

HAK CIPTA (HKI)

5



10

Judul Invensi:

**METODE OPTIMISASI KONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI
BERBASIS LOGIKA FUZZY DAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

15

Inventor:

20

Dr. Ramadoni Syahputra, S.T., M.T.

Ir. Agus Jamal, M.Eng.

25

Diajukan untuk Memperoleh Hak Cipta
dari Direktorat Jenderal HKI
Kementerian Hukum dan HAM Republik Indonesia

30

35

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
Maret 2016

Deskripsi**METODE OPTIMISASI KONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI
MENGUNAKAN LOGIKA FUZZY DAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

5

Bidang Teknik Invensi

Invensi ini berhubungan dengan suatu metode optimisasi konfigurasi jaringan distribusi guna mengurangi rugi-rugi jaringan dalam rangka meningkatkan efisiensi sistem distribusi menggunakan logika fuzzy dan particle swarm optimization, aliran daya listrik pada sistem distribusi, otomasi operasi switching sistem distribusi, dan peningkatan performa sistem distribusi.

Latar Belakang Invensi

Usaha meminimalkan rugi-rugi (*losses*) energi sistem distribusi daya listrik telah menjadi persoalan penting dalam dekade terakhir. Dari seluruh komponen sistem tenaga listrik, sistem distribusi merupakan komponen yang mempunyai rugi-rugi terbesar. Sebagai contoh adalah sistem tenaga listrik di Indonesia yang dikelola oleh PT PLN (Persero). Berdasarkan audit energi hingga 2008, angka rugi-rugi energi total PLN se-Indonesia adalah 16,84% (Ibrahim, 2009). Dari total tersebut, rugi-rugi sistem distribusi tercatat memiliki rugi-rugi terbesar yaitu 14,47%, sedangkan rugi-rugi sistem transmisi hanya 2,37%.

Ada beberapa cara untuk meminimalkan rugi-rugi daya pada sistem distribusi di antaranya rekonfigurasi jaringan, pemasangan kapasitor daya, penyeimbangan beban, dan menaikkan aras (level) tegangan (Abdelaziz dkk, 2009). Cara pemasangan kapasitor pada jaringan dan penyeimbangan beban biasanya mengalami kesulitan karena beban sistem distribusi

yang sangat dinamis. Dengan demikian nilai kapasitansi kapasitor harus selalu berubah dari waktu ke waktu, dan beban harus selalu diseimbangkan. Sedangkan cara meminimalkan rugi-rugi dengan meningkatkan aras tegangan listrik memerlukan biaya yang besar karena seluruh peralatan yang terhubung dengan sistem ini harus mampu bekerja pada tegangan yang baru, sementara hasilnya belum tentu memuaskan. Oleh karenanya, dalam rencana penelitian ini hanya difokuskan pada cara rekonfigurasi jaringan distribusi daya listrik.

Dalam sistem distribusi primer terdapat dua jenis switch yang dirancang untuk tujuan proteksi dan manajemen konfigurasi (Rao dan Sivanagaraju, 2010). Kedua jenis switch tersebut adalah switch yang dalam keadaan normal tertutup (sectionalizing switches) dan switch yang dalam keadaan normal terbuka (tie switches). Rekonfigurasi jaringan merupakan proses perubahan topologi sistem distribusi dengan mengubah-ubah status switch dari keadaan terbuka menjadi tertutup atau sebaliknya. Proses rekonfigurasi menjadi tidak sederhana karena sedemikian banyaknya kombinasi kandidat switch yang akan diubah statusnya dalam suatu jaringan distribusi. Perubahan konfigurasi jaringan dapat dicapai dengan membuka atau menutup kedua jenis switch sehingga sifat keradialan jaringan dapat dipertahankan.

Guna mendapatkan rekonfigurasi jaringan yang optimal sehingga rugi-rugi sistem distribusi menjadi minimal, diperlukan metode rekonfigurasi yang baik. Metode rekonfigurasi jaringan distribusi dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Abdelaziz dkk, 2009): metode berbasis heuristik, metode berbasis paduan heuristik dan optimisasi, dan metode berbasis kecerdasan buatan.

Metode berbasis paduan heuristik dan optimisasi telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Metode paduan ini mampu

menjamin konvergensi dan waktu komputasi yang relatif singkat, akan tetapi menghasilkan beragam derajat keakuratan (Baran dan Wu, 1989). Karena metode ini berbasis heuristik, maka tidak mudah untuk dibawa menjadi cara yang sistematis guna mengevaluasi solusi optimal. Selanjutnya Taylor dan Lubkeman (1990) mengembangkan metode berbasis heuristik dengan pendekatan sistem pakar (expert system). Pendekatan yang diambil adalah dengan cara menyusun pohon keputusan (decision tree) guna merepresentasikan berbagai operasi switching yang mungkin. Pendekatan ini cukup efisien untuk sistem distribusi dengan switching yang tidak terlalu besar. Akan tetapi untuk sistem distribusi yang besar maka diperlukan waktu pencarian optimal yang sangat lama. Selain itu diperlukan pohon keputusan yang lebih rinci dan kompleks guna memberikan jaminan solusi optimal. Wagner dkk (1991) menawarkan pendekatan pemrograman linear menggunakan teknik transportasi dan pencarian heuristik baru berbasis analisis aliran daya optimal. Berdasarkan hasil penelitian ini disimpulkan bahwa pemrograman linear menggunakan algoritma transportasi tidak sesuai untuk aplikasi rekonfigurasi penyulang (feeder) karena fungsi rugi-rugi daya listrik bersifat nonlinear, sementara pencarian heuristik menghendaki fungsi yang linear. Kemudian Sarfi dkk (1996) menggunakan algoritma berbasis teori penyekatan (partitioning theory) dalam rekonfigurasi jaringan distribusi. Jaringan distribusi disekat-sekat menjadi beberapa kelompok bus beban, dan selanjutnya rugi-rugi saluran antar kelompok bus beban tersebut diminimalkan. Walaupun hasil minimisasi rugi-rugi yang diperoleh relatif berhasil, akan tetapi metode dengan membagi jaringan distribusi ke dalam kelompok-kelompok bus ini hanya cocok untuk sistem distribusi yang tidak terlalu besar.

Metode lain untuk rekonfigurasi jaringan distribusi adalah metode artificial neural network (ANN) yang dikembangkan oleh Kim dkk (1993). Akan tetapi dengan metode ini sering terjebak dalam solusi minimum lokal, kompleksitas komputasi yang selalu meningkat, dan sulit diterapkan untuk fungsi objektif tertentu. Metode berbasis tabu search paralel untuk rekonfigurasi penyulang distribusi telah digunakan oleh Mori dan Ogita (2000). Metode ini terdiri dari dua skema paralel yaitu dekomposisi tetangga dengan prosesor paralel untuk menunikan beban komputasi, dan keragaman panjang tabu untuk meningkatkan akurasi solusi. Metode berbasis tabu search paralel memberikan hasil yang lebih baik dibanding metode genetic algorithm dan metode Simulated Annealing. Selanjutnya Chung dkk (2004) menggunakan algoritma tabu search untuk menyelesaikan masalah rekonfigurasi jaringan dalam sistem distribusi dalam rangka mengurangi rugi-rugi resistif saluran. Dalam metode ini dilakukan pengecekan keradialan sistem distribusi berbasis simpul jaringan yang dikembangkan guna menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan perencanaan pemulihan sistem.

Jeon dan Kim (2004) memadukan metode simulated annealing dan metode tabu search untuk merekonfigurasi penyulang distribusi guna memperbaiki waktu komputasi dan sifat konvergensi dalam optimisasi. Mekhamer dkk (2008) mengusulkan metode berbasis tabu search termodifikasi untuk rekonfigurasi sistem distribusi. Metode ini diawali dengan memodifikasi penggunaan tabu-list dengan ukuran variabel guna mencegah terjadinya iterasi dalam siklus yang sama dan luput dari jebakan minimum lokal. Selanjutnya Su dkk (2005) memperkenalkan penggunaan algoritma pencarian ant colony untuk menyelesaikan masalah rekonfigurasi jaringan yang optimal guna menurunkan rugi-rugi daya distribusi. Metode ini tergolong baru dan metode evolusi yang sangat cerdas

dalam menyelesaikan masalah optimisasi. Pendekatan dalam metode ini berbasis populasi yang menggunakan penjelajahan umpan-balik positif. Algoritma pencarian ant colony terinspirasi dari perilaku alamiah koloni semut tentang bagaimana mereka mencari sumber makanan dan membawanya kembali ke sarangnya dengan membangun formasi lintasan yang unit. Dengan menerapkan metode ini, solusi optimal untuk rekonfigurasi jaringan distribusi dapat dicapai dengan lebih efektif. Dibandingkan dengan metode genetic algorithm dan simulated annealing, secara numerik metode ant colony memberikan hasil yang lebih baik terutama dalam menghasilkan rugi-rugi daya rerata jaringan distribusi.

Penggunaan logika fuzzy dalam usaha meminimalkan rugi-rugi jaringan distribusi telah dilakukan oleh Hsiao (2004). Dalam makalahnya diusulkan fungsi multi-objektif fuzzy berbasis metode pemrograman evolusi untuk rekonfigurasi jaringan. Dalam metode tersebut, fungsi objektif diformulasikan menggunakan prinsip konvensional min-max dalam logika fuzzy.

Berdasarkan perkembangan metode-metode dalam rangka optimisasi rekonfigurasi jaringan distribusi, maka dalam invensi ini dipilih aplikasi logika fuzzy, dengan optimisasi fungsi keanggotaan fuzzy menggunakan particle swarm optimization dalam merekonfigurasi jaringan distribusi. Formulasi masalah rekonfigurasi jaringan dalam hal ini berupa fungsi multi objektif dengan pokok persoalan constraint operasional dan elektrik. Formulasi masalah dalam rencana penelitian ini terdiri dari: minimisasi rugi-rugi daya sistem distribusi, minimisasi deviasi tegangan simpul jaringan distribusi, penyeimbangan beban tiap-tiap penyulang distribusi, minimisasi operasi tie switch, dan minimisasi indeks arus cabang. Sementara itu struktur jaringan distribusi yang bersifat radial harus tetap

dipertahankan pasca-rekonfigurasi guna menjamin bahwa seluruh beban tetap terlayani.

5 Uraian Lengkap Metode

Fungsi Multi-Objektif

Rekonfigurasi jaringan distribusi berbasis metode yang diusulkan menggunakan lima fungsi objektif dalam rangka meningkatkan unjukkerja sistem distribusi daya listrik, yaitu:

1. Fungsi untuk meminimisasi rugi-rugi daya nyata.
2. Fungsi untuk meminimisasi deviasi tegangan bus.
3. Fungsi untuk penyeimbangan beban penyulang.
4. Fungsi untuk meminimisasi jumlah operasi switching.
5. Fungsi untuk meminimisasi indeks arus cabang.

1. Fungsi Objektif untuk Minimisasi Rugi-rugi Daya Nyata

Fungsi objektif pertama yang dipilih untuk rekonfigurasi jaringan distribusi adalah fungsi objektif meminimisasi rugi-rugi daya nyata, karena tujuan utama dalam rekonfigurasi jaringan adalah untuk menurunkan rugi-rugi daya nyata pada sistem distribusi. Minimisasi rugi-rugi daya nyata total dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$f_1(X) = \sum_{i=1}^{N_{br}} R_i \times |I_i|^2, \quad X = [Tie1, Tie2, \dots, TieNtie, Sw1, Sw2, \dots, SwNtie] \quad (1)$$

dengan R_i adalah resistans cabang ke- i , I_i adalah arus cabang ke- i , N_{br} adalah jumlah cabang, X adalah vektor variabel kontrol, Tie_i adalah keadaan tie switch ke- i (0 menunjukkan keadaan terbuka dan 1 menunjukkan keadaan tertutup), Sw_i adalah jumlah sectionalizing switch yang

membentuk satu loop dengan T_{ie_i} , dan N_{tie} adalah jumlah tie switch.

2. Fungsi Objektif untuk Minimisasi Deviasi Tegangan Bus

5 Deviasi tegangan bus yang kecil menunjukkan kualitas layanan daya listrik yang baik. Fungsi objektif untuk minimisasi deviasi tegangan bus adalah:

$$f_2(X) = \max_i |V_i - V_{rate}|, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_{bus}. \quad (2)$$

10 dengan N_{bus} adalah total jumlah bus, V_i adalah tegangan aktual bus ke- i , dan V_{rate} adalah tegangan nominal bus ke- i .

3. Fungsi Objektif untuk Penyeimbangan Beban Penyulang

15 Penyeimbangan beban adalah salah satu tujuan utama dalam rekonfigurasi jaringan distribusi. Strategi yang efektif untuk menaikkan margin pembebanan dari penyulang yang mempunyai beban sangat besar adalah dengan mentransfer sebagian bebannya ke penyulang yang mempunyai beban yang lebih kecil. Penyeimbangan beban masing-masing penyulang
20 dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$f_3(X) = - \min_i |I_{i,rate} - I_i|, \quad i = 1, 2, 3, \dots, N_{br}. \quad (3)$$

dengan I_i adalah pembebanan aktual cabang ke- i , dan $I_{i,rate}$ adalah arus nominal cabang ke- i .

25 4. Fungsi Objektif untuk Minimisasi Jumlah Operasi Switching

Minimisasi jumlah operasi switching dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$f_4(X) = \sum_{i=1}^{N_s} |S_i - S_{0i}|, \quad (4)$$

30 dengan S_i adalah keadaan switch i yang baru, S_{0i} adalah keadaan switch i awal, dan N_s adalah jumlah switch.

5. Fungsi Objektif untuk Minimisasi Indeks Arus Cabang

Tujuan utama untuk fungsi ini adalah untuk meminimalkan pelanggaran batasan-batasan arus cabang yang dikehendaki.

5 Indeks arus cabang dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$f_5(X) = \frac{|I_{i,m}|}{I_{c,m}}, \quad \text{untuk } i = 1, 2, 3, \dots, N_k, \text{ dan } m = 1, 2, 3, \dots,$$

Nbr. (5)

dengan $I_{i,m}$ adalah arus pada cabang m pada saat cabang ke- i dalam loop-nya terbuka, $I_{c,m}$ adalah kapasitas arus pada
10 cabang m , N_k adalah jumlah cabang dalam loop pada saat tie switch ditutup, dan Nbr adalah jumlah cabang.

6. Formulasi Rekonfigurasi Jaringan Distribusi

Formulasi rekonfigurasi jaringan distribusi
15 multiobjektif yang meliputi fungsi-fungsi objektif sesuai persamaan (1) sampai dengan persamaan (5) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \max J(X) &= \|f(X) - f_0\|_2 \\ &= \sqrt{(f_1(X) - f_{01})^2 + (f_2(X) - f_{02})^2 + (f_3(X) - f_{03})^2 + (f_4(X) - f_{04})^2 + (f_5(X) - f_{05})^2} \end{aligned} \quad (6)$$

$$f(X) = \begin{bmatrix} f_1(X) \\ f_2(X) \\ f_3(X) \\ f_4(X) \\ f_5(X) \end{bmatrix}, \quad f_0 = \begin{bmatrix} f_{01} \\ f_{02} \\ f_{03} \\ f_{04} \\ f_{05} \end{bmatrix} \quad (7)$$

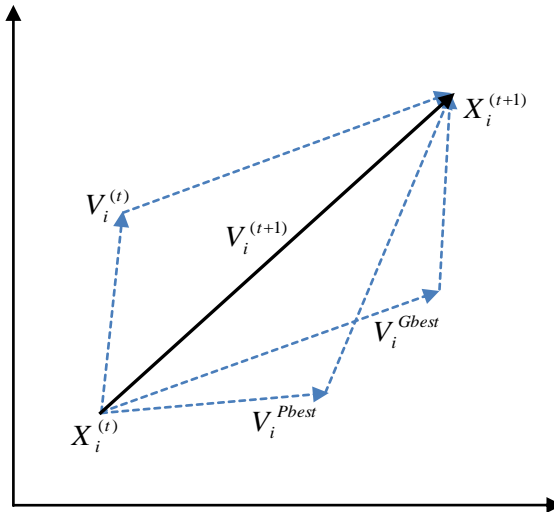
20 dengan f_{01} adalah rugi-rugi daya nyata sebelum rekonfigurasi, f_{02} adalah deviasi tegangan bus sebelum rekonfigurasi, f_{03} adalah penyeimbangan beban dengan simpangan tertinggi sebelum rekonfigurasi, f_{04} adalah operasi switching dengan simpangan tertinggi, dan f_{05}
25 adalah indeks arus cabang dengan simpangan tertinggi sebelum rekonfigurasi.

Metode Particle Swarm Optimization

Particle Swarm Optimization (PSO) adalah sebuah algoritma optimisasi yang bekerja berdasarkan pencarian berbasis populasi dengan menyimulasikan perilaku sekawanan burung (Kennedy dan Ebenhart, 1995). Pembaruan populasi individual dilakukan dengan menerapkan beberapa macam operator menurut informasi yang diperoleh dari lingkungan, sehingga masing-masing individu diharapkan berpindah secara bersama-sama menuju daerah yang lebih baik. Dalam PSO, setiap individu terbang di angkasa dengan kecepatan yang dinamis sesuai dengan pengalaman terbang individu dan pengalaman terbang kelompok, setiap individu merupakan satu titik di angkasa berdimensi-n.

Dalam suatu ruang pencarian berdimensi-n, dimisalkan posisi individual ke-i adalah $X_i = (x_{i1}, \dots, x_{id}, \dots, x_{in})$ dan kecepatan individual ke-i adalah $V_i = (v_{i1}, \dots, v_{id}, \dots, v_{in})$. Pengalaman terbaik partikel ke-i direkam dan direpresentasikan dengan $Pbest_i = (pbest_{i1}, \dots, pbest_{id}, \dots, pbest_{in})$. Posisi global terbaik pencarian swarm adalah $Gbest_i = (gbest_{i1}, \dots, gbest_{id}, \dots, gbest_{in})$. Kecepatan termodifikasi setiap partikel dihitung berdasarkan kecepatan awal personal, jarak dari posisi terbaik personal (lokal), dan jarak dari posisi terbaik global seperti ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$V_i^{(t+1)} = \omega \cdot V_i^{(t)} + c_1 \cdot rand_1(\circ) \cdot (Pbest_i - X_i^{(t)}) + c_2 \cdot rand_2(\circ) \cdot (Gbest_i - X_i^{(t)}) \quad (8)$$



Gambar 2. Konsep dasar optimisasi menggunakan PSO.

- 5 Persamaan (8) menentukan arah partikel ke- i . Oleh karenanya, posisi terbaru partikel dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$X_i^{(t+1)} = X_i^{(t)} + V_i^{(t+1)} \quad (9)$$

- dengan $i = 1, 2, \dots, N$ adalah indeks setiap partikel, t adalah jumlah iterasi, $\text{rand1}(0)$ dan $\text{rand2}(0)$ adalah bilangan acak antara 0 dan 1, dan N adalah jumlah swarm.
- 10

Bobot inersia ω ditentukan berdasarkan persamaan:

$$\omega^{(t+1)} = \omega^{\max} - \frac{\omega^{\max} - \omega^{\min}}{t_{\max}} \times t \quad (10)$$

- Dalam persamaan (10), t_{\max} adalah jumlah maksimum iterasi dan t adalah jumlah iterasi aktual. ω_{\max} adalah bobot inersia maksimum, dan ω_{\min} adalah bobot inersia minimum. Gambar 2 menunjukkan ide dasar particle swarm optimizer.
- 15

Klaim

1. Suatu metode optimisasi konfigurasi jaringan distribusi daya listrik terdiri dari:
 - lima fungsi objektif yang dioptimisasi secara simultan yaitu fungsi untuk meminimisasi rugi-rugi daya nyata, fungsi untuk meminimisasi deviasi tegangan bus, fungsi untuk penyeimbangan beban penyulang, fungsi untuk meminimisasi jumlah operasi switching, dan fungsi untuk meminimisasi indeks arus cabang;
 - bobot inersia untuk optimisasi konfigurasi jaringan distribusi yang dikembangkan dalam metode particle swarm optimization (PSO);
 - fungsi keanggotaan fuzzy dengan aturan tertentu yang digunakan untuk mendapatkan bobot inersia pada PSO yang lebih akurat untuk optimisasi.
2. Suatu metode optimisasi konfigurasi jaringan distribusi daya listrik yang sesuai dengan klaim 1, dimana metode tersebut dapat diterapkan dalam berbagai perangkat lunak dan bahasa pemrograman.
3. Suatu metode optimisasi konfigurasi jaringan distribusi daya listrik yang sesuai dengan klaim 1 sampai 2, dimana metode tersebut dapat diterapkan dalam perangkat keras berbasis komputer dengan prosesor dan memori yang cukup.
4. Suatu metode optimisasi konfigurasi jaringan distribusi daya listrik yang sesuai dengan klaim 1 sampai 3, dimana metode tersebut dapat diaplikasikan pada sistem pengendalian sistem distribusi yang dimiliki operator jaringan distribusi suatu perusahaan listrik.
5. Suatu metode optimisasi konfigurasi jaringan distribusi daya listrik yang sesuai dengan klaim 1 sampai 4, dimana metode tersebut merupakan kombinasi atau hibrid dari dua

metode cerdas yaitu metode berbasis logika fuzzy adaptif dan metode particle swarm optimization.

- 5 6. Suatu metode optimisasi konfigurasi jaringan distribusi daya listrik yang sesuai dengan klaim 1 sampai 5, dimana metode tersebut dapat dapat berfungsi meningkatkan efisiensi jaringan distribusi daya listrik.

Abstrak**METODE OPTIMISASI KONFIGURASI JARINGAN DISTRIBUSI
MENGUNAKAN LOGIKA FUZZY DAN PARTICLE SWARM OPTIMIZATION**

5

Suatu metode optimisasi konfigurasi jaringan distribusi daya listrik berbasis logika fuzzy dan particle swarm optimization (PSO). PSO adalah sebuah algoritma optimisasi yang bekerja berdasarkan pencarian berbasis populasi dengan menyimulasikan perilaku sekawanan burung. Pembaruan populasi individual dilakukan dengan menerapkan beberapa macam operator menurut informasi yang diperoleh dari lingkungan, sehingga masing-masing individu diharapkan berpindah secara bersama-sama menuju daerah yang lebih baik. Dalam PSO, setiap individu terbang di angkasa dengan kecepatan yang dinamis sesuai dengan pengalaman terbang individu dan pengalaman terbang kelompok, setiap individu merupakan satu titik di angkasa berdimensi-n. Dalam metode ini, bobot inersia dan faktor pembelajaran dievaluasi menggunakan suatu sistem fuzzy. Dalam sistem fuzzy, kecocokan terbaik (BF) dan jumlah generasi kecocokan tak-ubah terbaik (NU) digunakan sebagai variabel masukan, sedangkan bobot inersia (ω) dan faktor pembelajaran ($c1$ dan $c2$) digunakan sebagai variabel keluaran.

30

35