

# Optimal *Placement* dan *Sizing* Kapasitor pada Sistem Radial Distribusi Listrik Untuk Mengurangi Rugi - Rugi Daya Menggunakan *Metode Modified Particle Swarm Optimization (MPSO)*

Erita Astrid<sup>1</sup>, Citra Dewi<sup>2</sup>, Ricky Maulana<sup>3</sup>

Universitas Negeri Padang

Jalan Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Padang, Sumatera Barat / Telp. +62 751 7053902  
erita.astrid@ft.unp.ac.id<sup>1</sup>, citradewi2007@gmail.com<sup>2</sup>, ricky.maulana@ft.unp.ac.id<sup>3</sup>

**Abstrak** - Penggunaan kapasitor pada sistem kelistrikan sudah dikenal luas fungsinya untuk meningkatkan faktor daya dan profil tegangan serta mengurangi rugi - rugi daya. Hal tersebut dikarenakan kompensasi daya reaktif yang diinjeksikan oleh kapasitor pada sistem . Beberapa metode baik yang bersifat konvensional maupun berbasis heuristik telah dikembangkan salah satunya adalah metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu Modified Particle Swarm Optimization (MPSO). Dikarenakan rugi – rugi daya pada sistem distribusi memainkan peran yang paling penting dalam operasi ekonomis sistem tenaga, maka rugi – rugi daya tersebut akan dijadikan sebagai fitness function untuk setiap partikel pada algoritma yang digunakan. Metode ini diujicobakan pada sistem radial distribusi IEEE 34 bus untuk melihat performa, efektifitas dan efisiensi dari metode tersebut dalam mencari solusi. Adapun hasil pengujian yang didapatkan adalah besar kapasitor yang diinstal dan posisi pemasangan kapasitor yang optimal pada jaringan.

**Kata kunci:** Particle Swarm Optimization (PSO), optimal placement dan sizing kapasitor, daya aktif, daya reaktif, rugi - rugi daya

## 1. Pendahuluan

Sistem distribusi merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem ketenagalistrikan karena penyaluran daya pada sistem tersebut berhubungan langsung dengan konsumen. Sebuah sistem distribusi yang baik dan ideal harus memiliki keandalan agar kualitas dayanya tetap terjaga dan tersalurkan dengan baik karena kualitas daya merupakan hal penting untuk menjaga stabilitas sistem tenaga listrik. Rugi - rugi daya merupakan salah satu faktor utama menurunnya kualitas daya pada jaringan distribusi kelistrikan dikarenakan perbandingan  $R/X$  pada jaringan distribusi sangat tinggi [1]. Studi menunjukkan bahwa hampir 10 – 13 % dari daya total yang dihasilkan hilang sebagai kerugian pada tingkat distribusi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dibutuhkan solusi yang tepat, cepat dan ekonomis karena jika tidak diatasi dengan cara yang tepat akan mempengaruhi keandalan dan kinerja sistem bahkan juga dapat terjadinya penambahan biaya operasi sistem.

---

SENTER 2018, 1 - 2 Desember 2018, pp. 110-119

ISBN: 978-623-7036-34-0

■ 110

Salah satu metode yang dapat mengatasi permasalahan tersebut adalah pemasangan kapasitor pada jaringan sebagai kompensasi daya reaktif untuk memperbaiki faktor daya dan sekaligus untuk mengurangi rugi - rugi daya yang ada. Perlu diketahui bahwa pemasangan kapasitor pada posisi yang tidak tepat serta dengan kapasitas yang tidak sesuai pada jaringan distribusi justru akan menyebabkan ketidakstabilan pada sistem dan menyebabkan biaya operasi meningkat. Oleh karena itu diperlukan analisa yang akurat untuk menentukan dimana posisi yang tepat untuk mengintegrasikan kapasitor serta berapa besar kapasitas dari kapasitor tersebut harus dipasang pada sebuah sistem distribusi.

Permasalahan alokasi kapasitor sudah banyak dibahas oleh peneliti sebelumnya menggunakan metode yang berbeda untuk menentukan lokasi dan kapasitas terbaik. Metode tersebut dapat berupa *analytical*, *numerical programming*, *heuristic* dan *artificial intelligence based* [2]. Neagle dan Samson mengenalkan penempatan kapasitor menggunakan metode *analytical* [3]. Pencetus pertama untuk menentukan kapasitas kapasitor sebagai variabel diskrit menggunakan teknik *dynamic programming* telah dilaporkan oleh Duran [4]. Sebuah metode *heuristic* telah diajukan oleh Ramalinga Raju menggunakan metode *direct search* yang mana mencari bus terbaik untuk kapasitas kapasitor dari segala kemungkinan dan kemudian menempatkannya. Kemudian pada era 1990an *Artificial intelligence* (AI) mulai dikenal hingga sekarang dan penelitian mengenai alokasi kapasitor dengan menerapkan metode tersebut juga semakin berkembang.

Ng dan Salama [5] mengusulkan sebuah pendekatan menggunakan teori Fuzzy untuk memecahkan permasalahan *optimal placement* dan *sizing* dari kapasitor. Melalui pendekatan ini mereka mencoba untuk memperhitungkan ketidakpastian dalam parameter (*uncertainty parameters*) dan memodelkan parameter tersebut dengan kemungkinan fungsi distribusi. Dagu [6] menggunakan model pemrograman *Dynamic Fuzzy* untuk mengekspresikan hilangnya daya nyata, deviasi tegangan, dan distorsi harmonik dalam notasi fungsi *Fuzzy*. Selain itu, Sundharajan dan Pahwa [7] menggunakan algoritma genetika untuk menentukan penempatan kapasitor.

Selain itu metode *Self Adaptive Harmony* untuk permasalahan alokasi kapasitor juga dibahas oleh Sudha Rani, dkk [8] untuk mengurangi rugi - rugi daya pada jaringan distribusi kelistrikan. Khan and Choudhry [9] menggunakan sebuah algoritma yang bertujuan untuk meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi - rugi daya di jaringan distribusi dengan mempertimbangkan beban yang terdistribusi secara tidak merata dan masih banyak peneliti lainnya yang membahas hal yang sama dengan menggunakan metode *heuristic* lainnya seperti D.Das [10] yang menggabungkan algoritma *Fuzzy* dan *Genetic Algorithm* untuk permasalahan alokasi kapasitor pada jaringan distribusi listrik yang bersifat radial, Abdelsalam, dkk [11] yang mengaplikasikan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk penentuan lokasi pemasangan kapasitor pada jaringan distribusi listrik yang tidak seimbang, dll.

Pada penelitian ini, optimasi lokasi dan kapasitas kapasitor menggunakan algoritma *Modified Particle Swarm Optimization* (MPSO) dimana metode yang digunakan merupakan pengembangan dari algoritma *Particle Swarm Optimization* yang ditemukan oleh James Kennedy and Russell Eberhart. Adapun yang membedakan metode MPSO terletak pada parameter "*inertia weight*" pada PSO yang telah dimodifikasi. Penentuan nilai parameter *inertia weight* yang tepat dapat mendorong algoritma PSO menentukan solusi permasalahan lebih cepat dan tepat. Metode MPSO yang dikembangkan pada penelitian ini diimplementasikan pada sistem radial distribusi listrik IEEE 34 bus untuk menentukan lokasi dan ukuran pemasangan kapasitor yang optimal yang bertujuan untuk mengurangi rugi - rugi daya.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Modified Particle Swarm Optimization (MPSO)

Metode PSO merupakan salah satu algoritma yang terinspirasi oleh tingkah laku sosial pada kawanan burung yang terbang bersama-sama. Perilaku sosial ini terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu – individu lain dalam suatu kelompok. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan menggunakan kecerdasannya (*intelligency*) sendiri dan juga dipengaruhi oleh kelompok kolektifnya. Metode ini ditemukan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995.

Algoritma PSO dimulai dengan membuat sebuah populasi yang terdiri dari partikel – partikel di dimensi pencarian. Setiap posisi partikel ditentukan dengan  $X_i = (x_{i1}, \dots, x_{id})$  dan pergerakannya ditentukan oleh  $V_i = (v_{i1}, \dots, v_{id})$ . Misalkan  $Pbest_i = (x_{i1}^{Pbest}, \dots, x_{id}^{Pbest})$ , dan  $Gbest_i = (x_{i1}^{Gbest}, \dots, x_{id}^{Gbest})$ , merupakan posisi terbaik dari setiap partikel dan posisi terbaik dari keseluruhan partikel sejauh ini. Dengan menggunakan informasi tersebut, maka nilai posisi dan kecepatan terbaru dari masing – masing partikel dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V_{id}^{k+1} = W * V_{id}^k + C_1 * rand_1 * (Pbest_{id}^k - X_{id}^k) + C_2 * rand_2 * (Gbest_d^k - X_{id}^k) \quad (1)$$

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (2)$$

Pada penelitian ini, nilai parameter *inertia weight* ( $W$ ) dimodifikasi agar algoritma PSO dapat mencapai kondisi konvergensi tanpa memakan waktu yang banyak. Hal ini sangat membantu ketika PSO harus menyelesaikan permasalahan yang bersifat sangat *robust* dan memiliki banyak data serta parameter yang harus dikondisikan. *Inertia weight* adalah salah satu besaran yang berfungsi untuk mengendalikan kemampuan eksplorasi dan gerakan partikel dalam mencapai tujuan. Disini *inertia weight* akan mempengaruhi kecepatan partikel dalam menemukan solusi. Jika nilai  $W$  terlalu besar, partikel kemungkinan akan melewati titik solusi yang bagus tetapi jika nilai yang diberikan terlalu rendah akan menyebabkan partikel tidak mampu mengeksplorasi ruang pencarian dengan leluasa dan maksimal sehingga beberapa titik solusi yang bagus tidak tercapai.

Untuk mencegah munculnya hal tersebut dapat dilakukan beberapa improvement pada nilai *inertia weight*, salah satunya dengan menggunakan teorema “*a time – decreasing inertia weight*” [12] yang mampu mendorong partikel untuk mencapai solusi optimal lebih cepat dan dapat mengurangi jumlah iterasi. Adapun persamaan *inertia weight* yang digunakan adalah:

$$W = w_{max} \times \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} + iter \quad (3)$$

Perlu diingat bahwa nilai *inertia weight* memainkan peranan penting dalam konvergensi algoritma PSO untuk menemukan solusi optimal karena berpengaruh pada waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan simulasi.

## 2.2. Fungsi Objektif

Fungsi objektif adalah tujuan dari optimasi atau hasil yang ingin dicapai. Pada penelitian ini, fungsi objektif adalah minimalisasi rugi - rugi daya dan memperbaiki profil tegangan dengan melakukan pemasangan kapasitor yang optimal yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$\text{Min}(f(x)) = W_1 \times P_{\text{loss}} + W_2 \times Q_{\text{loss}} + W_3 \times \sum_{i=1}^n (1-v)^2 \quad (4)$$

Dimana  $P_{\text{loss}}$  dan  $Q_{\text{loss}}$  adalah daya aktif dan reaktif yang dihasilkan yang merujuk kepada rugi - rugi daya jaringan akibat adanya pemasangan kapasitor.

Formulasi problem di atas harus mempertimbangkan beberapa *constraint* atau batasan - batasan dalam menyusun algoritma optimisasinya sebagai berikut:

- *Power balance constraint:*

$$\sum_{i=1}^n P_{Gi} = \sum_{i=1}^n P_{Di} + P_L \quad (5)$$

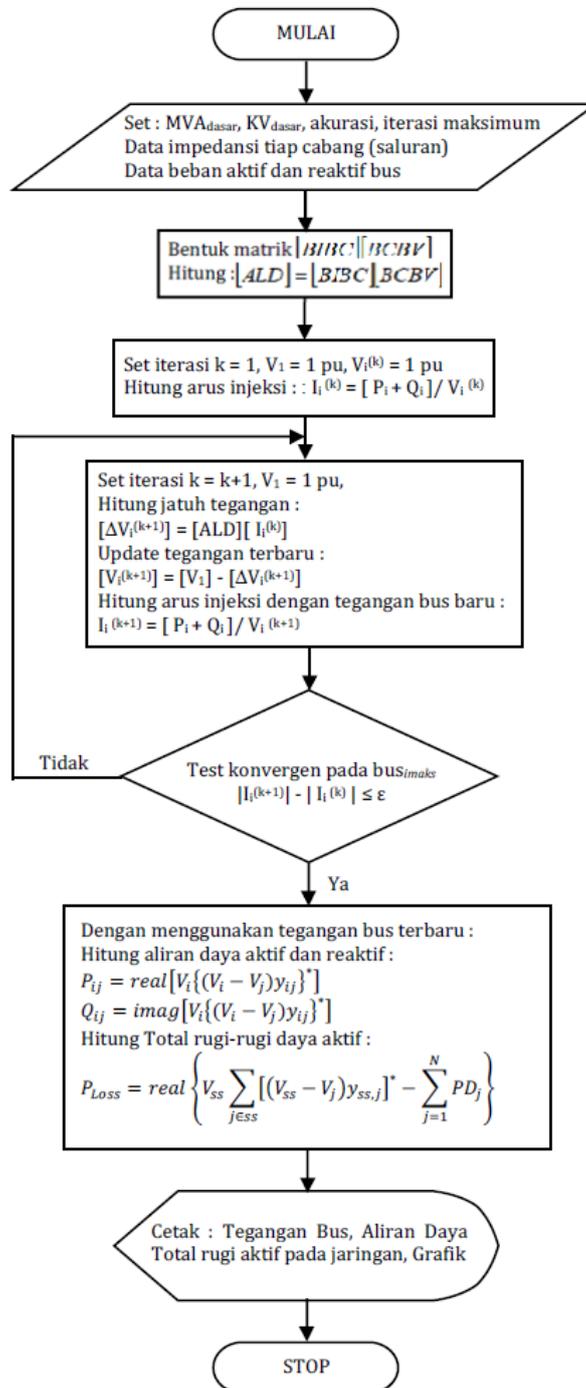
- *Bus Voltage limits:*

$$|V_i|^{\min} \leq |V_i| \leq |V_i|^{\max} \quad (6)$$

- *Power limits* kapasitor

$$Q_{\text{cap}_i}^{\min} \leq Q_{\text{cap}_i} \leq Q_{\text{cap}_i}^{\max} \quad (7)$$

Sedangkan untuk perhitungan rugi - rugi daya yang muncul pada jaringan dilakukan dengan menerapkan analisa aliran daya pada jaringan distribusi listrik dengan menggunakan metode *Bus Injection to Branch Current* (BIBC) dan *Branch Current to Bus Voltage* (BCBV). Adapun penyelesaian aliran daya dengan menggunakan metode tersebut secara ringkas dapat dilihat pada flowchart berikut:



Gambar 1. Flowchart analisa aliran daya yang digunakan untuk menentukan rugi - rugi daya pada jaringan distribusi bersifat radial

### 2.3. Implementasi MPSO Untuk Menentukan Lokasi Pemasangan dan Kapasitas dari Kapasitor Secara Optimal.

Dalam metode *PSO* terdapat beberapa parameter yang disesuaikan dengan permasalahan atau optimasi yang akan dilakukan. Tabel 1 merupakan perancangan nilai parameter *PSO* yang digunakan.

Tabel 1. Nilai parameter yang digunakan pada metode MPSO

<i>Min value of inertia weight</i> (Wmin)	<i>Max value of inertia weight</i> (Wmax)	<i>Cognitive component</i> C1	<i>Social component</i> C2	<i>Pop size</i>	<i>Iteration number</i>
0.4	0.9	2	2	100	100

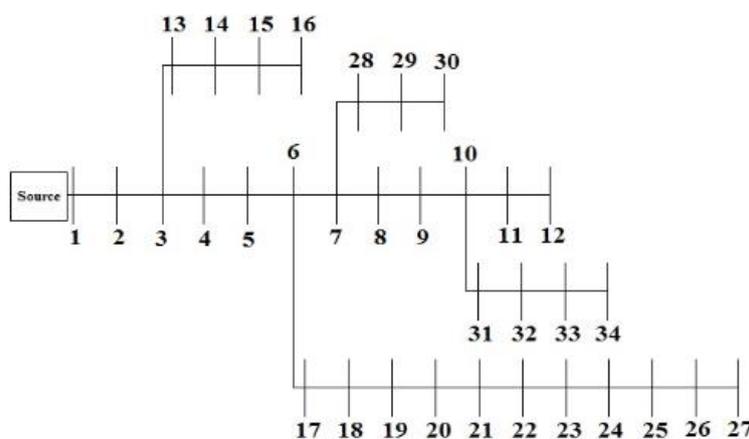
Adapun langkah - langkah yang perlu dilakukan untuk optimisasi dengan menggunakan metode MPSO pada permasalahan alokasi kapasitor adalah sebagai berikut:

1. Masukkan semua data yang dibutuhkan.
2. Hitung rugi – rugi daya jaringan dengan menggunakan analisa aliran daya pada jaringan distribusi.
3. Ciptakan populasi awal yang memiliki partikel – partikel dengan posisi dan kecepatan acak pada dimensi pencarian  $k$ .
4. Atur *counter* iterasi  $k$
5. Untuk setiap partikel, jika tegangan berada dalam limit yang sudah ditentukan maka lakukan perhitungan rugi – rugi daya sesuai dengan fungsi objektif pada problem ini (persamaan 4)
6. Untuk setiap partikel, bandingkan nilai objektifnya dengan nilai individual best ( $P_{best}$ ), jika nilai objektifnya lebih rendah dari  $P_{best}$  maka atur nilai tersebut sebagai nilai partikel terbaru untuk iterasi selanjutnya dan hitung nilai posisi terbaru partikel.
7. Hitung nilai *inertia weight* ( $W$ ) pada iterasi  $k$  menggunakan persamaan 3.
8. Pilihlah nilai  $P_{best}$  terbaik diantara semua partikel dan atur nilai tersebut sebagai nilai  $G_{best}$
9. Update nilai kecepatan dan posisi serta nilai inertia weight menggunakan persamaan 1,2,dan 3.
10. Jika iterasi sudah mencapai limit maximum iterasi yang ditetapkan, kembali ke langkah 9. Jika tidak, atur iterasi  $k+1$  dan kembali ke langkah 4.
11. Tampilkan solusi optimal yang didapat. Posisi terbaik mencakup lokasi optimal dan ukuran kapasitor. Sedangkan fungsi objektif mewakili biaya minimum yang dibutuhkan untuk memproduksi total daya yang dihasilkan oleh kapasitor, rugi – rugi daya yang minimum, dan daya reaktif yang dihasilkan oleh kapasitor.

### 3. Simulasi dan Analisis

#### 3.1. Sistem Distribusi Radial IEEE 34 Bus

Pada penelitian ini, algoritma MPSO ditulis dengan menggunakan matlab. Simulasi dan analisis dilakukan pada sistem distribusi IEEE 34 bus yang bersifat radial. Sistem ini terdiri dari 34 bus dan 4 feeder. Sedangkan total beban secara keseluruhan diambil pada kondisi *peak load* adalah 4.64 MW dan 6.87 MVar.



Gambar 2. Sistem distribusi radial IEEE 34 bus

### 3.2. Studi Kasus

Pada penelitian ini, permasalahan alokasi kapasitor yang dilakukan meliputi lokasi pemasangan kapasitor yang optimal, besar nilai kapasitor yang dipasang dan jumlah kapasitor yang digunakan. Proses alokasi kapasitor diformulasikan kedalam sebuah bentuk optimisasi dimana ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, seperti:

- Vektor  $x$  yang menggambarkan lokasi dan ukuran kapasitor yang akan dipasang.
- Vektor  $x$  tersebut akan menjadi input dari fungsi objektif pada permasalahan ini yang digunakan untuk menentukan nilai rugi - rugi daya pada jaringan dan profil tegangan pada tiap - tiap bus.
- Kalkulasi yang dilakukan harus selalu berada dalam nilai *constraint* (batasan) yang telah ditentukan.

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *fixed* kapasitor sebanyak 6 buah dengan rating dari masing - masing kapasitor tersebut berkisar dari 50 kVar hingga 1 MVar. Simulasi dimulai dengan menentukan rugi - rugi daya sebelum pemasangan kapasitor kemudian dilakukan pemasangan kapasitor pada sistem. MPSO digunakan untuk menentukan dimana lokasi pemasangan kapasitor yang paling tepat dan berapa besar kapasitor yang paling optimal yang bertujuan untuk mengurangi rugi - rugi daya pada jaringan.

### 3.3. Hasil percobaan

Dari simulasi yang telah dilakukan didapatkan beberapa hasil percobaan seperti lokasi pemasangan kapasitor serta besar kapasitor yang dipasang seperti yang terlihat pada Tabel 2. Sedangkan hasil rugi - rugi daya sebelum dan setelah pemasangan kapasitor dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Lokasi dan ukuran kapasitor yang diinstall

Lokasi pemasangan kapasitor	Besar nilai kapasitor
Bus 12	675 kVar
Bus 22	75 kVar
Bus 23	75 kVar
Bus 24	675 kVar
Bus 27	675 kVar
Bus 34	675 kVar

Tabel 3. Rugi - rugi daya yang dihasilkan

	Total rugi rugi daya
Sebelum optimisasi	219 kW
Setelah optimisasi dengan MPSO	160 kW
Total pengurangan rugi - rugi daya	26%
Total daya reaktif yang diinstall	2850 kVar

Adapun profil tegangan pada masing - masing bus pada sistem IEEE 34 bus dapat dilihat pada Tabel 4. Terlihat bahwa nilai tegangan pada masing - masing bus masih berada dalam rentang limit yang ditentukan yaitu berkisar dari 0.95 pu hingga 1.05 pu.

Tabel 3. Nilai tegangan pada tiap - tiap bus sebelum dan setelah pemasangan kapasitor

No Bus	Nilai tegangan (pu)	
	sebelum optimisasi	setelah optimisasi
1	1	1
2	0.994	0.995
3	0.989	0.991
4	0.982	0.985
5	0.976	0.979
6	0.971	0.975
7	0.967	0.971

8	0.965	0.97
9	0.963	0.967
10	0.961	0.966
11	0.961	0.966
12	0.961	0.966
13	0.989	0.99
14	0.988	0.99
15	0.988	0.99
16	0.988	0.99
17	0.966	0.971
18	0.963	0.968
19	0.959	0.964
20	0.955	0.962
21	0.952	0.959
22	0.949	0.956
23	0.947	0.954
24	0.944	0.952
25	0.943	0.951
26	0.942	0.95
27	0.942	0.95
28	0.967	0.971
29	0.967	0.971
30	0.966	0.971
31	0.961	0.966
32	0.961	0.966
33	0.96	0.966
34	0.96	0.965

#### 4. Kesimpulan

Paper ini membahas sebuah metode optimisasi yang terkait dengan permasalahan alokasi kapasitor pada sistem distribusi listrik yang bertujuan untuk mengurangi rugi - rugi daya pada jaringan dan memperbaiki profil tegangan. Metode yang digunakan berdasarkan fungsi algoritma PSO yang telah dikembangkan dimana parameter “*weight inertia*” dimodifikasi sehingga proses eksplorasi yang dibutuhkan algoritma untuk mencapai solusi lebih cepat dan optimal. Metode ini diimplementasikan pada sistem distribusi radial IEEE 34 bus. Simulasi dilakukan dengan menggunakan MATLAB. Dari hasil percobaan didapatkan bahwa penentuan lokasi dan kapasitas kapasitor yang optimal dapat meminimalisir rugi - rugi daya yang ada pada sistem hingga 26 % yaitu dari 219 kW menjadi 160 kW.

#### Daftar Pustaka

- [1] Saadat. Hadi, “Power System Analysis (Second Edition),” McGraw-Hill Education (Asia). Singapore, 2004.
- [2] Ng HN, MMA.Salama, AY Chikhani, "Classification of capacitor allocation techniques," *IEEE Trans Power Delivery*, vol.15, no.2, pp. 387-92, 2000.
- [3] NM. Neagle, DR. Samson, "Loss reduction from capacitors installed on primary feeders," *AIEE Trans*, vol.75, pp. 950-9, 1956.
- [4] H. Duran, "Optimal number, location and size of shunt capacitors in radial distribution feeders: a dynamic approach," *IEEE Trans Power Apparatus Syst.*, vol.87, no.9, pp.1769-74, 1968.
- [5] H.N. Ng, M.M.A. Salama, “Fuzzy Optimal Capacitor Sizing and Placement,” *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, pp. 680-683, 1995.
- [6] H.C.Chin, “Optimal Shunt Capacitor Allocation by Fuzzy Dynamic Programming,” *Electric Power Systems Research*, pp.133-139, Nov. 1995.
- [7] Sundharajan and A. Pahwa, “Optimal selection of capacitors for radial distribution systems using genetic algorithm,” *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 9 no.3, pp.1499-1507, Aug. 1994.
- [8] D. Sudha Rani, N. Subrahmanyam, M. Sydulu. "Self Adaptive Harmony Search Algorithm for Optimal Capacitor Placement on Radial Distribution Systems," *International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*, Nagercoil, 10-12 April 2013, Pages 1330-1335
- [9] H. Khan and M.A. Choudhry, “ Implementation of distributed generation algorithm for performance enhancement of distribution feeder under extreme load growth,” *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*.2010, 32 (9): 985-997.
- [10] D.Das, “Optimal capacitor placement in radial distribution systems using a fuzzy-GA method,” *Electrical Power and Energy System*, vol.30, pp 361-367,2008.
- [11] Abdelsalam A. Eajal, and M. E. El-Hawary, “Optimal capacitor placement and sizing in unbalanced distribution system with harmonics consideration using particle swarm optimization,” *IEEE Trans.Power Delivery*, vol 25, no.3, pp 1734-1741, July 2010.
- [12] Al-Awami A.T, Zerguine A “A New Particle Swarm Optimization Algorithm for Adaptive Equalization”, Elsevier, 2011.