

# Perbaikan Rugi-Rugi Daya Listrik Menggunakan Kapasitor Bank dan Tap Pengubah Sadapan Dengan Algoritma *Shark Smell*

Radiktyo Nindyo Sumarno <sup>1\*</sup>, Susatyo Handoko <sup>2</sup>, Mochammad Facta <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

<sup>2</sup> Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

## Abstrak

Salah satu cara mengoptimalkan saluran transmisi adalah dengan mengurangi rugi-rugi daya listrik. Tap pengubah sadapan pada transformator daya dan kapasitor bank dapat digunakan untuk mengatur tegangan sistem yang berakibat menurunkan rugi-rugi daya di saluran transmisi. Penentuan nilai tap setting dan kapasitor bank dalam proses perencanaan sulit dilakukan secara pasti sehingga umumnya dilakukan melalui mekanisme trial and error menggunakan metoda aliran daya. Karena penentuan nilai tap setting dan kapasitor bank yang sulit dilakukan secara pasti, maka pada penelitian ini dilakukan optimasi dengan algoritma shark smell yang bertujuan untuk mendapatkan nilai pengubah sadapan dan kapasitor bank yang lebih tepat pada sistem IEEE 30-bus. Pada penelitian ini dilakukan beberapa optimasi yaitu optimasi tap setting, optimasi kapasitor bank, dan optimasi tap setting yang dikombinasikan dengan optimasi kapasitor bank. Pada kondisi optimasi tap setting, diperoleh pengurangan rugi-rugi daya aktif sebesar 0,65% dari kondisi tanpa optimasi. Pada optimasi kapasitor bank, diperoleh pengurangan rugi-rugi daya aktif sebesar 0,90% dibandingkan kondisi tanpa optimasi. Pada optimasi kombinasi tap setting dan kapasitor bank diperoleh pengurangan rugi-rugi daya aktif sebesar 1,23%. Perbandingan hasil dari semua optimasi tersebut didapatkan hasil bahwa kombinasi optimasi tap setting dan kapasitor bank diperoleh pengurangan rugi-rugi daya aktif paling besar. Pada penelitian ini dihasilkan pengurangan rugi-rugi daya aktif sebesar 217,2 kW. Berdasarkan nilai pengujian, didapatkan hasil bahwa algoritma Shark Smell dapat memberikan hasil optimasi yang lebih baik 1,23% dibandingkan kondisi tanpa optimasi.

**Kata kunci:** kapasitor bank; tap pengubah sadapan; rugi-rugi daya listrik; algoritma Shark Smell

## Abstract

**[Title: The Improvement of Electric Power Losses Using Bank Capacitor and Tap Changer With Shark Smell Algorithm]** One way to optimize the transmission line is to reduce electrical power losses. Tap changers on power transformers and bank capacitors can be used to regulate the system voltage resulting in lower power losses in the transmission line. Determining the value of tap settings and bank capacitors in the planning process is challenging to do with certainty. It is generally carried out through a trial and error mechanism using the power flow method. Since the determination of tap settings and bank capacitors values is difficult to do with certainty, this research was carried out with optimization with the shark smell algorithm. Such optimization aims to get a more appropriate tap changer and capacitor bank change values on the IEEE 30-bus system. In this study, several optimizations were carried out, namely optimization of tap settings, optimization of bank capacitors, and tap setting optimization combined with bank capacitors' optimization. Conducting tap setting optimization, we obtained an active power loss of 0.65% from the condition without optimization. In optimizing bank capacitors, we reduce active power losses of 0.90% compared to conditions without optimization. In optimizing the combination of tap setting and bank capacitors, the active power losses are reduced by 1.23%. Comparing the results of all these

optimizations shows that the combination of bank tap setting and capacitor optimization is obtained by reducing the most active power losses. In this study, the reduction of active power losses resulted

---

<sup>\*</sup>) Penulis Korespondensi.  
E-mail: radiktyons@gmail.com

in 217.2 kW. The results show that the Shark Smell algorithm can provide better optimization results of 1.23% compared to conditions without optimization based on the test value.

**Keywords:** bank capacitors; tap changer; electric power losses; Shark Smell algorithm

## 1. Pendahuluan

Sistem kelistrikan merupakan salah satu kebutuhan yang harus terpenuhi dalam mendukung keberlangsungan aktivitas masyarakat. Pertumbuhan beban dari waktu ke waktu semakin bertambah dan harus diikuti dengan penyediaan daya listrik yang handal. Perubahan beban, komposisi unit pembangkit yang beroperasi, dan perubahan konfigurasi jaringan akan berdampak pada bervariasinya level tegangan pada gardu induk. Sistem transmisi dipaksa beroperasi pada batas stabilnya agar dapat mengikuti pertumbuhan yang berjalan sehingga sistem sering kali mengalami gangguan maupun kerusakan. Umumnya, gardu-gardu listrik yang berada jauh dari pusat pembangkit listrik akan mengalami penurunan level tegangan yang cukup besar, sehingga diperlukan sistem kompensasi daya reaktif yang dapat mengikuti perubahan tegangan tersebut (Bangun, 2016).

Perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan dalam sistem tenaga listrik mendorong untuk meningkatkan optimasi aliran daya tanpa mengubah bentuk jaringan. Salah satu cara yang bisa dilakukan yaitu dengan menempatkan kapasitor bank dan *tap changer* (tap pengubah sadapan) secara bersamaan pada jaringan transmisi. Penggunaan kedua peralatan tersebut diharapkan mampu mengurangi rugi-rugi daya listrik yang terjadi pada sistem tenaga listrik.

Kapasitor bank dapat memperbaiki faktor daya dan mempertahankan tegangan pada batas yang diijinkan. Jika suatu jaringan tidak mempunyai sumber daya reaktif disekitar beban reaktifnya maka kebutuhan daya reaktif akan disuplai dari generator sehingga arus reaktif akan mengalir pada jaringan yang menyebabkan faktor daya dan tegangan menurun. Penyerapan daya reaktif oleh beban ini akan menyebabkan jatuh tegangan. Penurunan faktor daya dan tegangan tersebut dapat dikurangi dengan pemasangan kapasitor bank di posisi yang optimal. Penggunaan kapasitor bank dapat memperbaiki faktor daya dan tegangan kerja (Alamajibuwono *dkk.*, 2011; Tampubolon & Sjani, 2014). Penelitian terdahulu sudah ada yang membahas mengenai penempatan kapasitor bank. Optimasi penempatan kapasitor dilakukan dengan menggunakan beberapa algoritma seperti algoritma genetika (Szuvovivski *dkk.*, 2012), *Particle Swarm Optimization* (Singh & Rao, 2012), dan *Clustering Based Optimization* (Vuletić & Todorovski, 2014).

Tap pengubah sadapan merupakan salah satu peralatan listrik yang banyak diaplikasikan dalam

optimasi tenaga listrik. Optimasi penggunaan tap pengubah sadapan dilakukan dengan bantuan berbagai algoritma optimasi seperti algoritma genetika adaptif (Ganguly & Samajpati, 2017) dan *Simulated Annealing Teaching Learning Based Optimization* (Hosseinpour & Bastaeae, 2015).

Penggunaan kapasitor bank dapat dikombinasikan dengan tap pengubah sadapan untuk mengontrol daya reaktif. Tap pengubah sadapan dapat membantu menjaga tegangan pada batas yang diinginkan. Kombinasi optimasi dari kapasitor bank dan tap pengubah sadapan sudah pernah dilakukan. Kombinasi kedua peralatan tersebut dapat optimal apabila dipasang dengan nilai setting yang paling optimal. Penelitian tersebut dilakukan pada jaringan distribusi dengan menggunakan algoritma *Modified Discrete Particle Swarm Optimization* (Ziari *dkk.*, 2013), *Hybrid Particle Swarm Optimization-Tabu Search* (Ahmadian *dkk.*, 2016), *Simulated Annealing* (Gomes & Saraiva, 2009), dan algoritma genetika (Aryanezhad, 2018).

Salah satu algoritma yang dapat membantu menghitung optimasi adalah algoritma *Shark Smell Optimization* (SSO). Metode yang berbasis pada tingkah laku ikan hiu menggunakan penciuman dan kecepatannya dalam mendekati partikel bau darah mangsa. Dalam penelitian ini, ikan atau individu merepresentasikan nilai kapasitor bank dan nilai tap changer. Kecepatan ikan merepresentasikan proses iterasi dalam mencari solusi terbaik. Partikel bau darah mangsa merepresentasikan nilai rugi-rugi daya listrik. Semakin tinggi konsentrasi partikel bau maka semakin kecil nilai rugi-rugi daya listrik (Gnanasekaran *dkk.*, 2016).

Algoritma SSO merupakan algoritma yang tergolong baru. Beberapa penelitian terdahulu sudah pernah dilakukan. Algoritma ini pernah digunakan untuk optimasi penempatan kapasitor (Gnanasekaran *dkk.*, 2016), optimasi investasi DG (Ahmadigorji & Amjady, 2016), optimasi prediksi angin (Abedinia & Amjady, 2015), dan optimasi operasi reservoir (Ehteram *dkk.*, 2017). Maka dari itu, penelitian ini membuat optimasi kombinasi dari kapasitor bank dan tap pengubah sadapan secara bersamaan dengan bantuan algoritma SSO. Perbedaan dari penelitian sebelumnya adalah penelitian mengkombinasikan kapasitor bank dan tap pengubah sadapan secara bersamaan. Penggunaan algoritma *shark smell* untuk optimasi kombinasi kapasitor bank dan tap pengubah sadapan juga belum pernah dilakukan.

**2. Bahan dan Metode**

Perancangan sistem optimasi ini dimulai dengan memasukkan parameter SSO dan data jaringan. Penelitian ini menggunakan data jaringan listrik IEEE 30-bus(Saadat, 1999). Proses perhitungan aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson*. Proses optimasi menggunakan algoritma *shark smell*. Diagram alir proses perancangan secara umum dapat ditunjukkan pada Gambar 1. Algoritma pada penelitian ini menggunakan algoritma SSO. Pada Gambar 1, algoritma ini diawali dengan menentukan parameter operasi dari SSO. Parameter-parameter tersebut diantaranya adalah ukuran populasi, maksimal iterasi, jumlah variabel, batas bawah individu, batas atas individu,  $\eta_k$ ,  $\alpha_k$ ,  $\beta_k$ , dan  $t_k$ .

Setelah parameter operasi ditentukan, membangkitkan populasi awal dan kecepatan awal individu. Individu dalam algoritma SSO digambarkan sebagai seekor ikan hiu. Kemudian melakukan input data jaringan. Data jaringan yang akan dianalisis adalah data jaringan IEEE 30-bus(Saadat, 1999) seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Data jaringan yang ada dihitung aliran dayanya. *Fitness* pada penelitian ini mengandung informasi berupa nilai rugi-rugi daya aktif. Langkah selanjutnya adalah pergerakan individu. Pergerakan ini terdiri dari pergerakan maju dan pergerakan berputar. Pergerakan maju digunakan untuk mendekati target mangsa dari hasil penciuman. Persamaan untuk pergerakan ini adalah Persamaan 1.

$$Y = X + V \cdot \Delta t \tag{1}$$

dimana, Y merupakan posisi baru dari pergerakan, X merupakan posisi awal individu, V merupakan kecepatan individu, dan  $\Delta t$  merupakan interval waktu.

Pergerakan berputar digunakan untuk mencari posisi mangsa secara lebih presisi setelah gerakan maju. Persamaan untuk pergerakan ini adalah Persamaan 2.

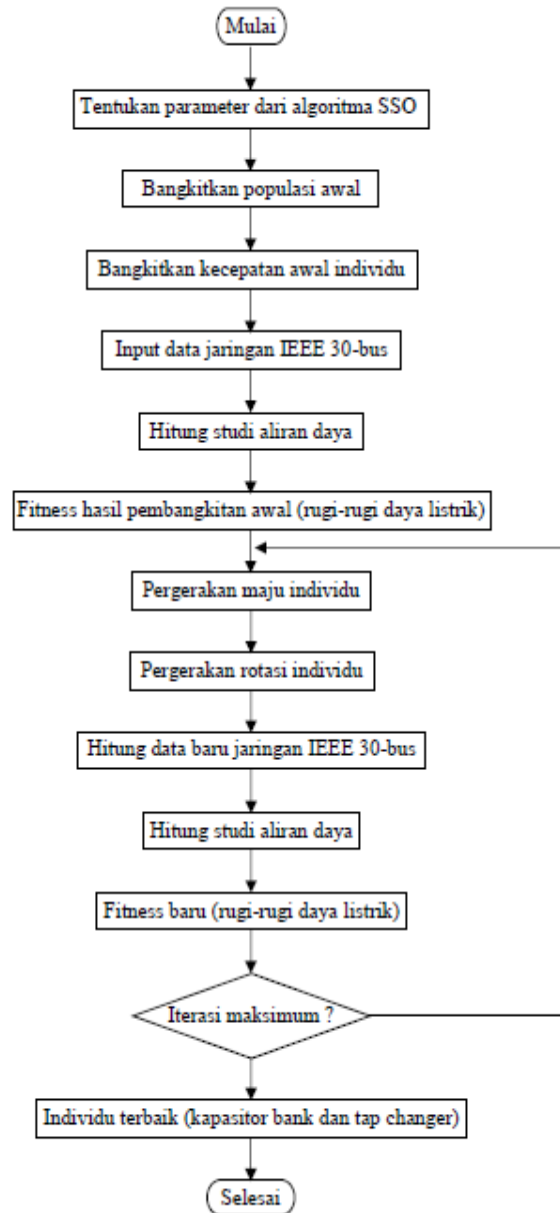
$$Z = Y + R \cdot Y \tag{2}$$

dimana, Z merupakan posisi baru dari pergerakan berputar, Y merupakan posisi baru dari pergerakan maju, dan R merupakan bilangan yang dibangkitkan secara acak.

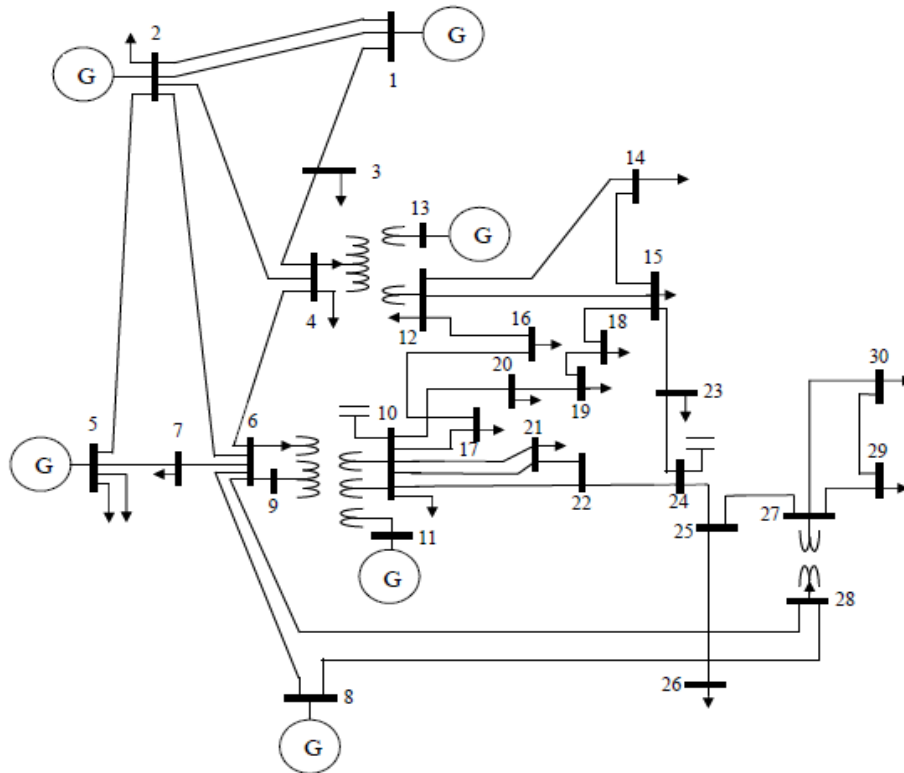
Hasil dari proses pergerakan individu ini dimasukkan kedalam data awal jaringan IEEE 30-bus (Saadat, 1999). Selanjutnya dengan data jaringan yang baru dihitung aliran daya dan nilai *fitness* barunya. Nilai *fitness* yang baru mengandung informasi rugi-rugi daya aktif yang baru.

**3. Hasil dan Pembahasan**

Penelitian ini menggunakan data jaringan IEEE 30-bus untuk menganalisis optimasi algoritma *shark smell optimization (SSO)*. Pada jaringan IEEE 30-bus(Saadat, 1999) terdapat 4 trafo yang setting tap pengubah sadapannya dan 2 buah kapasitor bank yang nilainya sudah ditentukan. Sistem IEEE 30-bus (Saadat, 1999) mempunyai data *setting* tap trafo dan nilai kapasitor seperti terlihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Diagram Alir Sistem



Gambar 2. Sistem IEEE 30-bus (Saadat, 1999)

Perhitungan aliran daya pada penelitian menggunakan metode *Newton-Raphson*. Pengujian optimasi pada penelitian ini menggunakan SSO yang dilakukan selama 20 iterasi. Pengujian dilakukan dengan 3 variasi yang berbeda-beda. Pengujian ini menggunakan parameter jumlah populasi (*pop*), parameter maksimal iterasi (*maxit*), parameter stokastik gradien ( $\eta_k$ ), parameter inersia ( $\alpha_k$ ), parameter pembatas kecepatan ( $\beta_k$ ), dan interval waktu ( $t_k$ ) dengan nilai parameter terlihat pada Tabel 2. Pengujian ini menggunakan nilai maksimum batas kapasitor bank pertama sebesar 19 MVar dan batas kapasitor bank kedua sebesar 4,3 MVar. Sedangkan nilai *setting* tap pengubah sadapan pada 0,75 – 1,25.

Pengujian pertama optimasi nilai tap trafo tanpa dikombinasikan dengan optimasi kapasitor bank. Kapasitor bank diatur bernilai 0. Pengujian ini menggunakan nilai *setting* tap pengubah sadapan 0,75 – 1,25. Hasil pengujian pertama dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil pengujian optimasi tap pengubah sadapan tanpa dikombinasikan dengan optimasi kapasitor bank didapatkan hasil rugi-rugi daya aktif terkecil sebesar 17,5449 MW. Rugi-rugi daya aktif tersebut diperoleh pada uji coba ke-2. Proses iterasi pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Data Peralatan Sistem

Peralatan	Nilai Setting	Letak Peralatan
Kapasitor Bank 1	19 MVar	Bus 10
Kapasitor Bank 2	4,3 MVar	Bus 24
Tap Trafo 1	0,978	Antara bus 6 dan bus 9
Tap Trafo 2	0,969	Antara bus 6 dan bus 10
Tap Trafo 3	0,932	Antara bus 4 dan bus 12
Tap Trafo 4	0,968	Antara bus 27 dan bus 28

Tabel 2. Nilai Parameter Pengujian

Parameter	Nilai
<i>pop</i>	150
<i>maxit</i>	20
$\eta_k$	0,80
$\alpha_k$	0,05
$\beta_k$	4
$t_k$	1

Pengujian selanjutnya adalah optimasi kapasitor bank tanpa dikombinasikan dengan optimasi tap pengubah sadapan. Tap pengubah sadapan diatur bernilai 1. Pengujian ini menggunakan parameter SSO yang sama dengan pengujian sebelumnya. Pengujian ini menggunakan nilai maksimum batas kapasitor bank pertama sebesar 19 MVar dan batas kapasitor bank kedua sebesar 4,3 MVar.

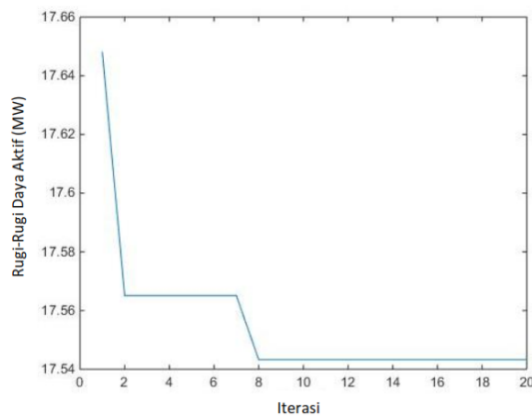
Hasil pengujian optimasi kapasitor bank tanpa dikombinasikan dengan optimasi tap pengubah sadapan didapatkan hasil rugi-rugi daya aktif terkecil sebesar 17,5002 MW. Rugi-rugi daya aktif tersebut diperoleh pada semua uji coba yang dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil

tersebut diperoleh karena optimasi untuk variasi kasus ini mudah mencapai nilai konvergennya. Proses iterasi pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 4.

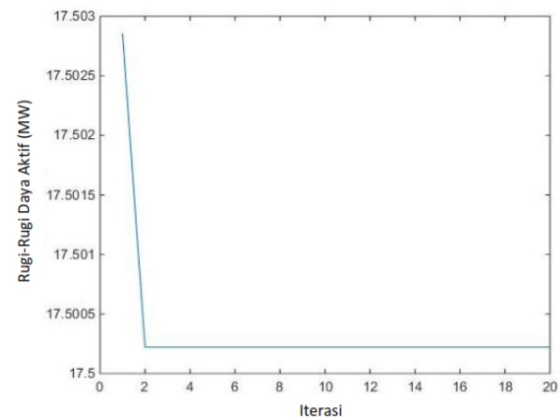
Pengujian selanjutnya adalah optimasi tap pengubah sadapan yang dikombinasikan dengan optimasi kapasitor bank. Pengujian ini menggunakan parameter SSO yang sama dengan pengujian sebelumnya. Hasil pengujian kombinasi optimasi tap pengubah sadapan dan kapasitor bank dapat dilihat pada Tabel 5 dan didapatkan hasil rugi-rugi daya aktif terkecil sebesar 17,4418 MW. Rugi-rugi daya aktif tersebut diperoleh pada uji coba pertama. Proses iterasi pada pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 5.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Optimasi Tap Trafo (Tanpa Kapasitor Bank)

Uji Coba ke	Tap Setting Trafo 1	Tap Setting Trafo 2	Tap Setting Trafo 3	Tap Setting Trafo 4	Rugi-Rugi Daya Aktif (MW)
1	0,9803	0,9803	1,0441	0,9803	17,5601
2	1,0405	0,8490	1,0405	0,9608	17,5449
3	0,9691	0,9691	1,0476	0,9691	17,5510
4	0,9621	0,9621	1,0145	0,9621	17,5534
5	0,9514	0,9514	1,0142	0,9514	17,5550



**Gambar 3.** Rugi-rugi daya aktif terkecil pada optimasi tap pengubah sadapan tanpa optimasi kapasitor bank



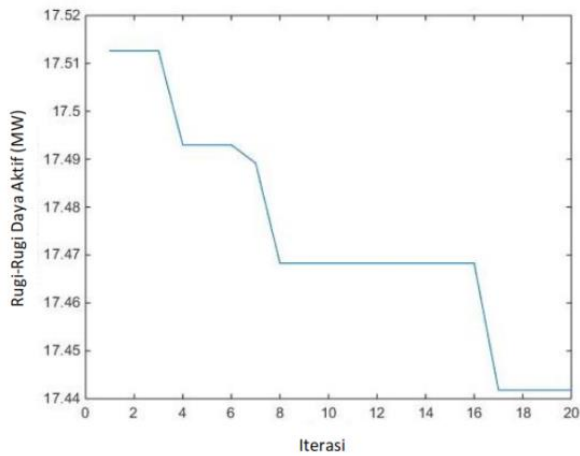
**Gambar 4.** Rugi-rugi daya aktif terkecil pada optimasi kapasitor bank tanpa optimasi tap pengubah sadapan

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Optimasi Kapasitor Bank (Tanpa Tap Setting)

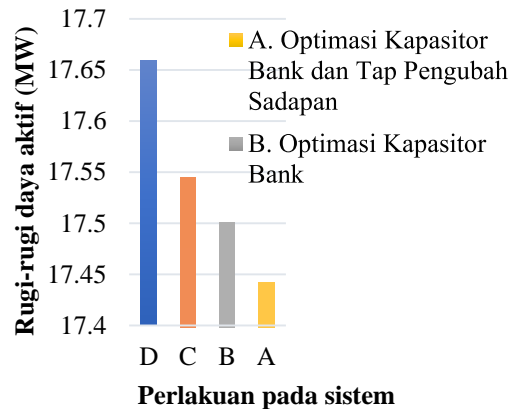
Uji Coba ke	Kapasitor Bank 1	Kapasitor Bank 2	Rugi-Rugi Daya Aktif (MW)
1	19	4,3	17,5002
2	19	4,3	17,5002
3	19	4,3	17,5002
4	19	4,3	17,5002
5	19	4,3	17,5002

Tabel 5. Hasil Pengujian Kombinasi Optimasi Tap Trafo dan Kapasitor Bank

Uji Coba ke	Tap Setting Trafo 1	Tap Setting Trafo 2	Tap Setting Trafo 3	Tap Setting Trafo 4	Kapasitor Bank 1	Kapasitor Bank 2	Rugi-Rugi Daya Aktif (MW)
1	0,9920	0,9920	0,9920	0,9501	15,2486	3,5294	17,4418
2	0,9770	0,9770	1,0548	0,9770	17,0449	3,8984	17,4866
3	1,1191	0,8433	0,9912	0,9703	7,3821	3,3560	17,4709
4	0,9696	0,9696	0,9696	0,9696	16,0652	3,6972	17,4743
5	1,0124	1,0124	1,0124	0,9348	14,8810	3,4539	17,4804



Gambar 5. Rugi-rugi daya aktif terkecil pada optimasi kombinasi kapasitor bank dan tap pengubah sadapan



Gambar 6. Perbandingan rugi-rugi daya aktif

Perbandingan rugi-rugi daya aktif terkecil pada sistem jaringan yang diuji pada keadaan standar (tanpa optimasi) dibandingkan dengan rugi-rugi daya aktif terkecil pada semua variasi parameter ketika dilakukan optimasi menggunakan SSO dapat dilihat pada Tabel 6. Dari Tabel 6 didapatkan rugi-rugi daya aktif mengalami penurunan ketika sudah dioptimasi menggunakan algoritma optimasi. Pada penelitian ini terlihat optimasi kapasitor bank saja tanpa optimasi tap pengubah sadapan mampu memperbaiki rugi-rugi daya aktif lebih baik dibandingkan optimasi tap pengubah sadapan saja tanpa optimasi kapasitor bank. Optimasi kombinasi tap pengubah sadapan dan kapasitor bank menghasilkan rugi-rugi daya aktif paling kecil sebesar 17,4418 MW.

Nilai kapasitor bank lebih memegang peranan penting dalam optimasi jaringan *IEEE 30-bus* (Saadat, 1999) ini dibandingkan nilai *setting* tap pengubah sadapan. Hal ini terlihat dari optimasi kapasitor bank menghasilkan penurunan rugi-rugi daya aktif yang lebih besar dari kondisi *setting* awal dibandingkan penurunan rugi-rugi daya aktif pada optimasi tap pengubah sadapan dari kondisi *setting* awal seperti yang terlihat pada Gambar 6.

Tabel 6. Perbandingan Rugi-Rugi Daya Aktif Sebelum Optimasi Dan Setelah Optimasi

Algoritma Optimasi	Rugi-Rugi Daya Aktif (MW)
Tanpa Optimasi ( <i>Setting</i> Awal)	17,6590
Optimasi Tap Pengubah Sadapan	17,5449
Optimasi Kapasitor Bank	17,5002
Optimasi Kapasitor Bank dan Tap Pengubah Sadapan	17,4418

4. Kesimpulan

Berdasarkan nilai pengujian *setting* tap pengubah sadapan dan nilai kapasitor bank secara keseluruhan dengan menggunakan algoritma SSO, didapatkan hasil bahwa algoritma SSO dapat memberikan hasil optimasi yang lebih baik dibandingkan kondisi tanpa optimasi. Optimasi tap pengubah sadapan menghasilkan rugi-rugi daya aktif sebesar 17,5449 MW dan diperoleh penurunan rugi-rugi daya sebesar 0,65% dari kondisi tanpa optimasi. Optimasi kapasitor bank menghasilkan rugi-rugi daya aktif sebesar 17,5002 MW dan diperoleh penurunan rugi-rugi daya sebesar 0,90% dari kondisi tanpa optimasi. Kombinasi optimasi keduanya

menghasilkan rugi-rugi daya aktif sebesar 17,4418 MW dan diperoleh penurunan rugi-rugi daya sebesar 1,23% dari kondisi tanpa optimasi.

Berdasarkan hasil tersebut pada sistem yang diuji, nilai kapasitor bank lebih memegang peranan penting dalam mengurangi rugi-rugi daya aktif daripada nilai *setting* tap pengubah sadapan. Optimasi rugi-rugi daya aktif pada penelitian ini menghasilkan penurunan daya aktif sebesar 0,2172 MW atau 217,2 kW.

#### Daftar Pustaka

- Abedinia, O., & Amjady, N. (2015). Short-term wind power prediction based on Hybrid Neural Network and chaotic shark smell optimization. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, 2(3), 245–254. <https://doi.org/10.1007/s40684-015-0029-4>
- Ahmadian, A., Sedghi, M., Aliakbar-Golkar, M., Elkamel, A., & Fowler, M. (2016). Optimal probabilistic based storage planning in tap-changer equipped distribution network including PEVs, capacitor banks and WDGs: A case study for Iran. *Energy*, 112, 984–997.
- Ahmadigorji, M., & Amjady, N. (2016). A multiyear DG-incorporated framework for expansion planning of distribution networks using binary chaotic shark smell optimization algorithm. *Energy*, 102, 199–215. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.088>
- Alamajibuwono, H., Sukmadi, T., & Handoko, S. (2011). *Optimasi Penempatan Kapasitor Menggunakan Algoritma Genetika Pada Sistem Distribusi Untuk Memperbaiki Faktor Daya dan Tegangan*. Disertasi. Universitas Diponegoro.
- Aryanezhad, M. (2018). Management and coordination of LTC, SVR, shunt capacitor and energy storage with high PV penetration in power distribution system for voltage regulation and power loss minimization. *Electrical Power and Energy Systems*, 100, 178–192.
- Bangun, A. W. (2016). *Penempatan SVC Untuk Memperbaiki Profil Tegangan Pada Jaringan Transmisi PT. PLN Lampung*. Universitas Lampung.
- Ehteram, M., Karami, H., M., S.-F., El-Shafie, A., & Amini, Z. (2017). Optimizing Dam and Reservoirs Operation Based Model Utilizing Shark Algorithm Approach. *Knowledge-Based System*, 122, 26–38.
- Ganguly, S., & Samajpati, D. (2017). Distributed Generation Allocation With On-Load Tap Changer On Radial Distribution Network Using Adaptive Genetic Algorithm. *Applied Soft Computing*, 59, 45–67.
- Gnanasekaran, N., Chandramohan, S., Kumar, P. S., & Mohamed Imran, A. (2016). Optimal placement of capacitors in radial distribution system using shark smell optimization algorithm. *Ain Shams Engineering Journal*, 7(2), 907–916. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2016.01.006>
- Gomes, M. H., & Saraiva, J. T. (2009). A market based active/reactive dispatch including transformer taps and reactor and capacitor banks using Simulated Annealing. *Electric Power Systems Research*, 79, 959–972.
- Hosseinpour, H., & Bastae, B. (2015). Optimal placement of on-load tap changers in distribution networks using SA-TLBO method. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 64, 1119–1128. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.09.009>
- Saadat, H. (1999). *Power System Analysis*. New York: The McGraw-Hill.
- Singh, S. P., & Rao, A. R. (2012). Optimal allocation of capacitors in distribution systems using particle swarm optimization. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 43(1), 1267–1275. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.06.059>
- Szuvovivski, I., Fernandes, T. S. P., & Aoki, A. R. (2012). Simulation allocation of capacitors and voltage regulators at distribution networks using Genetic Algorithms and Optimal Power Flow. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 40(1), 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.02.006>
- Tampubolon, D., & Sjani, M. (2014). Optimalisasi Penggunaan Kapasitor Bank Pada Jaringan 20kV Dengan Simulasi ETAP (Studi Kasus Pada Feeder Srikandi di PLN Rayon Pangkalan Balai, Wilayah Sumatera Selatan). Diakses dari [https://jurnal.usu.ac.id/index.php/singuda\\_ensikom/article/download/7689/4014](https://jurnal.usu.ac.id/index.php/singuda_ensikom/article/download/7689/4014)
- Vuletić, J., & Todorovski, M. (2014). Optimal capacitor placement in radial distribution systems using clustering based optimization. *Electrical Power and Energy Systems ScienceDirect*, 62, 229–236.
- Ziari, I., Ledwich, G., & Ghosh, A. (2013). A new technique for optimal allocation and sizing of capacitors and setting of LTC. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 46(1), 250–257. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2012.09.010>