

Analisis Penempatan Optimum Kapasitor Untuk Perbaikan Profil Tegangan dan Rugi Daya Saluran Distribusi 20kV Penyulang Jolotundo

¹Yogie Rahmatulloh, ²I Made Wartana ³Ni putu Agustini
Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

¹yogie.rachmatulloh18@gmail.com, ²m.wartana@lecturer.itn.ac.id, ³ni_putu_agustini@lecturer.itn.ac.id

Abstrak—Energi listrik menjadi kebutuhan utama dalam perkembangan penduduk baik yang diperkotaan maupun di pelosok desa, energi listrik selalu dikirimkan dari pembangkit menuju beban melalui transmisi dan distribusi, hal ini dapat mengonsumsi daya aktif dan reaktif sehingga menyebabkan rugi-rugi daya. Membesarnya rugi-rugi daya disebabkan oleh rugi-rugi daya reaktif dan dapat dikendalikan dengan manajemen daya reaktif yang tepat, untuk menghindari kehilangan daya reaktif diperlukan kompensasi daya reaktif yang sesuai, metode yang tepat adalah dengan menempatkan kapasitor yang sesuai. Manfaat penempatan kapasitor adalah meminimalkan rugi-rugi daya aktif dan reaktif, meningkatkan faktor daya, dan meningkatkan profil tegangan pada sistem. Metode Optimal Capacitor placement (OCP) merupakan salah satu tool di dalam software ETAP yang cara kerjanya menggunakan algoritma genetika yang dapat menghasilkan penempatan kapasitor yang optimal. Setelah dilakukan pemasangan kapasitor pada penyulang jolotundo profil tegangan yang sebelumnya mengalami kondisi undervoltage dapat ditingkatkan sesuai standar perusahaan listrik negara (SPLN) yaitu lebih dari 0,95 p.u dan kurang dari 1,05 p.u dan rugi daya dapat dikurangi sebanyak P_{Loss} 6.26% dan Q_{Loss} 24.78%.

Kata Kunci : Kapasitor Bank, Optimal Capacitor Placement (OCP), Profil Tegangan, Rugi Daya.

PENDAHULUAN

Energi listrik sudah menjadi komponen utama dalam menunjang pembangunan suatu bangsa. Energi listrik sudah menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat karena selain untuk penerangan listrik juga digunakan untuk berbagai kebutuhan, baik untuk kebutuhan konsumtif maupun produktif [1].

Pemanfaatan energi listrik secara efisien oleh masyarakat di bantu dengan penyaluran energi listrik yang efisien. energi listrik selalu disalurkan dari pembangkit menuju beban melalui transmisi dan distribusi. Penyulang Jolotundo merupakan salah satu penyulang sistem distribusi 20kV yang berada di daerah Pacet, Mojokerto. Penyulang Jolotundo disalurkan dari gardu induk Ngoro ke daerah pacet yang melalui jarak yang lebih panjang yaitu 60.250 m dibandingkan dengan penyulang disekitarnya yaitu berkisar

antara 2000 m sampai 30.000 m sehingga dengan penyaluran tersebut dapat mengonsumsi daya aktif dan reaktif sehingga menyebabkan turunnya profil tegangan dan membesarnya rugi-rugi daya [2].

Rugi-rugi daya dapat dikendalikan dengan manajemen daya reaktif yang tepat, untuk menghindari kehilangan daya reaktif diperlukan kompensasi daya reaktif, metode yang tepat adalah dengan menempatkan kapasitor yang sesuai [3]. Penempatan kapasitor bank berguna untuk mengkompensasi daya reaktif dan memastikan tegangan tetap terjaga pada levelnya bahkan pada saat beban penuh. Menempatkan kapasitor menjadi pilihan karena harganya yang lebih terjangkau banding kompensasi daya reaktif lainnya [4]. Keuntungan lainnya dengan penambahan kapasitor bank yaitu peningkatan faktor daya, peningkatan kapasitas tegangan penyulang, mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan penyulang [5]. Oleh karena itu penting untuk menemukan ukuran dan lokasi kapasitor yang tepat supaya kapasitor dapat mengkompensasi secara optimal [4], [6].

Pada skripsi ini penulis akan membahas tentang analisis penempatan optimum kapasitor untuk memperbaiki profil tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi 20 kV di penyulang Jolotundo, dengan menggunakan metode algoritma genetika pada fitur *optimal capacitor placement* (OCP) di software ETAP Power Station.

TINJAUAN PUSTAKA

A. Studi Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik

Studi aliran daya atau *load flow analysis* adalah studi yang dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai keadaan aliran daya atau tegangan sistem dalam kondisi operasi tunak (*steady state*). Studi aliran daya digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem tenaga dan menganalisis kondisi pembangkit maupun pembebanan yaitu untuk memasok beban tetap berada pada rentang tegangan dan arus yang tepat. Laporan dari studi aliran daya itu sendiri digunakan untuk menentukan tegangan dan factor daya pada semua bus pada feeder yang ada.[3].

Didalam studi aliran daya, bus-bus berbagi menjadi 3 bagian, yaitu

1. *Slack bus* atau *swing bus berfungsi* atau *bus referensi* berfungsi sebagai pensuplay kekurangan daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) Parameter atau besaran yang ditentukan adalah tegangan (V) dan sudut fasa (δ).
2. *Voltage controller bus* atau bus generator (PV) yaitu bus yang terdapat pada generator yang tegangannya dapat diatur dengan pengatur daya reaktif sehingga tegangan tetap konstan. Parameter atau ukuran yang diketahui adalah daya aktif (p) dan tegangan (v). Bus ini disebut bus PV.
3. *load bus* yaitu bus yang terhubung pada beban, parameter atau variabel yang ditentukan adalah daya aktif (P) dan daya reaktif (Q), itulah sebabnya bus ini juga disebut sebagai bus PQ, dan yang nantinya akan ditempatkan kapasitor untuk perbaikan profil tegangan.

B. Studi aliran Daya dengan Metode Newton-Raphson

Pada sistem multi-rel, solusi aliran daya adalah dengan persamaan aliran daya dalam sistem, metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk menyelesaikan aliran daya adalah metode newton-raphson.

Dasar metode *Newton-Raphson* untuk menyelesaikan aliran daya adalah deret Taylor untuk fungsi dengan lebih dari dua variabel. Metode *Newton-Raphson* menyelesaikan masalah aliran daya dengan menggunakan persamaan non-linier untuk menghitung besar tegangan dan sudut fasa tegangan masing-masing bus. Metode Newton-Raphson ini menggunakan masalah linier dengan solusi iterasi. Metode ini dapat diterapkan pada satu atau lebih persamaan dengan variabel yang tidak diketahui.

Langkah-langkah perhitungan aliran daya menggunakan metode Newton-Raphson sebagai berikut:

1. Membentuk matrik admitansi Yrel
2. Menentukan nilai awal $V^{(0)}$, $\delta^{(0)}$, P_{spec} , Q_{spec}
3. Menghitung daya aktif dan daya reaktif
4. Menghitung nilai $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$
5. Membuat matrik Jacobian
6. Menghitung nilai $\Delta \delta_i^{(k+1)}$ dan $\Delta |V|_i^{(k+1)}$
7. Mencari nilai ΔP dan ΔQ , Perhitungan akan konvergen jika nilai ΔP dan $\Delta Q \leq 10^{-4}$
8. Jika sudah konvergen maka akhiri perhitungan, jika belum konvergen maka perhitungan dilanjutkan untuk iterasi berikutnya.

Dengan menggunakan bantuan *software ETAP Power station* maka bisa di dapat hasil dari perhitungan aliran daya menggunakan metode Newton Raphson. Output berupa nilai tegangan, arus, daya semu, daya nyata, daya reaktif, dan $\cos \theta$ yang akan di gunakan sebagai dalam analisis penempatan optimal kapasitor [7].

C. Profil Tegangan

Profil tegangan dapat diidentifikasi sebagai nilai atau kondisinya suatu tegangan (baik atau buruk) dalam sistem saat terjadi perubahan kondisi beban maupun saat terjadi gangguan[8]. Kondisi Tegangan Normal Tegangan di Indonesia memiliki satuan perunit atau p.u, yang memiliki Batasan sesuai standar PLN yaitu $0,95 \text{ pu} \leq V \leq 1,05 \text{ pu}$. Ketika kondisi tegangan kurang dari 0,95 p.u maka dinyatakan dalam kondisi undervoltage dan bila kondisi tegangan melebihi 1,05 p.u dari tegangan nominal maka dinyatakan dengan kondisi *overvoltage* [12].

D. Rugi Daya Saluran

Dalam pendistribusian energi listrik dari pembangkit ke beban melalui jarak yang sangat panjang, sehingga menyerap daya yang didistribusikan dan menyebabkan adanya rugi daya. Rugi daya saluran di pengaruhi oleh tahanan dan arus yang mengalir dan menyebabkan panas pada saluran.

Rumus rugi daya:

$$P_{Loss} = 3 \times I^2 \times \Delta R \quad (1)$$

Total rugi daya:

$$P_{Loss \text{ total}} = \sum_{i=1}^n 3 \times I^2 \times R \quad (2)$$

Dimana,

$$R = \frac{\rho \times l}{A} \quad (3)$$

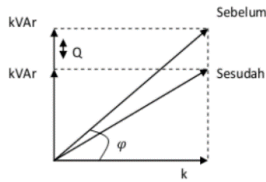
E. Kapasitor Bank

Kapasitor bank merupakan komponen elektrik yang dappat menghasilkan daya reaktif dimana kapasitor tersebut di pasang. Sederhananya kapasitor terdiri dari dua pelat logam yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik dan kapasitor ini memiliki sifat menyimpan muatan listrik.

Kapasitor bank banyak digunakan dalam sistem distribusi untuk meningkatkan factor daya dan pengaturan tegangan pada *feeder*. Pada saluran transmisi kapasitor bank memberi efek kompensasi daya reaktif dan memastikan tegangan dipertahankan pada marginnya pada saat beban puncak. Beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif, sehingga dapat menyebabkan jatuh tegangan pada sisi penerima. Dengan memasang kapasitor bank, beban yang mengkonsumsi daya reaktif induktif dapat di kompesasi dengan daya reaktif kapasitif dari kapasitor. Dengan demikian terjadinya jatuh tegangan dapat dikurangi. [9], [10].

F. Penentuan Kapasitas Kapasitor

Menentukan kapasitas dari kapasitor diperlukan untuk mengurangi rugi-rugi daya reaktif dengan cara meningkatkan atau memperbaiki faktor daya di bagian feeder penyulang dari kondisi awal sampai kondisi yang diinginkan[16].



Di dapat rumus sebagai berikut:

$$Q_c = Q_1 \text{ (sebelum perbaikan)} - Q_2 \text{ (yang diinginkan)} \quad (4)$$

$$Q_c = (\sqrt{S^2 - P^2 \cos^2 \theta_1}) - (\sqrt{S^2 - P^2 \cos^2 \theta_2}) \quad (5)$$

G. Penentuan Kapasitor

Untuk menentukan kapasitansi suatu kapasitor, digunakan dari kapasitansi minimum kapasitor hingga kelipatannya. Sehingga dapat digunakan sebagai variabel diskrit yang ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. Batas Tegangan dan Kapasitas Kapasitor yang digunakan

No	Max kV	Bank size (kVar)	Max Bank
1	0.48	100	30
2	0.6	100	30
3	2.4	200	30
4	4.8	200	30
5	6.64	200	30
6	12.4	300	30
7	13.8	300	30
8	15.1	300	30
9	20.8	400	30
10	24.9	400	30

Sumber : Operation Technology. Inc.etap 12.6

H. Perangkat Lunak ETAP Power Station

ETAP (*Electrical Transient and Analysis Program*) PowerStation adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat model simulasi dan perencanaan jaringan listrik, serta menampilkan keadaan sistem [11]. Kelebihan ETAP adalah dapat bekerja secara offline untuk simulasi dan juga dapat bekerja secara online, yang berguna untuk pengelolaan data secara real-time dan digunakan untuk sistem operasi secara real-time. Fitur yang dihadirkan bervariasi dari berbagai kategori seperti pembangkitan, transmisi dan distribusi energi listrik. Pemindaian sistem kelistrikan yang dapat dilakukan adalah *load flow analysis*, *short circuit analysis*, *optimal capacitor placement*, dan lain lainnya.

I. Optimal Capacitor Placement pada software ETAP

Optimal Capacitor Placement (OCP) merupakan salah satu tool dalam software ETAP yang menggunakan algoritma genetika. Algoritma genetika adalah teknik yang disempurnakan berdasarkan teori seleksi alam. Sebuah algoritma dimulai dengan menghasilkan solusi dengan keragaman untuk mewakili karakteristik ruang pencarian secara keseluruhan. Dengan karakteristik mutasi dan crossover yang baik, mereka dipilih untuk diturunkan ke generasi berikutnya. Solusi optimal dapat diperoleh dengan generasi iteratif. Metode aturan praktis yang umum adalah menjalankan beberapa studi terkini untuk *finetuning* ukuran dan lokasi

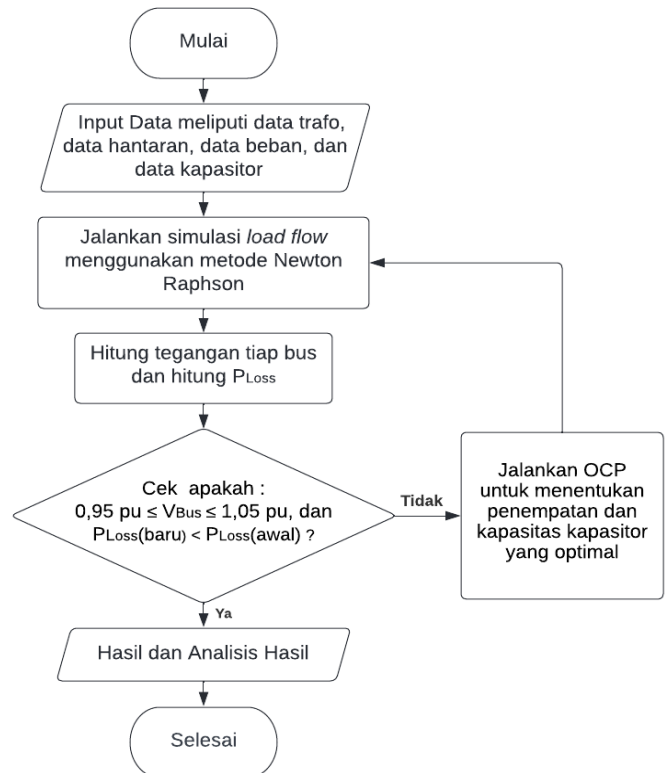
Gambar 1. *Optimal Capacitor placement* pada software ETAP
Lokasi optimal kapasitor dalam sistem tenaga listrik memiliki banyak variabel termasuk kapasitansi kapasitor, lokasi optimal, fungsi biaya, dan tegangan. Di dalamnya, untuk menentukan posisi dan kapasitansi yang optimal, jenis kapasitor dapat diatur sesuai dengan kondisi medan. Namun dengan variabel-variabel tersebut, menciptakan posisi yang optimal menjadikannya sulit. Dengan demikian, untuk menyederhanakan analisis, jenis kapasitor dapat dianggap sebagai sistem dalam kesetimbangan dan semua jenis beban dianggap.

METODOLOGI

Simulasi studi aliran daya atau *load flow* digunakan untuk mengetahui profil tegangan, daya aktif, daya reaktif dan rugi-rugi yang terjadi pada sistem distribusi 20 kV. Setelah melakukan analisa studi aliran daya maka dapat diketahui kondisi-kondisi bus yang mengalami penurunan tegangan (*undervoltage*). Apabila terdapat kondisi-kondisi bus yang mengalami penurunan tegangan dibawah SPLN yang diijinkan ($0,95 \text{ pu} \leq V \leq 1,05 \text{ pu}$) maka dapat dilakukan perbaikan profil tegangan dengan menentukan penempatan dan kapasitas optimal kapasitor menggunakan fitur *optimal capacitor placement (OCP)* [12].

Dengan menentukan penempatan optimal kapasitor supaya bisa menghasilkan kualitas tegangan yang baik yaitu dengan nilai tegangan dapat kembali dalam batas yang diijinkan dalam sebuah sistem.

A. Flowchat Penelitian



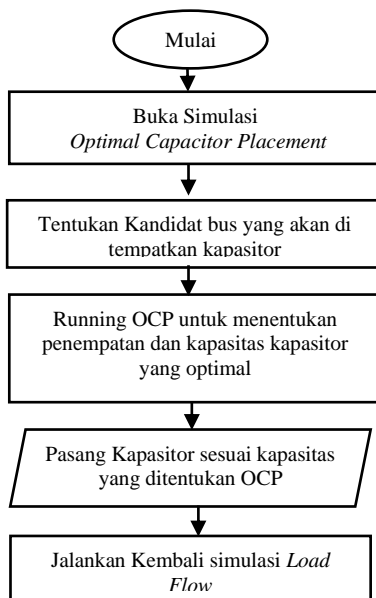
Gambar 2. Flowchat Penelitian



Algoritma Simulasi menggunakan *software* ETAP *Power Station*:

1. Masukkan data (data trafo, data penghantar, data beban) sistem distribusi 20kV penyulang Jolotundo
2. Menjalankan *load flow* dengan metode Newton Raphson
3. Mengecek kondisi apakah profil tegangan: ($0.95 \leq V_{p.u} \leq 1.05$) serta periksa total P_{loss} dan Q_{loss}
4. Jika profil tegangan di bawah standar maka jalankan proses *optimal capacitor placement* (OCP) untuk menentukan kapasitas dan lokasi kapasitor ditempatkan.
5. Kembali ke posisi no 2 untuk melihat kondisi sistem setelah pemasangan kapasitor bank.
6. Jika pada nomor 3 terpenuhi maka proses berlanjut.
7. Hasil dan Analisis Hasil dilakukan untuk menganalisis hasil penempatan kapasitor
8. Selesai

Kemudian berikut adalah sub *flowchat* pada program *optimal capacitor placement*



Gambar 2. Sub *Flowchat* *Optimal Capacitor Placement*

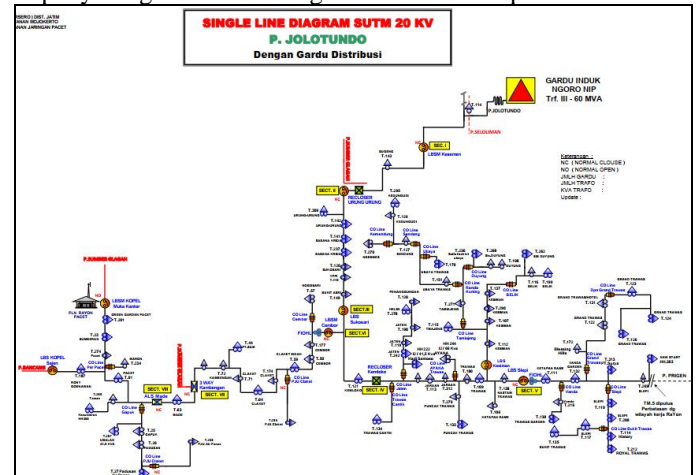
Algoritma Simulasi pada program *optimal capacitor placement* (OCP)

1. Buka program *optimal capacitor placement*.
2. Tentukan kandidat bus yang akan ditempatkan kapasitor (penempatan kapasitor di pilih pada bus yang nilainya di bawah standar tegangan (kondisi *undervoltage*) yaitu kondisi tegangan kurang dari 0,95 p.u, atau juga bisa pada area bus yang memiliki penurunan rating tegangan terendah).
3. Jalankan program *optimal capacitor placement* untuk mengetahui tempat, jumlah, dan kapasitas kapasitor yang ditentukan oleh program.
4. Pasang kapasitor sesuai tempat dan kapasitas kapasitor yang telah ditentukan OCP.
5. Jalankan kembali simulasi *loadflow*.

HASIL DAN ANALISIS HASIL

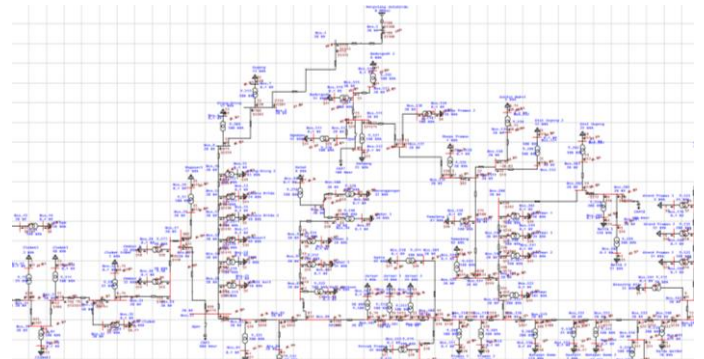
A. Sistem Distribusi Penyulang Jolotundo

Pemasangan kapasitor dilakukan pada jaringan distribusi pada *load bus* atau bus yang terhubung dengan beban, pada penelitian ini penulis menggunakan jaringan distribusi 20 kV di penyulang Jolotundo dengan kondisi beban puncak.



Gambar 3. *Single Line Diagram* Jaringan 20kV Penyulang Jolotundo

B. Kondisi Sistem Sebelum Pemasangan Kapasitor



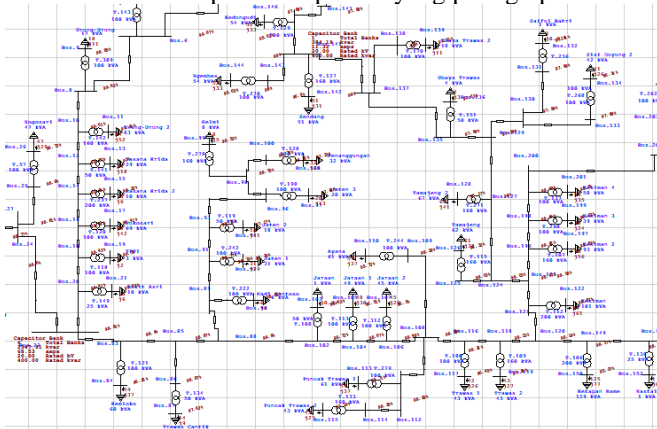
Gambar 4. *Running load flow* kondisi base case

Pada penyulang Jolotundo terdapat 109 bus yang mengalami kondisi penurunan tegangan (*undervoltage*) dikarenakan panjangnya saluran udara tingkat menengah (SUTM) dan beban yang nonlinear yang menyebabkan turunnya profil tegangan, sehingga harus dinaikkan pada kondisi yang sesuai dengan standar PLN yaitu $0,95 \text{ pu} \leq V \leq 1,05 \text{ pu}$.

C. Penentuan Kandidat Bus dan Lokasi Penempatan Kapasitor

Dalam menentukan bus kandidat sebagai lokasi kapasitor di pilih bus dengan nilai di bawah standar tegangan nominal (kondisi *undervoltage*) yaitu di bawah nilai 0.95pu, atau juga bisa pada area bus yang memiliki penurunan rating tegangan terendah. Kandidat bus yang di pilih pada penyulang Jolotundo ini yaitu bus 22,41,61,69,120,141,171,176,188, dan 202.

Pada saat program *optimal capacitor placement* dijalankan, program akan memilih bus kandidat yang telah dipilih dan akan diseleksi menggunakan algoritma genetika, manakah lokasi dan kapasitas kapasitor yang paling optimal.



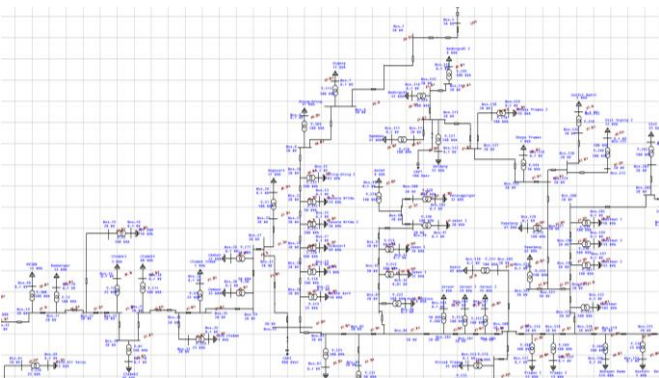
Gambar 5. Hasil OCP untuk penentuan lokasi dan kapasitas optimal kapasitor

Tabel 2. Hasil penentuan lokasi dan kapasitas kapasitor

ID BUS	Banks (kVar)	Rating Tegangan (kV)	Jumlah Banks	Total Banks
22	400	20	2	800
61	400	20	2	800
141	400	20	1	400
188	400	20	1	400
205	400	20	1	400

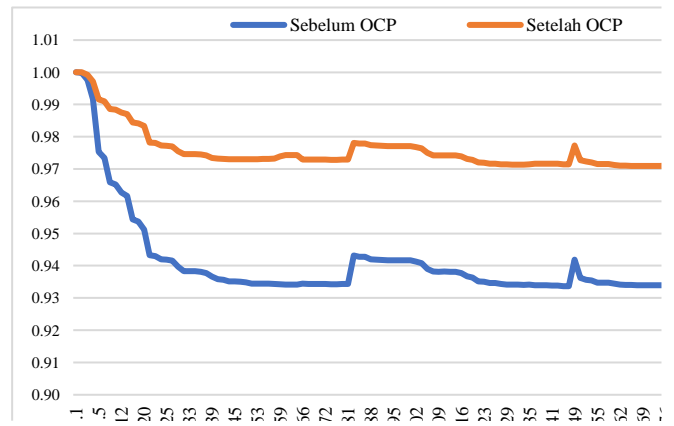
Setelah dijalankan menggunakan program *optimal capacitor placement* (OCP) program menampilkan lokasi dan kapasitas kapasitor yang optimal yang akan dipasang pada bus yang telah ditentukan sehingga penempatan kapasitor yang telah ditentukan dapat menginjeksikan daya reaktif ke seluruh sistem secara optimal.

D. Kondisi Sistem Setelah Pemasangan Kapasitor



Gambar 6. Running load flow kondisi setelah penempatan kapasitor

Setelah dilakukan pemasangan kapasitor maka di lihat bahwa sekitar 109 bus yang mengalami kondisi *undervoltage* dapat kembali pada kondisi normalnya yaitu di atas 0.95 p.u, demikian juga bus berada pada kondisi normal di atas 0.95 p.u juga mengalami peningkatan.

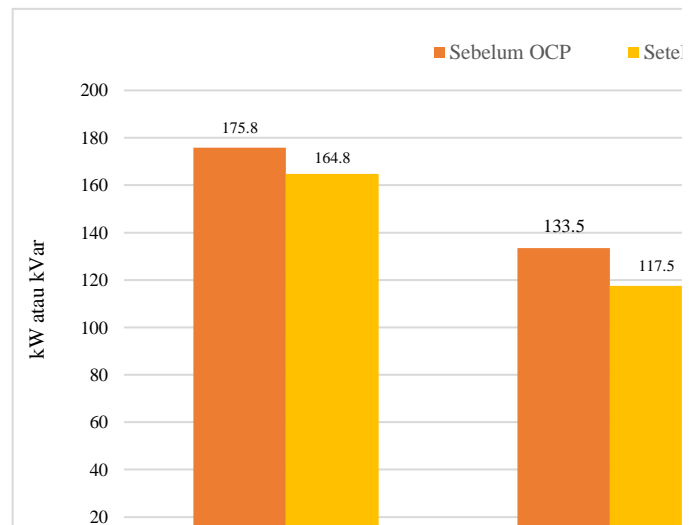


Gambar 7. Profil tegangan sebelum dan sesudah penempatan kapasitor

E. Perbandingan Total Rugi Daya Aktif dan Daya Reaktif

Table 3. Perbandingan total losses pada kondisi base case dan setelah OCP

Kondisi	P_{loss} (kW)	Q_{loss} (kVar)
Base Case	175.8	133.5
Setelah OCP	164.8	117.5



Gambar 8. Perbandingan total losses pada kondisi sebelum dan setelah OCP

Dari pemaparan tabel dan grafik di atas, dapat di lihat bahwa nilai *losses* pada daya nyata (kW) dan daya reaktif (kVar) menurun dikarenakan adanya kompensasi daya reaktif pada kapasitor yang mengakibatkan menurunnya *losses* dan meningkatnya profil tegangan pada sistem.

KESIMPULAN

Setelah melakukan analisis penempatan optimal kapasitor pada saluran distribusi 20 kV di penyulang Jolotundo maka dapat di simpulkan bahwa metode *optimal capacitor placement* (OCP) yang diterapkan pada penelitian ini berhasil menentukan lokasi dan kapasitas kapasitor yang optimal sehingga dapat memperbaiki profil tegangan dan rugi-rugi daya pada penyulang Jolotundo.

Setelah pemasangan kapasitor menggunakan program *optimal capacitor placement* profil tegangan yang sebelumnya mengalami *undervoltage* dengan nilai tegangan bus 0.93 p.u – 0.94 p.u dapat ditingkatkan menjadi 0.97 p.u – 0.98 p.u. sedangkan rugi-rugi daya yang dapat direduksi setelah pemasangan kapasitor optimal menggunakan program *optimal capacitor placement* (OCP) yang kondisi sebelum pemasangan kapasitor Ploss 175.8 kW dan Qloss 133.5 kVar setelah pemasangan kapasitor menjadi Ploss 164.8 kW dan Qloss 117.5 kVar.

REFERENSI

- [1] V. F. Dr. Vladimir, “Analisa Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi Primer Penyulang Adhyaksa Makassar,” *Gastron. ecuatoriana y Tur. local.*, vol. 1, no. 69, pp. 5–24, 1967.
- [2] Ejajal, “Optimal capacitor placement and sizing in unbalanced distribution ...,” vol. 2, no. 5, pp. 103–113, 2008.
- [3] C. Saleh, A. U. Krismanto, and A. Lomi, “Implementasi Bank Kapasitor Untuk Perbaikan Profil Tegangan Sistem Distribusi 20 kV Menggunakan Software ETAP Power Station di Rayon Besuki,” *Elektr. J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 17–21, 2017, Accessed: Oct. 13, 2021. [Online]. Available: <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/elektrika/article/view/2149>.
- [4] 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, no. September, pp. 483–493, 2016, doi: 10.1002/cplx.21828.
- [5] T. Niizato and Y. Gunji, “Applying Weak Equivalence of Categories Between Partial Map and Pointed Set 2-Arms Bandit Problem,” *Complexity*, vol. 16, no. 4, pp. 10–21, 2011, doi: 10.1002/cplx.
- [6] C. Elchrisa, L. K. Amali, and A. I. Tolago, “Analisis Optimasi Penempatan Kapasitor Bank pada Jaringan Tegangan Menengah 20kV Feeder IS.03 Rayon Limboto untuk Memperbaiki Kualitas Tegangan,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 25–31, 2019, doi: 10.37905/jjee.v1i1.2725.
- [7] E. Dermawan, R. Samsinar, and N. Nurudin, “Studi Optimasi Penempatan dan Ukuran Kapasitor Dengan Metode Genetik Algoritma Pada Distribusi Hotel Starlet,” *Pros. Semnastek*, vol. 0, no. 0, pp. 1–8, 2019, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/5174>.
- [8] M. I. Mashudi, A. U. Krismanto, and N. P. Agustini, “Analisa Pengaruh Variasi Beban Terhadap Profil Tegangan Pada Feeder GI Polehan Distribusi 20 kV PLN Kota Malang,” pp. 367–377.
- [9] and J. S. D. William, *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta: Erlangga, 1990.
- [10] E. Wijanarko, T. Sukmadi, and A. Nugroho, “Optimasi Penempatan Kapasitor Shunt Untuk Perbaikan Daya Reaktif Pada Penyulang Distribusi Primer Radial Dengan Algoritma Genetik,” 2011, Accessed: Jun. 05, 2022. [Online]. Available: <http://eprints.undip.ac.id/25755/>.
- [11] H. P. Anugrah, “Analisis Kebutuhan Kapasitor Bank Pada Bus Beban Untuk Perbaikan Faktor Daya Dan Drop Tegangan Menggunakan Simulasi Optimal Capacitor Placement Etap 12.6 (Studi kasus Bandar Udara Internasional Juanda Surabaya),” 2019.
- [12] *Buku Standar SPLN, Nomor 1 Tahun 1995, “Tegangan-Tegangan Standar”*. .