

# Penempatan Kapasitor Paralel pada Penyulang Pajajaran GI Jakabaring

\*

Wiwini A Oktaviani<sup>1</sup>, Supri Suhendra<sup>2</sup>, Taufik Barlian<sup>3</sup>, Yosi Apriani<sup>4</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Teknik Elektro  
 Universitas Muhammadiyah Palembang  
 Palembang, Indonesia  
 corresponding author(s): wiwin\_oktaviani@um-palembang.ac.id

**Abstrak**— Untuk mengkompensasi daya reaktif pada jalur distribusi tenaga listrik, kapasitor paralel telah digunakan secara ekstensif. Penempatan kapasitor tidak selalu meningkatkan tegangan total dan faktor daya. Oleh karena itu, sangat penting untuk menentukan kapasitas (ukuran) dan posisi kapasitor yang ideal untuk mengurangi rugi-rugi daya di saluran distribusi. Gardu Induk New Jakabaring merupakan gardu induk di Kota Palembang yang terletak di wilayah dengan peningkatan beban yang cukup tinggi. Penyulang Pajajaran merupakan salah satu dari beberapa feeder di gardu induk ini, yang terhubung dengan beberapa beban penting dan beban Kawasan perumahan yang terus bertumbuh. Komputasi daya reaktif dan penempatan kapasitor optimal (OCP) adalah dua teknik simulasi yang digunakan dalam penelitian ini, yang dilakukan dengan menggunakan ETAP 19.0. Temuan studi menunjukkan bahwa dengan menggunakan perhitungan daya reaktif, penurunan tegangan penyulang Pajajaran yang semula mencapai 93,26% dari tegangan nominal menjadi 98,98%, sedangkan dengan menggunakan OCP, penurunan tegangan semula 93,26% menjadi 100,1% dari tegangan nominal. Perhitungan dengan OCP memberikan nilai kapasitas kapasitor yang lebih konsisten di kisaran 930 kVAR dibandingkan dengan perhitungan daya reaktif yang nilainya lebih bervariasi. Perhitungan dengan menggunakan OCP menghasilkan jumlah kapasitor yang lebih banyak yaitu sebanyak 20 sementara dengan perhitungan daya reaktif jumlah kapasitor yang dihasilkan sebanyak 14 kapasitor. Letak kapasitor paralel pada penyulang Pajajaran dapat berfungsi optimal dan mendukung beban hingga 80% dari rating kapasitas trafo.

**Kata kunci**— *Bangku Kapasitor, Optimal Capacitor Placement (OCP), peningkatan profil tegangan*

**Abstract**— In order to compensate for reactive power on electrical power distribution lines, parallel capacitors have been utilized extensively. Capacitor placement does not constantly improve the total voltage and power factor. Therefore, it is crucial to establish the ideal capacitance (size) and position of the capacitors to reduce power losses in the distribution line. Palembang City's New Jakabaring Substation is a substation situated in a region with a rapid load increase. Pajajaran Feeder, one of the several feeders at this substation, carries the weight of numerous significant loads as well as expanding residential areas. Reactive power computation and optimal capacitor placement (OCP) were the two simulation techniques used in the study, which were carried out using ETAP 19.0. The study's findings demonstrate that using reactive power calculations, the original Pajajaran feeder voltage drop is improved from 93.26% to 98.98% while utilizing OCP, the voltage drop is improved from 93.26% to 100.1%. However, OCP provides a more consistent capacitance value of the capacitors in the range of 930 kVAR compared to reactive power calculations, whose results are more inconsistent. Calculations using OCP gives more capacitors, namely as many as 20 more than those produced by calculating the reactive power of 14 capacitors. The location of parallel capacitors in the Pajajaran feeder can function optimally and support a load of up to 80% of the transformer capacity rating.

**Keywords**— *Capacitor Bank, Optimal Capacitor Placement (OCP), voltage profile improvement*

## I. PENDAHULUAN

Kapasitor paralel banyak digunakan untuk koreksi faktor daya di jalur distribusi daya. Pemasangan paralel kapasitor dalam sistem distribusi radial sangat penting karena beberapa alasan, misal untuk mengontrol aliran listrik, manajemen profil tegangan factor daya, manajemen profil tegangan dan minimisasi rugi-rugi. Penempatan kapasitor pada busbar dengan beban reaktif yang banyak belum tentu mampu meningkatkan tegangan dan faktor daya secara keseluruhan, Juga, terkadang level tegangan pada bus di bawah atau di atas ambang tegangan yang dapat diterima. Selain itu, biaya pemasangan kapasitor harus diperhitungkan [1]. Oleh karena itu, sangat penting untuk menentukan kapasitas (ukuran) dan lokasi kapasitor yang diperlukan untuk meminimalkan kerugian daya (arus dan energi) di saluran distribusi daya dengan biaya minimum [2]. Pemilihan jenis kapasitor juga berkaitan dengan topologi jaringan, nilai beban dan situasi ekonomi [3]. Berbagai metode optimalisasi digunakan untuk menentukan lokasi penempatan kapasitor diantaranya penerapan metode Algoritma Genetik [4] [5] [6] [7] [8] [9], fuzzy logic baik yang berdiri sendiri [10] maupun dikombinasikan dengan metode optimalisasi lainnya [11] [12] [13] ataupun metode optimalisasi yang mengadaptasi perilaku hewan seperti lebah [14] [15] [16]. Sebagian besar peneliti yang menyelesaikan persoalan penempatan optimal kapasitor berbasiskan metode-metode optimalisasi tersebut menggunakan MATLAB [17].

Pada penelitian ini perangkat lunak ETAP digunakan untuk menempatkan kapasitor dan ukurannya secara optimal dalam sistem distribusi. Beberapa kajian literatur terkait penempatan kapasitor menggunakan ETAP diantaranya; S. Neelima dan P. S. Subramanyam [18] mempresentasikan masalah OCP untuk sistem bus IEEE 69

menggunakan perangkat lunak ETAP untuk menentukan lokasi potensial kapasitor yang dapat meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi daya system. Untuk ukuran optimal kapasitor dalam sistem mereka digunakan algoritma GA. Ghiasi dan Olamaei [19] menggunakan perangkat lunak ETAP untuk implementasi sistem tenaga Tehran Metro line-2 secara real time guna menentukan penempatan kapasitor untuk meningkatkan profil tegangan dan faktor daya serta meminimalkan kerugian. Sistem daya interkoneksi terdistorsi juga menjadi faktor yang dipertimbangkan untuk penempatan dan ukuran kapasitor. A. Kumar dan R. S. Bhatia [20] memodelkan jaringan pada ETAP menggunakan data dan mengimplikasikan algoritma genetika untuk penempatan kapasitor dalam jaringan distribusi agar tercapai sistem yang memiliki peningkatan voltase dan kehilangan daya yang rendah dengan biaya yang murah. Ferreira dan Gebbran memodelkan sistem tenaga Edison di California Selatan yang beroperasi pada 12.47 kV menggunakan perangkat lunak ETAP dan open DSS. Penempatan kapasitor untuk kompensasi reaktif dan minimisasi rugi-rugi dilakukan dengan adanya pembangkit PV yang terdistorsi. Penempatan kapasitor ini bertujuan meminimisasi biaya agar berada di bawah kurva beban yang tersedia [21].

Sistem distribusi merupakan bagian penting dari distribusi tenaga listrik karena sistem distribusi langsung melayani beban. Kualitas daya yang buruk disebabkan oleh faktor daya yang buruk, drop tegangan dan rugi-rugi jaringan. Langkah umum untuk mengatasi lonjakan daya dan rugi-rugi saluran adalah dengan menambahkan kapasitor distribusi dan menyinkronkan sistem distribusi dengan pembangkitan terdistribusi [22] seperti PV-Cell [23]. Sistem distribusi terdiri dari penyulang-penyulang yang umumnya terhubung ke suatu gardu induk.

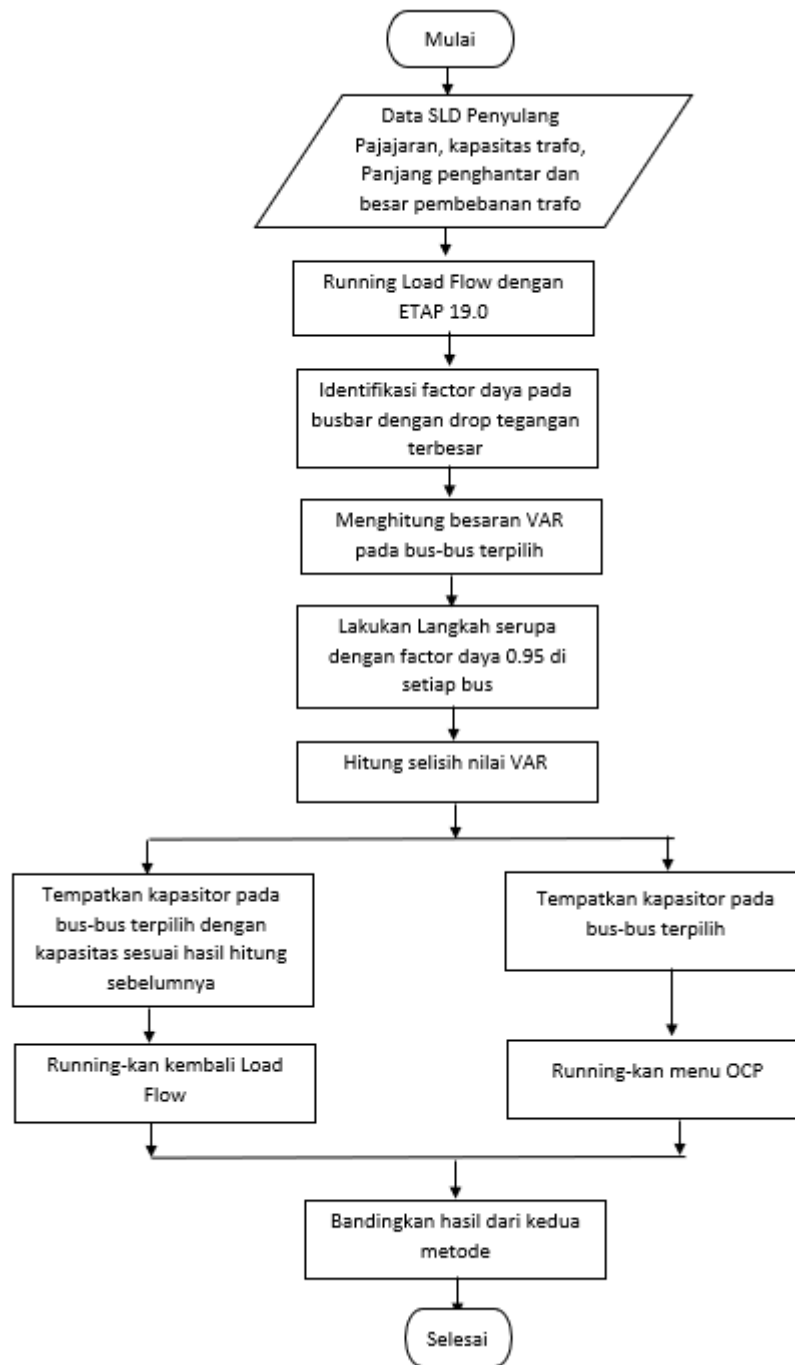
Pada penelitian ini, Gardu Induk New Jakabaring menjadi lokus penelitian dikarenakan gardu induk ini berada di daerah Jakabaring dan sekitarnya yang menjadi daerah pengembangan kota Palembang. Di daerah ini banyak berdiri pusat-pusat administrasi pemerintahan yang baru, menjadi lokasi tempat pusat kegiatan olahraga dengan Jakabaring Sport City, pengembangan kampus-kampus perguruan tinggi yang tentu saja diikuti oleh pembangunan dan perluasan area pemukiman, sehingga Kawasan Jakabaring ini menjadi Kawasan dengan potensi pertumbuhan elektrifikasi yang lebih tinggi dibandingkan kawasan lain di Kota Palembang. Gardu Induk Jakabaring memiliki 17 penyulang yang terhubung dengan TD1 dan TD2 yang masing-masing memiliki kapasitas trafo daya sebesar 60 MVA/ 150kV - 20 kV. Dari banyak penyulang di GI ini, Penyulang Pajajaran dipilih sebagai studi kasus karena penyulang ini merupakan penyulang yang terhubung dengan beberapa beban penting, seperti kantor-kantor pemerintahan, dan beban kawasan perumahan yang masih terus berkembang.

## II. METODE PENELITIAN

Tahapan studi dilakukan dengan mengikuti diagram alir yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pada dasarnya, studi penempatan dan penentuan kapasitor dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menghitung kebutuhan daya reaktif untuk perbaikan factor daya disertai penempatan kapasitor pada bus-bus yang mengalami drop tegangan terbesar dan dengan menjalankan menu OCP.

Penyulang Pajajaran terdiri dari 69 buah trafo distribusi dan 1 trafo daya. Pada studi ini, diasumsikan pembebanan trafo telah mencapai 80% pembebanan. Hasil simulasi awal menunjukkan bahwa total beban pada Penyulang Pajajaran 9.456 MVA, total daya aktif (P) sebesar 7.880 MW dan total daya reaktif (Q) sebesar 5.227 MVAR dengan factor daya sebesar 0,84.

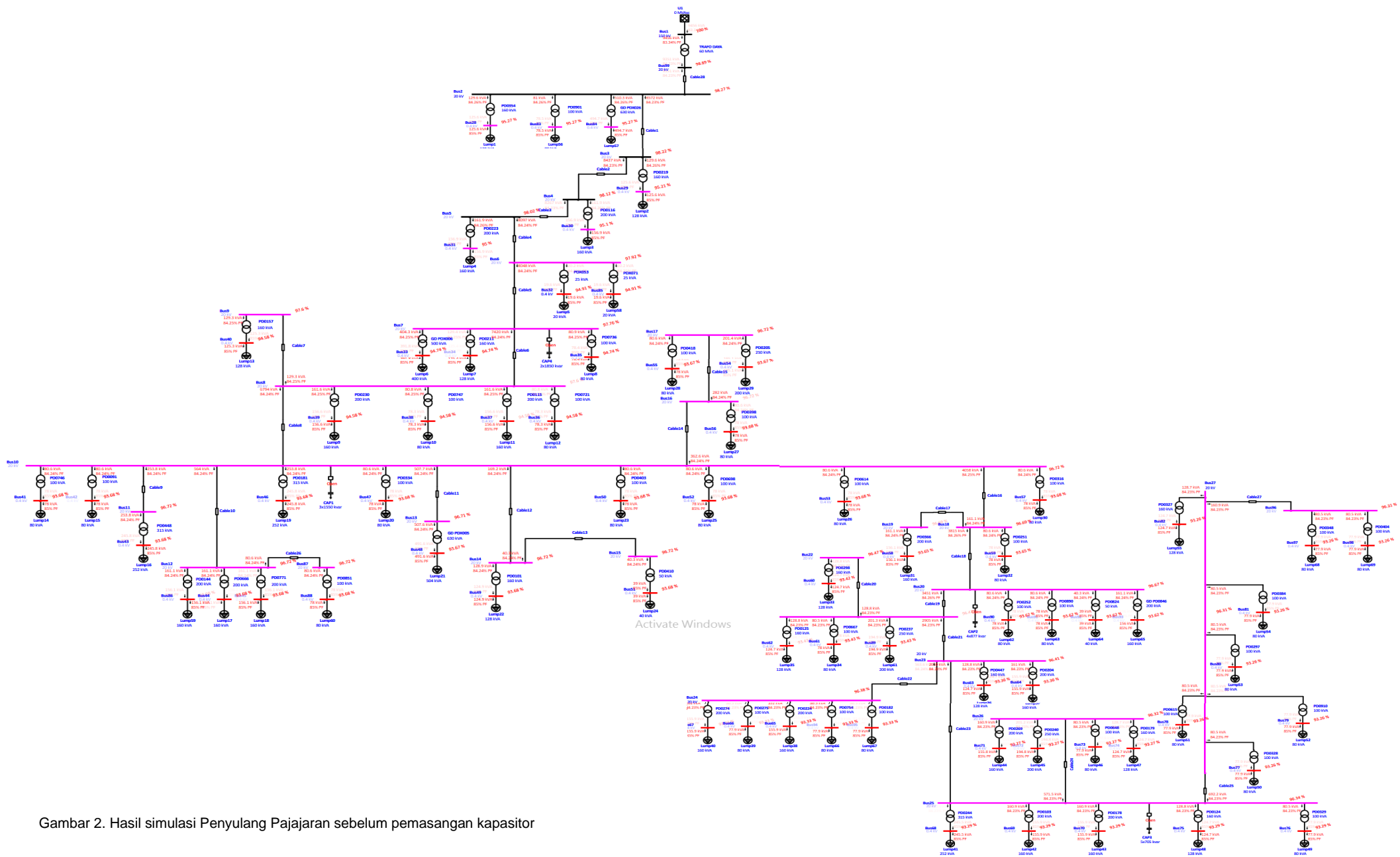
Berdasarkan SPLN 70-1 besaran faktor daya adalah  $\geq 0,85$  sehingga nilai faktor daya 0,84 ini belum memenuhi standard, sehingga perlu dilakukan perbaikan faktor daya terutama untuk mengantisipasi pemburukan tegangan akibat kenaikan beban yang cukup masif.



Gambar 1. Tahapan penelitian

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi awal menunjukkan penurunan tegangan ujung Penyulang Padjajaran sebelum menempatkan kapasitor sebesar 6,74%. Rugi daya reaktif adalah 550,8 kVAR dan rugi daya aktif 335,6 kW. Tegangan *default* yang ditetapkan adalah 98% dan tegangan kritis sebesar 95%. Upaya yang dilakukan untuk mengurangi tegangan listrik di Pajajaran dengan menempatkan *capacitor bank* pada bus 7, bus 10, bus 20 dan bus 25 yang merupakan bus-bus dengan pembebanan yang tinggi dan mengalami drop tegangan yang lebih besar dibandingkan bus-bus lainnya, Gambar 2 menunjukkan hasil simulasi pada Penyulang Pajajaran sebelum pemasangan kapasitor sedangkan Tabel 1 menunjukkan hasil simulasi untuk Bus 7, Bus 10, Bus 20 dan Bus 25 sebelum pemasangan kapasitor. Nilai daya reaktif diperoleh dengan menghitung secara manual selisih akar kuadrat nilai MVA dengan daya aktif.



Gambar 2. Hasil simulasi Penyulang Pajajaran sebelum pemasangan kapasitor

TABLE I. HASIL SIMULASI *LOAD FLOW* SEBELUM PEMASANGAN KAPASITOR

ID Bus	Bus kV	MVA	% PF	Daya Reaktif (Q-1)
<b>Bus 7</b>	20	8,035	84,2	4,36 Mvar
<b>Bus 10</b>	20	6,733	84,2	3,653 Mvar
<b>Bus 20</b>	20	3,814	84,3	2,069 Mvar
<b>Bus 25</b>	20	2,048	84,2	1,112 Mvar

Perhitungan daya reaktif, Q-2, kembali dilakukan namun dengan nilai faktor daya 0.95 untuk semua bus. Nilai faktor daya 0.95 ini didapat dari hasil running ETAP dimana tegangan di setiap bus yang dihasilkan tidak ada yang di bawah standard. Kapasitas kapasitor ditentukan dengan menghitung selisih antara Q-1 dengan Q-2. Nilai selisih ini akan menjadi dasar penentuan jumlah kapasitor yang akan ditempatkan. Penentuan jumlah kapasitor dilakukan secara *trial and error* hingga tidak didapatkan lagi kondisi tegangan yang kurang dari 95% dari tegangan nominal. Hasil perhitungan dan simulasi disajikan dalam Tabel 2.

TABLE II. NILAI DAYA REAKTIF DENGAN POWER FACTOR 0.95

ID Bus	Hasil Perhitungan			Hasil Simulasi	
	Daya Reaktif (Q <sub>2</sub> )	kVAR/Bank (Q <sub>1</sub> - Q <sub>2</sub> )	Jumlah Kapasitor Bank	Total penambahan kVAR	
<b>Bus 7</b>	2,510 Mvar	1.850 kvar	2 Bank	3700 kvar	
<b>Bus 10</b>	2,103 Mvar	1.550 kvar	3 Bank	4650 kvar	
<b>Bus20</b>	1,192 Mvar	877 kvar	4 Bank	3508 kvar	
<b>Bus25</b>	0,407 Mvar	705 kvar	5 Bank	3525 kvar	

Hasil simulasi kedua ini menunjukkan perbaikan profil tegangan di ujung penyulang yang semula 93,26% dari nilai tegangan nominal atau setara dengan 18.652 kV menjadi 98,98% atau 19,796 kV.

Langkah selanjutnya adalah melakukan operasi OCP pada ETAP untuk melihat apakah penempatan kapasitor pada bus-bus terpilih ini beserta nilai kapasitansi sudah tepat. Sebagaimana yang diuraikan sebelumnya bahwa penempatan dan penentuan kapasitor harus juga mempertimbangkan sisi ekonomis selain sisi teknis. Simulasi OCP diperlukan untuk mendapatkan nilai kapasitansi kapasitor dan penempatannya yang optimal. Hasil simulasi OCP tertera pada Tabel 3.

TABLE III. HASIL SIMULASI OCP

Bus	Capacitor Bank	kvar/Bank	kvar
<b>7</b>	7 Bank	941,6	6591
<b>10</b>	3 Bank	936	2808
<b>20</b>	6 Bank	936,2	5617
<b>25</b>	4 Bank	932,3	3729

Dari hasil simulasi ketiga didapatkan profil tegangan ujung penyulang membaik dari semula 93,26% atau 18.652 kV menjadi sama dengan tegangan nominal saluran sebesar 20 kV. Hasil simulasi OCP tidak ditemukan tegangan yang melewati standard.

Hasil studi menunjukkan bila menggunakan hasil perhitungan daya reaktif, untuk mengatasi drop tegangan pada Penyulang Pajajaran dibutuhkan kapasitor dengan kapasitansi total 15.383 kVAR dengan sebaran sebagai berikut: pada bus 7 sebesar 1.850 kVAR, bus 10 sebesar 1.550 kVAR, bus 20 sebesar 877 kVAR, dan bus 25 sebesar 705 kVAR. Sedangkan dengan OCP dibutuhkan kapasitansi total sebesar 18.745 kVAR dengan sebaran pada bus 7 sebesar 941,6 kVAR/bank, bus 10 sebesar 936 kVAR/bank, bus 20 sebesar 936,2 kVAR/bank, dan bus 25 sebesar 932,3 kVAR/bank. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai kVAR/bank di bus 7, 10, 20 dan 25 pada simulasi OCP nilainya relative sama, yaitu di kisaran 930 kVAR dibandingkan dengan metode perhitungan daya reaktif yang memberikan nilai kVAR/bank yang lebih bervariasi. Hal ini dikarenakan OCP menerapkan prinsip perhitungan optimasi dengan turut mempertimbangkan panjang saluran dan jauh dekatnya suatu bus dengan sumber daya. Perhitungan dengan OCP memberikan jumlah kapasitor yang dibutuhkan lebih banyak yaitu sebanyak 20 kapasitor daripada yang dihasilkan dengan perhitungan daya reaktif sebanyak 14 kapasitor. Perbaikan tegangan ujung penyulang yang diberikan oleh OCP mampu menyamai tegangan nominal. Dalam hal penempatan kapasitor, kedua metode memberikan hasil yang sama.

## IV. KESIMPULAN

Penempatan kapasitor baik dengan melakukan perhitungan daya reaktif maupun dengan menggunakan OCP menjadikan bus yang mengalami penurunan tegangan terbesar menjadi kandidat penempatan kapasitor. Pada simulasi OCP, jumlah kapasitor yang dibutuhkan untuk perbaikan tegangan 42,8% lebih banyak dari yang disarankan metode perhitungan daya reaktif. Pada metode perhitungan daya reaktif, persentase penurunan tegangan di ujung Penyulang Pajajaran mengalami perbaikan dari semula 6,74% menjadi 1,02%, sedangkan dengan metode OCP tegangan di ujung penyulang tidak mengalami penurunan atau sama dengan tegangan nominal. Dengan demikian simulasi OCP menghasilkan perbaikan tegangan yang lebih baik dibandingkan dengan metode perhitungan daya reaktif.

## Referensi

- [1] D. A. Basudewa, W. Aribowo, A. C. Hermawan, and M. Widyartono, "Analisa Penggunaan Kapasitor Bank Terhadap Faktor Daya pada Gedung IDB Laboratory UNESA," *J. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 03, Art. no. 03, Aug. 2020, Accessed: Dec. 30, 2022. [
- [2] O. Zebua, "Pemilihan Kapasitas Dan Lokasi Optimal Kapasitor Paralel Pada Sistem Distribusi Daya Listrik," *Electr. J. Rekayasa Dan Teknol. Elektro*, vol. 2, no. 2, Art. no. 2, 2008, doi: 10.23960/elc.v2n2.17.
- [3] A. Najafi, A. Masoudian, and B. Mohammadi-Ivatloo, "Optimal Capacitor Placement and Sizing in Distribution Networks," in *Optimization of Power System Problems: Methods, Algorithms and MATLAB Codes*, M. Pesaran Hajiabbas and B. Mohammadi-Ivatloo, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 75–101. doi: 10.1007/978-3-030-34050-6\_4.
- [4] A. B. Ar Rahman, "Optimalisasi Penempatan Kapasitor Bank untuk Memperbaiki Kualitas Daya pada Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh Menggunakan Metode Genetic Algorithm (GA)," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. B229–B235, Sep. 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16123.
- [5] S. Lohia, O. P. Mahela, and S. R. Ola, "Optimal capacitor placement in distribution system using genetic algorithm," in *2016 IEEE 7th Power India International Conference (PIICON)*, Nov. 2016, pp. 1–6. doi: 10.1109/POWERI.2016.8077355.
- [6] Arlenny, E. Zondra, and Zulfahri, "Optimization of Capacitor Bank Placement in Electric Network Using Genetic Algorithm," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1351, no. 1, p. 012005, Nov. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1351/1/012005.
- [7] M. H. Kafi, M. Mahdavian, A. A. Amini, G. Shahgholian, and M. Dehghani, "Optimal Capacitor Placement to Improve the Performance of the Electrical Power Distribution System Using Genetic Algorithm," *Int. J. Smart Electr. Eng.*, vol. 11, no. 03, pp. 111–117, Sep. 2022.
- [8] G. G. Soma, "Optimal Sizing and Placement of Capacitor Banks in Distribution Networks Using a Genetic Algorithm," *Electricity*, vol. 2, no. 2, Art. no. 2, Jun. 2021, doi: 10.3390/electricity2020012.
- [9] I. K. Suryawan and I. Dwijaya Saputra, "Optimization of Capacitor Placement in Radial Distribution System Using Integer Encoding Genetic Algorithm," in *2020 International Conference on Applied Science and Technology (ICAST)*, Oct. 2020, pp. 544–548. doi: 10.1109/iCAST51016.2020.9557646.
- [10] V. J. Shetty and S. G. Ankaliki, "Fuzzy Logic Based Optimal Capacitor Placement and Loss Reduction in Radial Power System," *Int. J. Curr. Eng. Technol.*, vol. 6, no. 4, 2016.
- [11] S. M. Kannan, P. Renuga, S. Kalyani, and E. Muthukumar, "Optimal capacitor placement and sizing using Fuzzy-DE and Fuzzy-MAPSO methods," *Appl. Soft Comput.*, vol. 11, no. 8, pp. 4997–5005, Dec. 2011, doi: 10.1016/j.asoc.2011.05.058.
- [12] P. Dinakara and A. Sreenivasulu, "Optimal Capacitor Placement for Loss Reduction in Distribution Systems Using Fuzzy and Hybrid Genetic Algorithm," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, Nov. 2013.
- [13] M. D. Reddy and V. Reddy, "Capacitor Placement Using Fuzzy and Particle Swarm Optimization Method for Maximum Annual Savings," *Asian Res. Publ. Netw. ARPAN*, vol. 3, no. 3, pp. 25–30, 2008.
- [14] S. K. Bilgundi and D. L. Kumar, "Optimal Capacitor Placement in Radial Distribution System Using Artificial Bee Colony Algorithm for Voltage Profile Improvement and Loss Reduction," 2017.
- [15] S. A. Taher and R. Bagherpour, "A new approach for optimal capacitor placement and sizing in unbalanced distorted distribution systems using hybrid honey bee colony algorithm," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 49, pp. 430–448, Jul. 2013, doi: 10.1016/j.ijepes.2013.02.003.
- [16] A. El-Fergany, A. Y. Abdelaziz, and B. K. Panigrahi, "Artificial Bee Colony-Based Approach for Optimal Capacitor Placement in Distribution Networks," in *Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing*, Cham, 2013, pp. 424–435. doi: 10.1007/978-3-319-03753-0\_38.
- [17] M. J. Tahir, B. Bakar, M. Alam, and M. Mazlihum, "Optimal capacitor placement in a distribution system using ETAP software," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 15, p. 650, Aug. 2019, doi: 10.11591/ijeecs.v15.i2.pp650-660.
- [18] S. Neelima and D. P. S. Subramanyam, "Optimal Capacitors Placement in Distribution Network Using Genetic Algorithm: A Dimension Reducing Approach," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 30, no. 1, 2011.
- [19] M. Ghiasi and J. Olamaei, "Optimal capacitor placement to minimizing cost and power loss in Tehran metro power distribution system using ETAP (A case study)," *Complexity*, vol. 21, pp. 483–493, Sep. 2016, doi: 10.1002/cplx.21828.
- [20] A. Kumar and R. S. Bhatia, "Optimal capacitor placement in radial distribution system," *2014 IEEE 6th India Int. Conf. Power Electron. IICPE*, pp. 1–6, Dec. 2014, doi: 10.1109/IICPE.2014.7115763.
- [21] C. B. Ferreira and D. Gebbran, "Simulation and Analysis of Reactive Power Compensation Methods in Presence of Solar Distributed Generation and Development of Optimal Capacitor Placement and Sizing," UC Irvine, 2017.
- [22] Z. Zakwansyah, I. D. Sara, R. S. Lubis, and B. Amri, "Optimasi Penempatan Kapasitor pada Penyulang Kota Calang dengan Metode Modified Backward-Forward Sweep," *J. J-Innov.*, vol. 7, no. 2, 2018.
- [23] Y. A. Rahman, S. Manjang, Yusran, and A. A. Ilham, "Evaluating the effect placement capacitor and distributed photovoltaic generation for power system losses minimization in radial distribution system," in *Proceedings of the 6th International Conference on Education, Concept, and Application of Green Technology*, Semarang, Indonesia, 2018, p. 020027. doi: 10.1063/1.5028085.