}{V_b} \quad (2)$$

$$Z_b = \frac{V_b}{I_b} = \frac{V_b}{\left(\frac{S_b}{V_b}\right)} = \frac{V_b^2}{S_b} \quad (3)$$

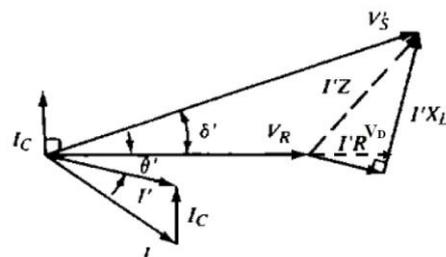
$$S_{pu} = \frac{S}{S_b} \quad (4)$$

$$V_{pu} = \frac{V}{V_b} \quad (5)$$

$$Z_b = \frac{I}{I_b} \quad (6)$$

$$Z_{pu} = \frac{Z}{Z_b} \quad (7)$$

Kapasitor bank merupakan sekumpulan kapasitor yang dihubungkan secara paralel yang menginjeksikan daya reaktif ke jaringan untuk memperbaiki kualitas tenaga listrik. Pada jaringan distribusi yang tidak memiliki sumber daya reaktif di dekat beban maka semua kebutuhan daya reaktif akan dipikul oleh pembangkit listrik yang mengakibatkan adanya jatuh tegangan dan rugi-rugi daya. Dengan adanya penambahan kapasitor bank di dekat beban maka konsumsi daya reaktif pada beban dapat sebagian atau sepenuhnya dapat dipasok dari kapasitor bank. Pada gambar 1 ditunjukkan bagaimana arus injeksi dari kapasitor bank dapat mengubah vektor arus ke arah leading yang mengakibatkan teratasinya jatuh tegangan akibat dari beban induktif jaringan.



Gambar 1. Kurva arus kapasitor yang mereduksi jatuh tegangan

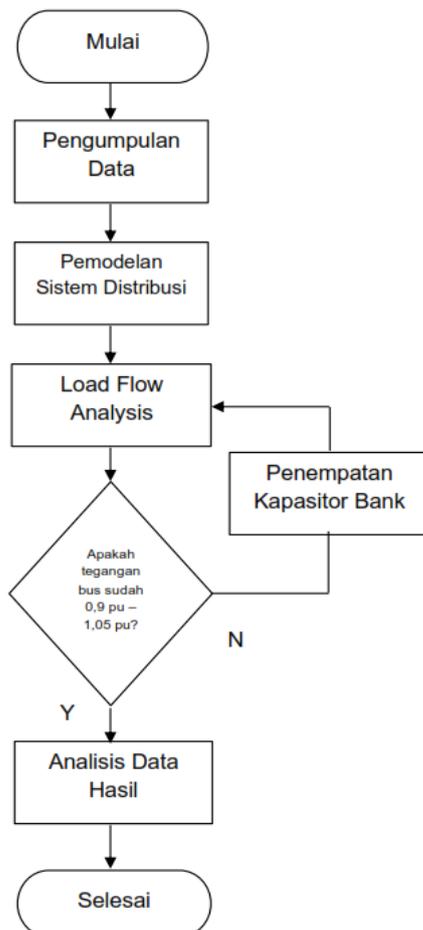
Jatuh tegangan yang direduksi oleh kapasitor bank ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$V_d = I_R R + I_L X_L - I_C X_C \quad (8)$$

V_d : Jatuh tegangan
 I_R : Arus beban resistif
 R : Resistansi saluran
 I_L : Arus beban induktif
 X_L : Reaktansi induktif
 I_C : Arus kapasitor
 X_C : Reaktansi kapasitif

METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah yang diperlihatkan pada *flowchart* gambar 2.



Gambar 2. Flowchart penelitian

Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini seperti *single line diagram*, jenis kabel, dan pembebanan dari setiap trafo distribusi disalurkan.

Pemodelan Sistem Distribusi

Sistem distribusi yang digunakan pada penelitian yaitu penyulang nila area metro. Sistem ini dimodelkan dengan model bus dan model saluran untuk kepentingan perhitungan aliran daya. Model bus terdiri dari nomor bus, jenis bus, beban daya aktif, beban daya reaktif, daya aktif dan daya reaktif yang diinjeksikan ke saluran distribusi. Model saluran terdiri nomor dari bus-bus yang terhubung disalurkan, resistansi dan reaktansi saluran.

Load flow Analysis

Perhitungan aliran daya dilakukan dengan menggunakan *software* matlab dengan aliran daya newton raphson. Data masukan yang sudah didapatkan lalu diolah sesuai kebutuhan program. Kemudian hasil simulasi yang diperoleh dikumpulkan untuk dianalisis.

Penempatan Kapasitor Bank

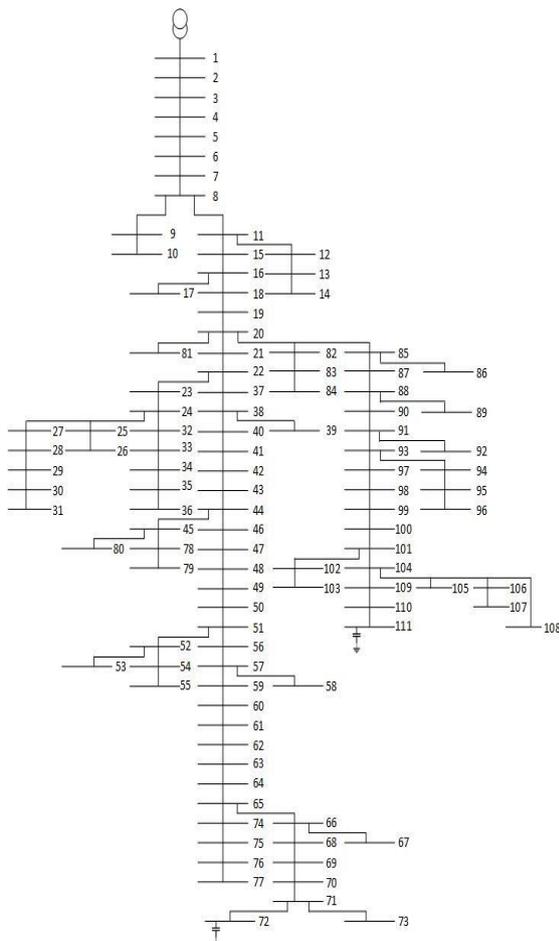
Penempatan kapasitor bank dilakukan pada bus-bus yang terletak pada ujung-ujung saluran dan memiliki tegangan yang kritis dari tegangan nominal.

Analisis Data Hasil Simulasi

Data hasil simulasi yang didapatkan berupa tegangan pada setiap bus dan rugi-rugi daya reaktif. Data-data tersebut kemudian dibandingkan pada kondisi sebelum dan setelah pemasangan kapasitor terhadap jatuh tegangan dan rugi-rugi daya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

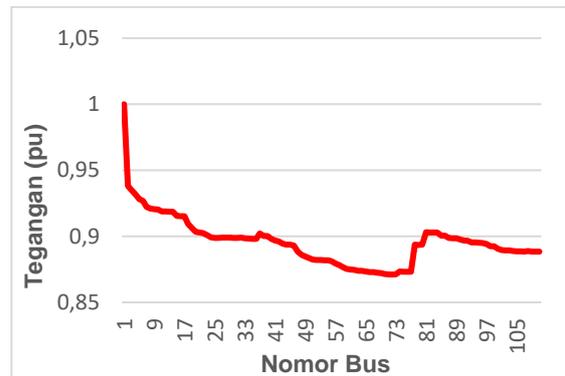
Sistem distribusi yang digunakan untuk penelitian ini yaitu penyulang nila di PT. PLN Area Metro. Pada penyulang Nila terdapat 111 bus dengan 110 saluran. Pada penyulang nila ini masih terdapat profil tegangan bus yang berada dibawah standar SPLN 1: 1995 sebesar +5% dan -10% dari tegangan nominal yang sebesar 1 pu atau 20 kV. Pada penelitian ini digunakan pemasangan kapasitor bank pada bus 72 dan 111 untuk memperbaiki tegangan setiap bus dan mengurangi rugi-rugi daya pada saluran di Penyulang nila. *Single line diagram* dari saluran tersebut dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. *Single line diagram* Penyulang Nila dengan pemasangan kapasitor bank

Hasil Aliran Daya Tanpa pemasangan Kapasitor Bank

Hasil dari simulasi didapatkan data perhitungan aliran daya pada penyulang nila dengan beban daya aktif sebesar 4.553 kW dan beban daya reaktif sebesar 2.845 kVAR. Rugi-rugi daya reaktif sebesar 560.68 kVAR. Profil tegangan pada masing-masing bus ditunjukkan pada gambar 4. Dari perhitungan aliran daya yang dilakukan terdapat banyak profil tegangan pada bus di penyulang nila yang masih berada dibawah kondisi standar yang ditetapkan oleh PT. PLN pada SPLN 1: 1995 sebesar +5% dan -10%. Dengan nilai tegangan minimum pada saluran ini yaitu sebesar 0.871 pu pada bus 72.



Gambar 4. Profil tegangan bus tanpa pemasangan kapasitor bank

Hasil Aliran Daya Setelah Pemasangan Kapasitor Bank

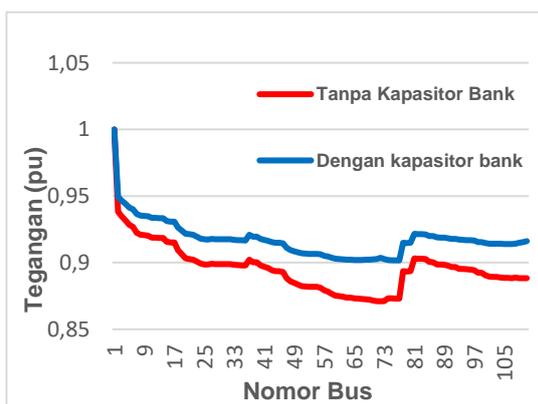
Setelah simulasi yang dilakukan pada kondisi tanpa kapasitor bank didapatkan bahwa pada penyulang nila masih banyak profil tegangan yang berada di bawah standar yang ditetapkan PT. PLN pada SPLN 1: 1995 yaitu sebesar -10% dari tegangan nominal. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan pemasangan kapasitor bank pada jaringan distribusi penyulang nila agar dapat

memenuhi standar yang telah ditetapkan. Dengan kapasitas dan penempatan kapasitor bank sebagai berikut:

Tabel 1. Kapasitas dan Lokasi Penempatan Kapasitor Bank

Kapasitas Kapasitor (kVar)	Bus
500	72
500	111

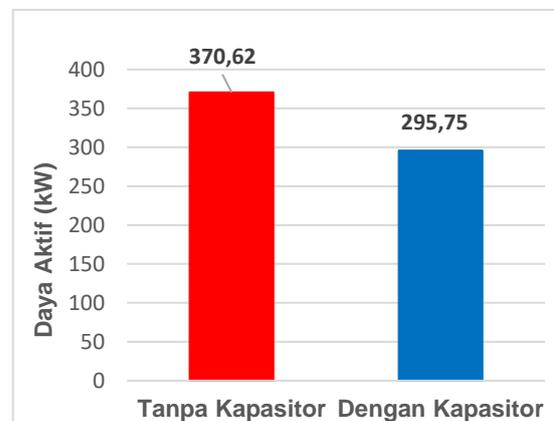
Penempatan kapasitor bank pada bus–bus diatas dikarenakan bus tersebut merupakan bus yang terletak pada ujung–ujung saluran dan memiliki tegangan yang kritis dari tegangan nominal. Perbandingan profil tegangan masing–masing bus tanpa dan dengan kapasitor bank dapat dilihat pada gambar 5. Dari gambar dapat dijelaskan bahwa dengan pemasangan kapasitor bank dapat memperbaiki profil tegangan pada setiap bus di penyulang nila dimana dari yang semula berada di bawah batas standar tegangan nominal menjadi berada dikondisi standar tegangan nominal yang ditetapkan oleh PT. PLN pada SPLN 1: 1995. Dengan tegangan minimum pada saluran sebesar 0.9017 pada bus 76.



Gambar 5. Perbandingan profil tegangan setiap bus tanpa dan dengan pemasangan kapasitor bank

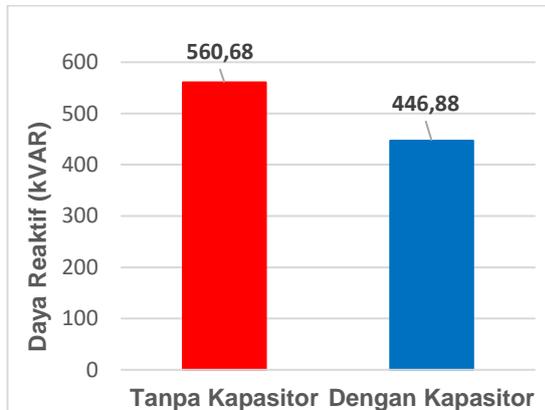
Perbandingan rugi–rugi daya aktif total tanpa dan dengan kapasitor bank dapat dilihat pada gambar 5. Dimana pada gambar dapat dilihat bahwa rugi – rugi daya aktif total

dengan adanya pemasangan kapasitor bank lebih kecil dibandingkan dengan tanpa adanya kapasitor bank. Dengan rugi – rugi daya aktif total tanpa kapasitor bank sebesar 370.62 kW sedangkan dengan adanya pemasangan kapasitor bank sebesar 295.75 kW. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pemasangan kapasitor bank dapat menurunkan rugi – rugi daya aktif total sebesar 74.87 kW atau 20.20% dari tanpa kapasitor bank.



Gambar 6. Perbandingan rugi – rugi daya aktif total tanpa dan dengan pemasangan kapasitor bank

Perbandingan rugi–rugi daya reaktif total tanpa kapasitor bank dan dengan kapasitor bank dapat dilihat pada gambar 6. Pada gambar terlihat bahwa rugi–rugi daya reaktif total dengan adanya pemasangan kapasitor bank lebih kecil dibandingkan dengan tanpa kapasitor bank. Dengan rugi–rugi daya reaktif total tanpa kapasitor bank sebesar 560,68 kVAR sedangkan dengan adanya kapasitor bank sebesar 446,88 kVAR. Hal ini terlihat bahwa adanya pemasangan kapasitor bank dapat menurunkan rugi–rugi daya aktif total sebesar 113,8 kVAR atau 20,29% dari tanpa kapasitor bank.



Gambar 7. Perbandingan rugi – rugi daya reaktif tanpa dan dengan pemasangan kapasitor bank

Analisis Perkiraan Keuntungan Yang Didapatkan Dari Pengurangan Rugi–Rugi Daya Aktif Total Dalam Tahun Pertama Pemasangan Kapasitor Bank

Dengan adanya pemasangan kapasitor bank pada penyulang nila maka akan dapat menekan biaya operasional yang dikeluarkan oleh PT. PLN akibat rugi–rugi daya yang ada disalurkan. Penekanan biaya yang terjadi merupakan selisih biaya yang dikeluarkan PT. PLN akibat rugi – rugi daya tanpa kapasitor bank dengan biaya setelah pemasangan kapasitor bank. Jika diasumsikan tarif tenaga listrik rata – rata adalah sebesar Rp 1.433,113 per kWh maka keuntungan yang dapat diperoleh oleh PT. PLN akibat pengurangan rugi–rugi daya aktif total selama 1 tahun adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Perkiraan Rugi – rugi Daya (kWh) yang dapat ditekan dengan Adanya Kapasitor Bank

	Biaya Rugi-Rugi Daya (kWh) per tahun
Tanpa kapasitor bank	Rp 4.652.789.379
Dengan kapasitor bank	Rp 3.712.866.167
Biaya yang dapat ditekan akibat adanya kapaitor bank per tahun	Rp 939.923.212

Tabel 3. Biaya Pemasangan Kapasitor Bank

Kapasitas Kapasitor (kVAR)	Harga Investasi (Rp)
500	118.800.000
500	118.800.000
Total	237.600.000

Jika biaya penekanan rugi–rugi daya dalam setahun sebesar Rp. 939.923.212 dimasukkan untuk memperhitungkan selisih dengan biaya total investasi pemasangan kapasitor bank sebesar Rp. 237.600.000 di jaringan penyulang nila maka pada tahun pertama pemasangan kapasitor bank, perkiraan keuntungan yang akan didapatkan oleh PT. PLN yaitu sebesar Rp. 702.323.212. Jadi pemasangan kapasitor bank pada penyulang nila ini selain dapat memperbaiki tegangan pada setiap bus untuk mencapai standar tegangan nominal yang ditetapkan dan menurunkan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi namhun juga dapat mendatangkan keuntungan dari segi ekonomi.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapat berdasarkan uraian diatas adalah dengan adanya pemasangan kapasitor bank pada penyulang nila dapat memperbaiki tegangan pada setiap bus dengan tegangan minimum sebesar 0,9017 pu pada bus 76 dimana sesuai kondisi yang ditetapkan pada SPLN 1: 1995 sebesar +5% dan -10% juga mengurangi rugi – rugi daya aktif dari 370,62 kW menjadi 295,75 kW atau sebesar 20,20% dan rugi–rugi daya reaktif dari 560,68 kVAR menjadi 446,88 kVAR atau sebesar 20,29%.

DAFTAR PUSTAKA

Awansah., Zebua, Osea., Gusmedi, Herri. (2018). *Penentuan Kapasitas dan Lokasi Optimal Dari Pembangkit*

- Tersebar Pada Jaringan Distribusi Penyulang Nila Di Gardu Induk Metro. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 7(3), 153 – 160.
- Barlian, Taufik., Savitri, Nina., Hurairah, Muhammad. (2020). *Analisis Kapasitor Bank Untuk Memperbaiki Tegangan*. *Jurnal Surya Energy*, 4(2), 391 – 396.
- Cho, Gyu-Jung., Oh, Yun-Sik., Kim, Min-Sung., Kim, Ji-Soo., Kim, Chul-Hwan. (2017). *Optimal Capacitor Bank Capacity and Placement in Distribution System with High Distributed Solar Power Penetration*. *IEEE Power & Energy Society General Meeting*. 10.1109/PESGM.20117.8273749.
- Fahrur, Riza. (2016). *Optimasi Daya Reaktif Dengan Penempatan Capacitor Bank Menggunakan Metode Mixed Interger Linier Programming Pada Sistem Distribusi Tiga Fasa*. UNILA. Bandar Lampung.
- Ferdinand, Rijon dan Rofli, Ahmad. (2018). *Analisa Penggunaan Kapasitor Bank Dalam Upaya Perbaikan Faktor Daya*. *JKTE UTA'45 Jakarta*, 3(1), 39 – 51.
- Hakim, L. (2013). *Buku Ajar Matakuliah Analisa Sistem Tenaga*.
- Permata, Maria., Weking, Antonius., Setiawan, Widyadi. (2019). *Optimasi Pemasangan Kapasitor Pada Sistem Jaringan Listrik Distribusi di Bali Menggunakan Metode Quantum Genetic Algorithm*. *SPEKTRUM*, 6(1).
- Pramana, Putu Agus Aditya., Munir, Buyung Sofiarto., Kusuma, Aristo Adi. (2017). *Recovery Voltage Study of Capacitor Bank Switching for 150kV Electrical System in Indonesia*. *International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICECOS)*, 285-289.10.1109/ICECOS.2017.8167151.
- Quezada, Crishian., Torres, Jaime., Quizhpi, Flavio. (2019). *Optimal Location of Capacitor Banks by Implementing Heuristic Methods in Distribution Networks*. *IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication technologies (CHILECON)*, 1-6.10.1109/CHILECON47746. 2019.8987997.
- Salah, Choirul., Krismanto., Awan, U. (2017). *Implementasi Bank Kapasitor Untuk Perbaikan Profil Tegangan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan Software ETAP Power Station di Rayon Besuki*. *ELEKTRIKA*, 1(1).
- Suprianto. (2018). *Analisa Tegangan Jatuh pada Jaringan Distribusi 20 kV PT. PLN Area Ranjau Prapat Raayon Aek Kota Batu*. *Journal of Electrical Technology*, 3(2).
- Szultka, Agata., Malkowski, Robert. (2017). *Selection of Optimal Location and Rated Power of Capacitor Banks in Distribution Network using Genetic Algorithm*. *International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)*.10.1109/EPE.2017.7967270