

## OPTIMASI PEMASANGAN KAPASITOR DENGAN MEMPERTIMBANGKAN BIAYA INVESTASI KAPASITOR PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN ALGORITMA APSO

<sup>1</sup>Ayusta Lukita Wardani, <sup>2</sup>Ratna Hartayu

<sup>12</sup> Fakultas Teknik Prodi Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

<sup>1</sup>ayustalukitaw@untag-sby.ac.id, <sup>2</sup>rhatayu@untag-sby.ac.id

### Abstract

Rugi-rugi jaringan pada sistem distribusi dengan jenis radial dapat diperbaiki dengan cara pemasangan kapasitor. Kapasitor memiliki nilai kapasitansi yang beragam dengan biaya yang tidak linier dengan besarnya kapasitas dan umur pemakaian untuk tegangan menengah berkisar 20 tahun. Dengan demikian untuk memasang kapasitor dalam sistem distribusi yang besar merupakan permasalahan multi objektif yang dapat dilakukan dengan algoritma. Pada penelitian ini menggunakan algoritma APSO untuk meminimalkan rugi-rugi jaringan dengan mempertimbangkan biaya investasi selama 20 tahun dengan tetap membatasi tegangan minimal 0.95 pu dan besarnya kapasitor tidak melebihi kebutuhan daya reaktif beban. Metode ini diujikan pada sistem distribusi 33 bus IEEE dengan tegangan 12.66 kV dengan perbandingan analisa aliran daya menggunakan software ETAP. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada kondisi awal memiliki rugi-rugi jaringan sebesar 202.6934 kW dengan tegangan minimum sebesar 0.913 pu setelah dilakukan pemasangan kapasitor didapat perubahan tegangan minimum menjadi 0.9502 dengan rugi-rugi jaringan sebesar 137.6579 kW dengan biaya investasi \$218689.28 dalam kurun waktu 20 tahun.

**Kata kunci:** APSO, biaya investasi, kapasitor, rugi jaringan.

### Pendahuluan

Saluran distribusi menghubungkan antara sistem pembangkitan dan sistem transmisi dengan beban. Sistem distribusi dengan jenis radial memiliki karakteristik banyak cabang, jarak antara sumber pembangkit dengan beban yang jauh, ratio nilai R/X yang tinggi hal ini menyebabkan rugi jaringan.

Salah satu cara untuk mengurangi rugi jaringan dapat menggunakan kapasitor. Kapasitor dapat memberikan dispensasi daya reaktif yang diperlukan oleh beban sehingga daya reaktif saluran menjadi berkurang. Daya reaktif pada saluran menyebabkan arus reaktif berkurang mengakibatkan rugi-rugi jaringan menjadi minimal. Selain itu ketika arus yang mengalir berkurang maka tegangan jatuh akan berkurang sehingga memperbaiki regulasi tegangan.

Banyak penelitian tentang penggunaan kapasitor menggunakan

algoritma PSO dengan merubah-ubah jumlah kapasitor dan besarnya weight kemudian (Prihadana, Penangsang, & Aryani, 20016), ada pula penelitian pemasangan kapasitor dengan menambahkan kondisi yang terdistorsi (Wardani, Penangsang, & Wibowo, 2017). Kelemahan algoritma PSO terletak pada seringkali terjebak pada local optima sehingga akhirnya tidak dapat mencapai nilai yang optimum. Dengan menambahkan nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  dapat mempercepat Gbest untuk konvergen sehingga metode APSO yang akan digunakan oleh penelitian ini (El-Fergany & Abdelaziz, 2014).

Pada penelitian ini menggunakan data IEEE 33 bus dengan minimal tegangan yang diharapkan adalah 0.95 pu sesuai dengan standar IEEE. Tujuan penelitian ini mengurangi rugi-rugi jaringan dengan tetap menjaga tegangan minimal yang ditetapkan dengan cara memasang kapasitor yang ditentukan besar kVAR dan lokasi penempatan bus menggunakan algoritma

APSO dengan mempertimbangkan biaya investasi selama 20 tahun sesuai dengan estimasi umur kapasitor.

### Tinjauan Pustaka

#### 1. Aliran Daya Tiga Fasa Seimbang

Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode Zbr (T-H & N-C, May 2009). Berbeda dengan analisa aliran daya yang lain seperti metode Gauss Seidel, Fast Decoupled dan Newton Rapsion, metode ini memiliki performa yang baik karena dapat menghemat waktu perhitungan. Metode ini tidak menggunakan matriks jacobian namun membuat matriks BIBC (Bus Injection to Branch Current) dan BCBV (Branch Current to Bus Voltage) dimana pembuatan matriks tersebut mengikuti karakter topologi jaringan distribusi yang digunakan.

Dalam pembuatan analisa aliran daya tersebut menggunakan algoritma sebagai berikut sebagai berikut:

- Langkah 1 Masukan data saluran dan beban
- Langkah 2 Membuat matrik BIBC
- Langkah 3 Membuat matrik BCBV
- Langkah 4 Membuat matrik DLV
- Langkah 5 Menetapkan iterasi  $i=0$ , jumlah maksimal iterasi dan besarnya error yang diperbolehkan
- Langkah 6 iterasi  $i=i+1$ , hitung
 
$$I_b^i = \left( \frac{P_b + jQ_b}{V_b^i} \right)$$

$$[\Delta V^i] = [DLF][I^i]$$

Kemudian tegangan diperbarui

$$[V^{i+1}] = [V_{awal}] - [\Delta V^i]$$
- Langkah 7 Jika nilai error  $(|I_b^{i+1}| - |I_b^i|) > \text{toleransi}$ , kembali ke proses langkah 6
- Langkah 8 Tampilkan rugi-rugi dan besarnya arus dan tegangan

#### 2. Kapasitor

Pemasangan kapasitor dapat memberikan manfaat ekonomi pada sistem tenaga listrik antara lain yaitu:

- a. Melepaskan kapasitas generator
- b. Melepaskan kapasitas transmisi
- c. Melepaskan kapasitas substasiun distribusi
- d. Pada sistem distribusi dapat mengurangi rugi-rugi energi, mengurangi tegangan jatuh sehingga dapat memperbaiki regulasi tegangan.

Kapasitor dapat dipasang secara seri maupun parallel tergantung kebutuhan KVAR. Data kapasitas kapasitor yang akan dipasang mulai dari 150 Kvar hingga 2100 (Meysam, Sadegh, Zayandehroodi, H., & Khajezadeh, 2014) dengan jumlah maksimal kapasitor dibatasi 4.

Besarnya kapasitas kapasitor yang akan dipasang tidak melebihi dari besar daya reaktif beban. Dengan mempertimbangkan biaya kapasitor dengan biaya investasi selama 20 tahun.

#### 3. Rugi-rugi jaringan

Rugi-rugi jaringan yang ada pada sistem distribusi dapat berupa energi listrik yang terbuang dalam bentuk panas (Watt) atau dalam bentuk kebocoran medan magnet dan listrik (VAR). Rugi-rugi jaringan menggunakan rumus sebagai berikut :

Batas tegangan minimal yang diharapkan 0.95 pu dan maksimal 1.05 pu.

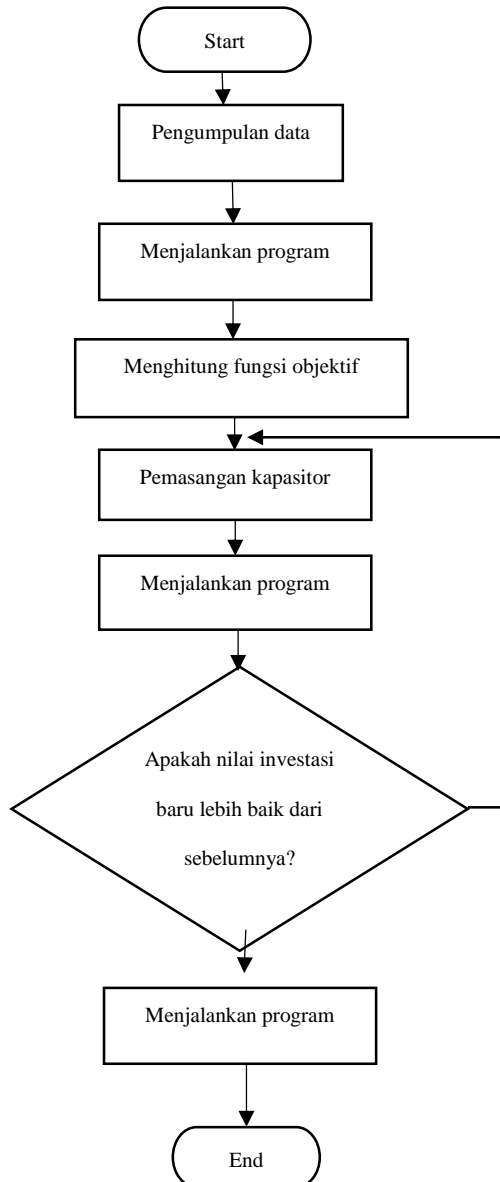
#### 4. APSO

Algoritma APSO (Accelerated Particle Swarm Optimization) merupakan perkembangan dari algoritma PSO dimana kekurangan dari PSO telah diperbaiki. Sering kali PSO terjebak dalam local optima dimana tidak dapat menemukan nilai yang optimal dalam kasus multi objektif. Penambahan nilai  $\alpha$ ,  $\beta$  sebagai koefisien akselerasi pada perumusan *update* kecepatan dan lokasi membuat APSO memiliki performa yang lebih baik.

#### Metodologi

## 1. Alur Penelitian

Metoda penelitian ini dapat dijelaskan secara singkat dengan diagram alir seperti pada gambar dibawah ini



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pemodelan sistem distribusi yang digunakan adalah sistem 33 bus IEEE seimbang dimana data-data beban dan saluran dapat dilihat pada jurnal (Meysam, Sadegh, Zayandehroodi, H., & Khajezadeh, 2014). Tahapan setelah mendapatkan pemodelan sistem distribusi adalah menjalankan program aliran daya fasa seimbang Zbr kemudian menghitung fungsi objektif untuk kemudian

menempatkan lokasi berdasarkan pada jumlah bus pada sistem distribusi. Nilai kapasitas kapasitor dibatasi oleh daya beban reaktif pada jaringan distribusi. Fungsi objektif dari penelitian ini adalah mendapatkan nilai atau harga investasi selama 20 tahun yang paling optimum. Dimana kapasitor pada tegangan menengah umur ekonomisnya adalah 20 tahun.

## 2. Penerapan APSO

Pemasangan kapasitor pada sistem distribusi dengan mempertimbangkan nilai investasi dalam 20 tahun merupakan permasalahan multi objektif dimana tidak hanya memilih nilai investasi yang paling optimum tetapi juga harus memenuhi batasan-batasan yang ada. Sehingga membutuhkan algoritma untuk mengoptimalkannya.

APSO merupakan algoritma terinspirasi oleh perilaku burung yang disebut dengan istilah swarm. Perilaku dalam mencari makanan diterjemahkan dalam pencarian Pbest dan Gbest yang paling optimum. Untuk mempercepat iterasi ditambahkan  $\alpha$  dan  $\beta$ .

Dimana pada program APSO ini nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  yang digunakan 0.5 dan 0.7. Tiap swarm digunakan untuk mencari lokasi pemasangan dan besarnya kapasitas kapasitor dan nilainya akan selalu diperbarui berdasarkan nilai investasi yang paling optimum.

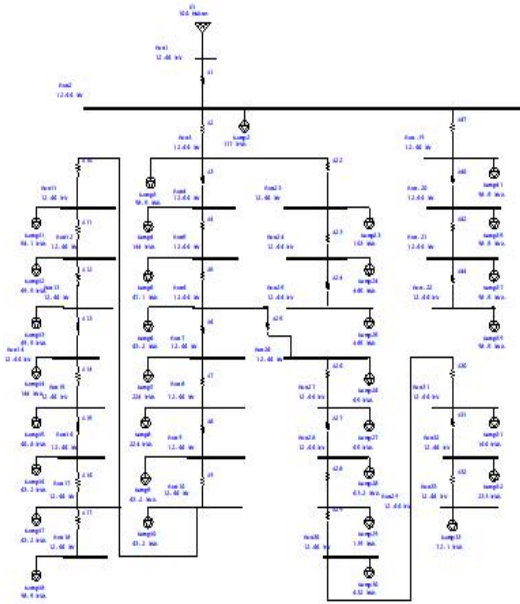
## Hasil Dan Pembahasan

Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini menggunakan MATLAB dengan versi 2014a dan ETAP 12.6.

Pemodelan sistem distribusi tiga fasa seimbang 33 bus IEEE disimulasikan menggunakan ETAP dengan analisa aliran daya menggunakan metode Newton Raphson kemudian akan dibandingkan dengan program yang dibuat dengan MATLAB dengan analisa aliran daya dengan metode ZBR.

Berikut *single line diagram* menggunakan ETAP

OPTIMASI PEMASANGAN KAPASITOR DENGAN MEMPERTIMBANGKAN BIAYA INVESTASI KAPASITOR PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN ALGORITMA APSO



Gambar 2. Single line diagram 33 bus menggunakan ETAP.

Hasil aliran daya dari ETAP dengan menggunakan maksimal iterasi 1000 dengan presisi 0.000001 didapatkan rugi-rugi sebesar 202.7 kW bila dibandingkan dengan MATLAB besarnya adalah 202.6934 kW sehingga jika dibandingkan memiliki error sebesar 0.0032% sehingga dapat disimpulkan bahwa program yang dibuat telah benar. Berikut perbandingan antara ETAP dengan program MATLAB yang dibuat.

Tabel 1. Perbandingan rugi-rugi Jaringan antara ETAP dan MATLAB

Cabang	Rugi-rugi ETAP (kW)	Rugi-rugi MATLAB (kW)
1	12.2405	12.2402
2	51.7917	51.7903
3	19.9007	19.9000
4	18.6992	18.6985
5	38.2492	38.2478
6	1.9146	1.9145
7	4.8586	4.8584
8	4.1807	4.1805
9	3.5611	3.5609
10	0.5537	0.5537
11	0.8812	0.8811

Tabel 1. Perbandingan rugi-rugi Jaringan antara ETAP dan MATLAB (lanjutan)

Cabang	Rugi-rugi	Rugi-rugi
--------	-----------	-----------

	ETAP (kW)	MATLAB (kW)
12	2.6663	2.6662
13	0.7292	0.7292
14	0.3570	0.3570
15	0.2815	0.2815
16	0.2516	0.2516
17	0.0531	0.0531
18	0.1610	0.1610
19	0.8322	0.8322
20	0.1008	0.1008
21	0.0436	0.0436
22	3.1816	3.1816
23	5.1437	5.1436
24	1.2875	1.2874
25	2.6009	2.6008
26	3.3290	3.3289
27	11.3009	11.3004
28	7.8333	7.8331
29	3.8957	3.8955
30	1.5936	1.5936
31	0.2132	0.2132
32	0.0132	0.0132
<b>Total</b>	<b>202.7000</b>	<b>202.6934</b>

Kemudian hasil tegangan pada setiap bus dalam pu dapat diamati pada tabel dibawah ini

Tabel 2. Tegangan Sebelum Dipasang Kapasitor

Bus	Tegangan (pu)
1	1
2	0.997
3	0.9829
4	0.9755
5	0.9681
6	0.9497
7	0.9462
8	0.9413
9	0.935
10	0.9292
11	0.9284
12	0.9269
13	0.9208
14	0.9185
15	0.9171

Tabel 2. Tegangan Sebelum Dipasang Kapasitor (lanjutan)

Bus	Tegangan (pu)
16	0.9157
17	0.9137
18	0.9131
19	0.9965
20	0.9929
21	0.9922
22	0.9916
23	0.9794
24	0.9727
25	0.9694
26	0.9477
27	0.9452
28	0.9337
29	0.9255
30	0.922
31	0.9178
32	0.9169
33	0.9166

Dapat dilihat bahwa dari 33 bus yang tegangannya dibawah 0.9500 pu ada 21 bus sehingga dapat diamati terdapat lebih dari setengah jumlah total bus yang mengalami undervoltage. Tegangan yang dibawah 0.9500 bus diberi warna abu-abu.

Kemudian dilakukan optimasi pemasangan kapasitor menggunakan algoritma APSO dengan nilai yang selalu diperbarui adalah lokasi dan besarnya kapasitor untuk memperoleh biaya rugi jaringan yang terendah sehingga mendapat nilai investasi yang paling besar. Hasil simulasi dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. Hasil simulasi APSO

Parameter	Kondisi Awal	APSO
Biaya Rugi jaringan (\$)	34052.491	23126.5272
Rugi Jaringan (kW)	202.6934	137.6579
Lokasi Kapasitor	-	17, 9, 33,30
Kapasitas Kapasitor (kVAR)	-	350, 450, 350, 600

Tabel 3. Hasil simulasi APSO (lanjutan)

Parameter	Kondisi Awal	APSO
Total Kapasitas Kapasitor	-	1750
Total Harga Kapasitor Pertahun (\$/kVAR)	-	490.85
Total Biaya pertahun (\$)	34052.491	23617.3772
Total Investasi 20 Tahun (\$)	-	218689.28

Dari tabel 3 nilai perhitungan biaya rugi jaringan didapatkan dari rugi-rugi jaringan dikalikan dengan 168 \$/kW sesuai dengan referensi jurnal (Meysam, Sadegh, Zayandehroodi, H., & Khajezadeh, 2014). Kemudian harga total kapasitas kapasitor dihitung dari nilai besarnya kapasitas dikalikan dengan biaya pemasangan. Perlu di ingat bahwa harga pemasangan ini tidak linier dengan besarnya kapasitas kapasitor sehingga membutuhkan waktu iterasi program yang lebih lama dan pemrograman yang lebih rumit. Dengan memasang 4 buah kapasitor dapat menghemat biaya sebesar \$ 10934.464 jika dijadikan persen menjadi 31.65 % dan dalam 20 tahun dapat berinvestasi sebesar \$ 218689.28 dengan estimasi umur kapasitor selama 20 tahun.

Tabel 4. Tegangan Setelah Dipasang Kapasitor

Bus	Tegangan (pu)
1	1.0000
2	0.9976
3	0.9865
4	0.9813
5	0.9762
6	0.9662

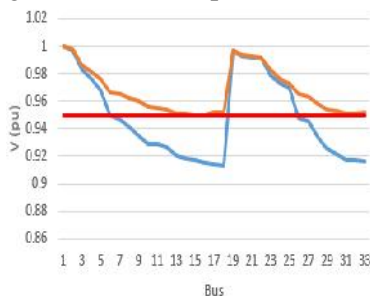
OPTIMASI PEMASANGAN KAPASITOR DENGAN MEMPERTIMBANGKAN BIAYA INVESTASI KAPASITOR PADA SISTEM DISTRIBUSI MENGGUNAKAN ALGORITMA APSO

7	0.9660
8	0.9625
9	0.9602
10	0.9562
11	0.9555

Tabel 4. Tegangan Setelah Dipasang Kapasitor (Lanjutan)

Bus	Tegangan (pu)
12	0.9543
13	0.9510
14	0.9505
15	0.9503
16	0.9502
17	0.9522
18	0.9517
19	0.9971
20	0.9935
21	0.9928
22	0.9922
23	0.9829
24	0.9763
25	0.9730
26	0.9650
27	0.9634
28	0.9581
29	0.9545
30	0.9527
31	0.9508
32	0.9508
33	0.9517

Kemudian dari tabel diatas dibuat grafik seperti pada gambar bawah, warna biru menunjukkan data tegangan sebelum dipasang kapasitor, warna jingga untuk tegangan sesudah kapasitor dan yang terakhir warna merah menunjukkan standar tegangan sebesar 0.95 pu.



Gambar 2. Grafik perbandingan antara tegangan sebelum dan sesudah dipasang kapasitor

Dari tabel dan grafik diatas dapat diketahui setelah pemasangan kapasitor terdapat kenaikan tegangan dari yang semula terdapat total 21 bus yang *undervoltage* kemudian telah sesuai dengan standar dengan minimal tegangan 0.9502 pu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode yang digunakan telah dapat mengurangi rugi-rugi jaringan dengan investasi biaya yang tinggi serta dapat meningkatkan tegangan.

**Kesimpulan**

1. Dengan menggunakan APSO dapat diperoleh rugi-rugi daya minimum sebesar 137.6579 kW dengan total biaya pertahun sebesar \$ 23617.3772 sehingga biaya investasi selama 20 tahun 218689.28
2. Pemasangan optimum kapasitor terletak pada bus 350, 450, 350, 600 dengan besarnya kapasitansi sebesar 350, 450, 350, 600
3. Tegangan minimal setelah pemasangan kapasitor adalah 0.9502 pu

**Daftar Pustaka**

El-Fergany, A. A., & Abdelaziz, A. Y. (2014). Efficient heuristic-based approach for multi-objective capacitor allocation in radial distribution networks. *IET Gener. Transm. Distrib*, 70-80.

Meysam, S., Sadegh, S., Zayandehroodi, H., E. M., & Khajehzadeh, A. (2014). Capacitor Location and Size Determination to Reduce Power Losses of a Distribution Feeder by Firefly Algorithm. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 419-424.

Prihadana, A. E., Penangsang, O., & Aryani, N. K. (2016). Optimasi Aliran Daya Satu Fasa Pada Sistem Distribusi Radial 33 Bus IEEE dan Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh Untuk

- Meminimasi Kerugian Daya dan Deviasi Tegangan Menggunakan Kapasitor. *JURNAL TEKNIK ITS*, 5-02.
- Saadat, H. (2004). *Power System Analysis*. Singapura: McGraw-Hill.
- Segura, S., Romero, L. d., & Salles, D. (2012). Strategic capacitor placement in distribution systems by minimisation of harmonics amplification because of resonance. *IET Gener. Transm. Distrib*, 646-656.
- Shuaib, Y. M., Kalavathi, M. S., & Rajan, C. A. (2015). Optimal capacitor placement in radial distribution system using Gravitational Search Algorithm. *Electrical Power and Energy Systems*, 384-397.
- T-H, C., & N-C, Y. (May 2009). Three-Phase Power-Flow by Direct Zbr Method for Unbalanced Radial Distribution Systems. *IET Gener,Transm,Distrib*, 903-910.
- Wardani, A. L., Penangsang, O., & Wibowo, R. S. (2017). Optimum Capacitor Allocation In Three Phase Unbalanced Radial Distribution System With Harmonics And Resonance Consideration Using Pso Algorithms. *International Journal Of Electrical, Electronics And Data Communication*, 5(9).