

LOGIC

JURNAL RANCANG BANGUN DAN TEKNOLOGI

Kajian Teknis dan Ekonomis Penggunaan Kabel Tembaga Dibandingkan dengan kabel Aluminium pada Sistem Instalasi dan Distribusi Kabel Power di Power House W Hotel Retreat and Spa – Bali.....	Ida Bagus Ketut Sugirianta	132 - 136
Analisis Rendaman Minyak Jarak dengan Variasi Ukuran Serbuk Pada Metode Pelarutan dan Kelayakan Sebagai Bahan Bakar Alternatif.....	Adhes Gamayel dan Adi Winarta	137 - 141
Evolusi Diferensial untuk Optimasi Pertukaran Fasa pada Sistem Distribusi Radial.....	I Ketut Suryawan	142 - 147
Pengaruh Inhibitor terhadap Kecepatan Rambat Api Pembakaran LPG.....	Luh Putu Ike Midiani	148 - 153
Penambahan Jarak Elektroda bantu Alat Ukur Earth Tester Mempengaruhi Hasil Pengukuran tahanan Pentanahan.....	I Ketut Ta	154 - 158
Pengaruh Harmonisasi terhadap Rugi-rugi Transformator pada Trafo distribusi Gardu Tiang si 149 Pada Penyulang lebih.....	I Wayan Sudiarta	159 - 163
Pengaruh Pengaturan Pembebanan Trafo Distribusi 630 Kva terhadap Efisiensi Biaya dan Daya Terpakai pada Politeknik Negeri Bali.....	Made Sajayasa dan I Gede Suputra Widharma	164 - 170
Pengaruh Fuzzy Logic Control Dibandingkan dengan Kontrol Konvensional terhadap Konsumsi Energi Listrik pada Air Conditionong.....	Sudirman	171 - 176
Alokasi dan Dealokasi Memori dalam Penggunaan Tipe Data Pointer pada Pascal.....	Ni wayan Wiswani	177 - 182
Analisis Profil Temperature reaktor Pada Gasifikasi Fluidized Bed Berbahan Bakar sampah Terapung.....	I Dewa Made Susila, I Nyoman suprapta Wina dan I Made Sucipta	183 - 188
Perancangan dan Perbaikan Metode Kerja Untuk Meningkatkan Produktifitas Kerja Perajin gong di Kabupaten Klungkung Bali.....	I Ketut Gde Juli Suarbawa	189 - 197
Pengaruh Penambahan Gas CO2 Sebagai Agén Gasifikas terhadap Profil Suhu Reaktor Pada Gasifikasi Sewage Sludge	Wayan Adi Subagia, I Nyoman Suprapta Winaya dan Made Sucipta	198 - 203

LOGIC

Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi
Vol. 11 No. 3 Nopember 2011

Ketua Penyunting:

I Nyoman Sugiarta

Sekretaris Penyunting

I Ketut Suparta

Penyunting Ahli:

Conny K Wachjoe (*ITB - Bandung*)
Adhi Susanto (*UGM - Yogyakarta*)
Mochamad Ashari (*ITS - Surabaya*)
I N G Wardana (*Univ. Brawijaya - Malang*)
Era Purwanto (*PEAS - ITS*)
Suyitno H P (*Univ. Negeri Yogyakarta*)
Hidjan A G (*Poltek Negeri Jakarta*)
I Wayan Arya (*Poltek Negeri Bali*)
I Gede Santosa (*Poltek Negeri Bali*)
A A Ngr Md Narottama (*Poltek Negeri Bali*)

Penyunting Bahasa:

I Made Rai Jaya Widanta
I Nyoman Mandia

Tata Usaha:

Ni Putu Werdiani Utami

Penanggungjawab: I Made Mudhina (Direktur PNB)

Pengarah: I Pufu Mertha Astawa (Pudir I PNB)

: I Gusti Lanang Suta A. (Ka.P3M)

Jurnal Logic terbit tiga kali per tahun, pada bulan Maret, Juli dan Nopember. Redaksi menerima naskah dalam bidang rancang bangun dan teknologi, baik dari dalam maupun dari luar Politeknik Negeri Bali. Untuk berlangganan per tahun dikenai biaya Rp 150.000, - yang dapat dibayarkan langsung atau melalui Pos ke Redaksi.

Alamat Redaksi:



Redaksi Jurnal Logic, Politeknik Negeri Bali
Bukit Jimbaran, P.O.Box 1064 Tuban Badung - BALI
Phone: +62-361-701981, Fax: +62-361-701128 E mail: jurnal_logic@pnb.ac.id

DAFTAR ISI

	Halaman
Kajian Teknis dan Ekonomis Penggunaan Kabel Tembaga Dibandingkan dengan Kabel Aluminium pada Sistem Instalasi dan Distribusi Kabel Power di <i>Power House W Hotel Retreat and Spa – Bali</i> <i>Ida Bagus Ketut Sugirianta</i>	132 - 136
Analisis Rendemen Minyak Jarak dengan Variasi Ukuran Serbuk pada Metode Pelarutan dan Kelayakan Sebagai Bahan Bakar Alternatif <i>Adhes Gamayel dan Adi Winarta</i>	137 - 141
Evolusi Diferensial untuk Optimasi Pertukaran Fasa pada Sistem Distribusi Radial <i>I Ketut Suryawan</i>	142 - 147 ✓
Pengaruh Inhibitor terhadap Kecepatan Rambat Api Pembakaran LPG <i>Luh Putu Ike Midiani</i>	148 - 153
Penambahan Jarak Elektroda Bantu Alat Ukur Earth Tester Mempengaruhi Hasil Pengukuran Tahanan Pentanahan <i>I Ketut Ta</i>	154 - 158
Pengaruh Harmonisa terhadap Rugi-Rugi Transformator pada Trafo Distribusi Gardu Tiang Si 149 pada Penyulang Lebih <i>I Wayan Sudiarta</i>	159 - 163
Pengaruh Pengaturan Pembebanan Trafo Distribusi 630 Kva terhadap Efisiensi Biaya dan Daya Terpakai pada Politeknik Negeri Bali <i>Made Sajayasa dan I Gede Suputra Widharma</i>	164 -170
Pengaruh <i>Fuzzy Logic Control</i> Dibandingkan dengan Kontrol Konvensional terhadap Konsumsi Energi Listrik pada <i>Air Conditioning</i> <i>Sudirman</i>	171 -176
Alokasi dan Dealokasi Memori dalam Penggunaan Tipe Data Pointer pada Pascal <i>Ni Wayan Wiswani</i>	177 -182
Analisis Profil Temperature Reaktor pada Gasifikasi Fluidized Bed Berbahan Bakar Sampah Terapung <i>I Dewa Made Susila, I Nyoman Suprpta Winaya dan I Made Sucipta</i>	183 -188
Perancangan dan Perbaikan Metode Kerja untuk Meningkatkan Produktivitas Kerja Perajin Gong di Kabupaten Klungkung Bali <i>I Ketut Gde Juli Suarbawa</i>	189 -197
Pengaruh Penambahan Gas Co ₂ Sebagai Agen Gasifikasi terhadap Profil Suhu Reaktor pada Gasifikasi <i>Sewage Sludge</i> <i>Wayan Adi Subagia, I Nyoman Suprpta Winaya dan Made Sucipta</i>	198 -203

EVOLUSI DIFERENSIAL UNTUK OPTIMASI PERTUKARAN FASA PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL

I Ketut Suryawan

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali
Bukit Jimbaran, P.O.Box 1064 Tuban Badung Bali
Email : suryawanpnb@yahoo.co.id

Abstrak

Pertukaran fasa merupakan pendekatan langsung untuk mengurangi ketakseimbangan pembebanan antar fasa pada saluran distribusi. Dalam paper ini disajikan metode Evolusi Diferensial untuk menelusuri skema pertukaran fasa yang optimal. Skema pertukaran fasa yang optimal terdiri dari beberapa titik potensial beserta pola pertukaran fasa pada titik-titik tersebut sedemikian sehingga jika dilakukan pertukaran fasa saluran di titik-titik tersebut akan meminimalkan ketakseimbangan pembebanan saluran dan meminimalkan rugi-rugi daya. Metode ini dieksplorasi untuk optimasi pertukaran fasa yang merupakan permasalahan kombinatorial skala besar mixed-integer dengan fungsi obyektif yang tidak terdiferensialkan, nonlinier dan multimodal. Untuk mengevaluasi kinerja metode ini, telah dilakukan beberapa simulasi pada sebuah sistem distribusi radial. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode ini mampu menelusuri skema pertukaran fasa yang optimal secara efektif.

Kata kunci : pertukaran fase, evolusi diferensial, ketakseimbangan fasa, rugi-rugi daya.

Abstract

Phase swapping is a direct approach to reduce imbalance between phases in the distribution line. The paper presents Differential Evolution method to trace an optimal phase swapping scheme. The optimal phase swapping scheme consists of some potential points and phase exchanging patterns in the points accordingly that line phase exchanging in every point will minimize the whole loading imbalance and minimize power losses. This method is explored to optimize phase swapping which is large-scale combinatorial problem of mixed-integer with the objective functions not differentiated, nonlinear and multiple modal. To evaluate the performance of this method, some simulations have been performed on a radial distribution system. The simulation results show that the method was able to trace the optimal phase swapping scheme effectively.

Keywords: phase swapping, differential evolution, imbalanced phase, power losses.

I. PENDAHULUAN

Ketakseimbangan pembebanan antar fasa pada saluran distribusi akan menurunkan kualitas daya yang disalurkan, meningkatkan rugi-rugi energi, serta menurunkan kinerja dari beban-beban tiga fasa seimbang seperti motor listrik dan trafo [1,2]. Dampak ini akan semakin luas karena terjadinya ketakseimbangan tegangan pada titik hubung bersama akibat ketakseimbangan pembebanan lokal. Salah satu cara untuk mengurangi ketakseimbangan yaitu dengan pertukaran fasa (*phase swapping, rephasing*). Pertukaran fasa berupa pengaturan kembali fasa-fasa saluran yang mensuplai beberapa beban dengan cara menukarkannya pada titik sambungan yang menjadi sumber saluran tersebut. Pertukaran fasa merupakan pendekatan langsung dan ekonomis. Karena ketakseimbangan pembebanan umumnya bukan kondisi gawat darurat

(*emergency*), cara ini dapat dilaksanakan pada masa pemeliharaan atau pemulihan.

Beberapa studi optimasi pertukaran fasa telah diselesaikan antara lain menggunakan metode *mixed integer programming* untuk meminimalisasi ketakseimbangan arus yang mengalir pada cabang yang dimonitor [3], menggunakan metode *simulated annealing* dengan tujuan meminimalisasi biaya (*phase swapping cost and penalty cost*) [4], menggunakan metode *heuristic* dengan tujuan mengurangi rugi-rugi jaringan dengan tetap menjaga atau memperbaiki keseimbangan fasa pada beberapa *balance point*, dengan penekanan melakukan *rephasing lateral-lateral* satu fasa dan dua fasa [5], menggunakan *genetic algorithm* dan *virus evolution genetic algorithm* bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya dan ketakseimbangan pembebanan rata-rata secara simultan dengan tetap

menjaga/menurunkan ketakseimbangan pada titik sumber jaringan distribusi radial [6,7], serta menggunakan *genetic algorithm* dengan penekanan pertukaran fasa pada beban-beban satu fasa [8].

Metode Evolusi Diferensial (Differential Evolution, DE) merupakan metode penelusuran langsung stokastik untuk optimasi ruang kontinyu. DE diperkenalkan oleh Storn dan Price dan telah teruji mampu menyelesaikan permasalahan optimasi dengan fungsi obyektif yang non-terdiferensiasikan, nonlinier dan multimodal [9]. Pada [10], DE telah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi *mixed-integer* dalam bidang sistem tenaga listrik.

Pada penelitian ini, DE digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi pertukaran fasa yang merupakan permasalahan optimasi *mixed-integer*, nonlinier, *nondifferentiable*, dan *multimodal*. DE dieksplorasi untuk dapat menelusuri skema pertukaran fasa yang optimal secara efektif.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Ketakseimbangan fasa

Ketakseimbangan fasa adalah suatu kondisi tegangan atau arus dari sebuah sumber tegangan tiga fasa tidak mempunyai besar yang sama dan/atau perbedaan sudut antar fasa-fasanya tidak 120°. Ketakseimbangan tegangan atau arus dapat dinyatakan dengan perbandingan tegangan atau arus urutan negatif terhadap tegangan atau arus urutan positif (Dugan, 1996), yaitu :

$$V_{unb} = \frac{V_2}{V_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$I_{unb} = \frac{I_2}{I_1} \cdot 100\% \quad (2)$$

V_{unb} = ketakseimbangan tegangan (%).

I_{unb} = ketakseimbangan arus (%).

V_1, I_1 = tegangan dan arus urutan positif.

V_2, I_2 = tegangan dan arus urutan negatif.

2.2. Kriteria Optimasi

Suatu skema pertukaran fasa yang optimal diharapkan mampu mengurangi ketakseimbangan pembebanan antar fasa secara menyeluruh dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi radial semaksimal mungkin.

Ketakseimbangan pembebanan antar fasa secara menyeluruh dinyatakan sebagai fungsi rata-rata ketakseimbangan arus, yaitu :

$$H_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_{unb,i} \quad (3)$$

H_1 = rata-rata ketakseimbangan arus.

$I_{unb,i}$ = ketakseimbangan arus pada seksi i.

N = jumlah seksi saluran pada jaringan distribusi radial.

Rugi-rugi energi dinyatakan sebagai fungsi rugi-rugi daya nyata H_2 yang dihitung berdasarkan studi aliran daya.

Optimasi pertukaran fasa bertujuan

$$\text{Meminimalkan } \{ H_1 \} \quad (4)$$

$$\text{Meminimalkan } \{ H_2 \} \quad (5)$$

dengan batasan-batasan optimasi sebagai berikut.

$$0.95 \leq \frac{V_{\phi,j}}{V_{nom,j}} \leq 1.05 \quad (6)$$

$$V_{unb,i} \leq V_{unb,tol} \quad (7)$$

$$I_{max,i} \leq C_i \quad (8)$$

$$I'_{unb,s} \leq I_{unb,s} \quad (9)$$

$V_{\phi,j}$ = tegangan fasa ϕ pada titik j

$V_{nom,j}$ = nominal tegangan pada titik j

$V_{unb,i}$ = ketakseimbangan tegangan pada titik j.

$V_{unb,tol}$ = toleransi ketakseimbangan tegangan, 0,5%-2,0% (Dugan, 1996).

$I_{max,i}$ = maksimum arus saluran pada seksi i

C_i = nominal kapasitas saluran pada seksi i

$I_{unb,s}$ = ketakseimbangan arus pada titik sumber jaringan sebelum pertukaran fasa.

$I'_{unb,s}$ = ketakseimbangan arus pada titik sumber jaringan sesudah pertukaran fasa.

Dengan kriteria optimasi di atas maka optimasi pertukaran fasa merupakan permasalahan optimasi non linier dan tidak terdiferensiasikan.

2.3. Skema Pertukaran Fasa

Skema pertukaran fasa yang optimal terdiri dari beberapa titik potensial beserta pola pertukaran fasa pada titik-titik tersebut. Sebuah titik potensial adalah sebuah titik sambungan yang merupakan sumber bagi sebuah saluran yang mensuplai beberapa beban dan jika dilakukan pertukaran fasa saluran pada titik ini akan memberikan indeks optimasi yang terbaik.

Dalam pengaturan kembali fasa saluran, sebuah saluran satu fasa mempunyai 3 pola pilihan,

sebuah saluran dua fasa yang mensuplai beban satu fasa mempunyai 6 pola pilihan, sebuah saluran tiga fasa yang mensuplai beban tiga fasa dan satu fasa mempunyai 3 pola pilihan dengan memperhatikan urutan fasa yang tetap sama.

Karena tidak ada suatu kriteria yang dapat dijadikan dasar untuk menetapkan titik potensial maka semua titik sambungan mempunyai peluang yang sama untuk diseleksi sebagai titik potensial. Oleh karena itu optimasi pertukaran fasa merupakan permasalahan optimasi kombinasi skala besar - bilangan cacah.

2.4 Evolusi Diferensial

Evolusi Diferensial adalah metode penelusuran secara stokastik berbasis populasi. Populasi terdiri dari beberapa vektor solusi. Untuk mendapatkan solusi terbaik dilakukan proses mutasi, persilangan (crossover) dan kompetisi dalam beberapa generasi. Adapun prosedur yang digunakan sebagai berikut.

Langkah 1. Inisialisasi

Beberapa populasi awal $X_i^0, i = 1, 2, \dots, NP$ dipilih secara acak. Populasi awal harus melingkupi seluruh ruang pencarian secara *uniform*. Setiap elemen vektor dari populasi X_i^0 dibentuk dengan cara :

$$X_{ji}^0 = X_j^{min} + \rho_i(X_j^{max} - X_j^{min})$$

$$j = 1, 2, \dots, D, i = 1, 2, \dots, N_p \quad (10)$$

$\rho_i \in [0,1]$ adalah bilangan acak, D adalah dimensi vektor X dan N_p adalah ukuran populasi. X_i^{min} dan X_i^{max} adalah batas bawah dan batas atas dari variabel X_j .

Langkah 2. Operasi mutasi

Pada generasi G , setiap vektor mutan dihasilkan berdasarkan pada individu X_i yang ada pada generasi G . Ada beberapa model operasi mutasi [9,11], dalam penelitian ini digunakan dua model operasi mutasi yaitu :

DE/rand/1/bin :

$$U_i^{G+1} = X_{r1}^G + F(X_{r2}^G - X_{r3}^G) \quad (11)$$

DE/best/2/bin :

$$U_i^{G+1} = X_{best}^G + F(X_{r1}^G + X_{r2}^G - X_{r3}^G - X_{r4}^G), \quad (12)$$

$r1, r2, r3, r4 \{1, 2, \dots, N_p\}$ yang dipilih secara acak dan $r1 \neq r2 \neq r3 \neq r4$. $F \in [0,2]$ adalah konstanta mutasi.

Langkah 3. Operasi persilangan

Untuk memperluas keragaman individu-individu pada generasi berikutnya, individu

termutasi

$$U_i^{G+1} = [U_{1i}^{G+1}, U_{2i}^{G+1}, \dots, U_{ji}^{G+1}, \dots, U_{Di}^{G+1}]^T$$

dan individu yang ada pada generasi saat ini $X_i^G = [X_{1i}^G, X_{2i}^G, \dots, X_{ji}^G, \dots, X_{Di}^G]^T$

dikombinasikan untuk menghasilkan *trial vektor* $\bar{U}_i^{G+1} = [\bar{U}_{1i}^{G+1}, \bar{U}_{2i}^{G+1}, \dots, \bar{U}_{ji}^{G+1}, \dots, \bar{U}_{Di}^{G+1}]^T$ dimana

$$\bar{U}_{ji}^{G+1} = \begin{cases} X_{ji}^G, & \text{jika bilangan acak} > C_R \\ U_{ji}^{G+1}, & \text{jika lain} \end{cases}$$

$$j = 1, 2, \dots, D, i = 1, 2, \dots, N_p \quad (13)$$

$C_R \in [0, 1]$ adalah konstanta persilangan.

Langkah 4. Evaluasi dan seleksi

Evaluasi dan seleksi dilakukan untuk mendapatkan populasi induk yang baik untuk proses regenerasi berikutnya. *Trial vektor* yang mempunyai indeks optimasi terbaik akan menggantikan vektor induknya pada generasi berikutnya. Seleksi dilakukan dengan kompetisi satu per satu dan diikuti dengan pemilihan individu terbaik. Langkah evaluasi ini dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$\hat{X}_i^{G+1} = \text{argmin}\{f(X_i^G), f(\bar{U}_i^{G+1})\} \quad (14)$$

$$\hat{X}_{best}^{G+1} = \text{argmin}\{f(\hat{X}_i^{G+1})\} \quad (15)$$

argmin berarti argumen minimum.

Langkah-langkah di atas diulang sampai generasi maksimum atau apabila indeks optimasi yang diinginkan telah diperoleh. Secara umum prosedur di atas ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alur metode Evolusi Diferensial

2.5 Pertukaran Fasa Berbasis DE

a. Representasi skema pertukaran fasa

Skema pertukaran fasa yang optimal terdiri dari beberapa titik potensial beserta pola pertukaran fasa pada titik-titik tersebut. Sebuah skema pertukaran fasa yang optimal dinyatakan dalam sebuah vektor. Jadi, vektor solusi akan terdiri dari bilangan cacah yang menunjukkan nomer tempat/bus pada jaringan distribusi dan bilangan cacah yang menunjukkan pola pertukaran fasa.

Karena keterbatasan sumber daya atau biaya yang tersedia, dalam prakteknya pertukaran fasa hanya dilakukan dalam jumlah tempat tertentu. Oleh karena itu, dimensi setiap vektor $D = 2n$ di mana n adalah banyak tempat pertukaran fasa yang direncanakan.

b. Pemilihan Variabel Kontrol DE

DE memiliki variabel kontrol : banyak vektor tiap populasi N_p , konstanta mutasi F dan konstanta persilangan C_R yang akan menentukan kecepatan konvergensi. N_p yang wajar adalah antara 5D dan 10D [9]. Nilai F dan C_R antara 0 dan 1. Nilai F yang kurang dari 0,4 atau lebih dari 1 hanya sesekali efektif dan nilai awal yang baik $F=0,5$ dan $C_R=0,9$ [9].

Dalam penelitian ini digunakan $NP=5D$ dan $C_R=0,9$, sedangkan F menggunakan 3 nilai 0,5; 0,8 dan nilai F yang diatur dinamis. Pada nilai F yang diatur dinamis, nilai F akan berubah apabila lima kali berturut-turut $f(\hat{X}_{best}^{G+1})$ dan nilai F dipilih secara acak antara 0,4 dan 1.

c. Evaluasi dan Seleksi

Hanya individu-individu (vektor solusi) yang memenuhi batasan-batasan optimasi yang diseleksi untuk menjadi induk pada generasi berikutnya. Sebuah individu dikategorikan lebih unggul apabila mempunyai H_1 lebih kecil dari individu lain atau apabila individu tersebut mempunyai H_1 sama dan H_2 lebih kecil dari individu lain.

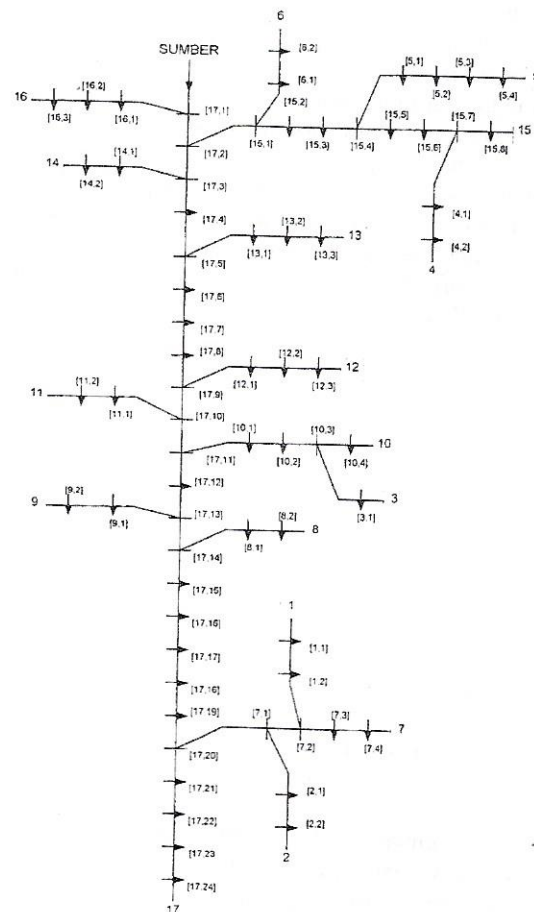
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengevaluasi kinerja dari metode DE dalam melakukan penelusuran skema pertukaran fasa telah dilakukan simulasi pada sebuah sistem distribusi radial terdiri dari 17 lateral dan 70 calon titik potensial, dengan rata-rata ketakseimbangan arus 12,8983 % dan rugi-rugi daya nyata 369,79 kW. Sistem ini ditunjukkan pada gambar 2. Pada sistem ini akan dilakukan simulasi untuk menelusuri skema pertukaran fasa dengan jumlah tempat pertukaran yang direncanakan $n=14$ (20% dari 70 calon titik potensial). Simulasi dilakukan dengan 5 skenario, yaitu

Skenario	Mutasi	F
S1	DE/rand/1/bin	0,5
S2	DE/rand/1/bin	0,8
S3	DE/rand/1/bin	acak(0,4-0,9)
S4	DE/best/2/bin	0,5
S5	DE/best/2/bin	acak(0,4-0,9)

Setiap skenario dilakukan 10 kali pengulangan dan setiap pengulangan dilakukan dengan generasi maksimum = 100.

Tabel 1 menunjukkan indeks optimasi hasil penelusuran skema pertukaran fasa dari kelima skenario di atas. Hasil ini juga menunjukkan bahwa pertukaran fasa dapat menurunkan ketakseimbangan pembebanan (H_1) dan menurunkan rugi-rugi daya (H_2).



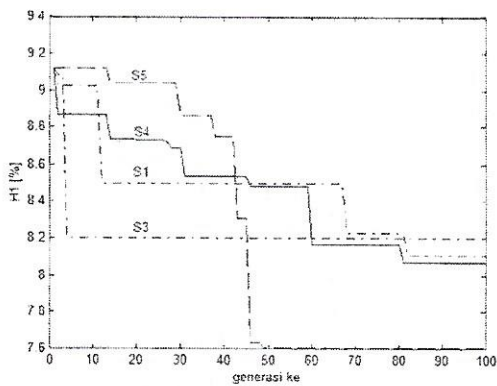
Gambar 2. Diagram Segaris Sistem Distribusi Radial

Tabel 1. Statistik indeks optimasi

		Kondisi Awal	S1	S2	S3	S4	S5
H1	rata	12,8983	8,3109	8,5827	8,4042	8,4789	8,3246
[%]	st. dev		0,1987	0,1670	0,1381	0,2101	0,3643
H2	rata	369,79	357,1902	357,8958	356,6768	356,8727	357,0849
[kW]	st. dev		0,6762	0,7678	0,8387	0,6370	1,4340

Tabel 1 di atas menunjukkan kelima skenario DE yang telah disimulasikan memberikan rata-rata indeks optimasi yang berbeda-beda. Skenario S2 mempunyai performansi terburuk. Berdasarkan hasil uji beda rata-rata indeks optimasi populasi (uji-F) terhadap kelima skenario disimpulkan bahwa dengan tingkat keyakinan 95% tidak ada perbedaan nyata nilai indeks H1 dan H2 pada kelima skenario.

Gambar 3 dan 4 menunjukkan proses penelusuran skema pertukaran fasa dengan DE sehingga rata-rata ketakseimbangan arus dan rugi-rugi daya nyata menjadi lebih kecil. Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa skenario S4 dan S5 mampu menghasilkan skema pertukaran fasa yang lebih bervariasi daripada S1 dan S3. Hal ini akan memperluas ruang penelusuran sehingga dapat menghindari konvergen prematur dan jebakan optimal lokal.

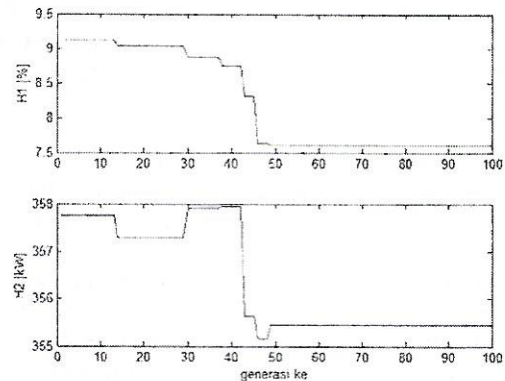


Gambar 3. Perbandingan karakteristik konvergensi H1.

Gambar 4 menunjukkan proses konvergensi penelusuran yang memberikan hasil terbaik, yaitu pada skenario S5. Secara numerik hasil penelusuran ini ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Performansi skema pertukaran fasa optimal

	Kondisi Awal	Kondisi Optimal
H1 [%]	12,8983	7,6073
H2 [kW]	369,79	355,45



Gambar 4. Proses konvergensi skema pertukaran fasa optimal.

Hasil-hasil simulasi di atas menunjukkan DE mampu menelusuri skema pertukaran fasa secara efektif.

IV. SIMPULAN

Optimasi pertukaran fasa merupakan permasalahan optimasi kombinatorial skala besar – integer dengan fungsi obyektif nonlinier, tidak terdiferensiasikan, berkendala dan multimodal. Hasil simulasi di atas menunjukkan bahwa metode Evolusi Diferensial dapat menelusuri skema pertukaran fasa dengan efektif. Kelima skenario di atas menunjukkan performansi hasil yang tidak berbeda. Pemakaian kontanta mutasi F yang dinamis tidak menunjukkan hasil lebih baik dari F yang konstan, namun mutasi dengan pola DE/best/2/bin mampu memperluas ruang penelusuran untuk menghindari konvergensi prematur dan optima lokal.

Daftar Pustaka

[1] Kazbwe, W.E., Sendaula, M.H., *Electric Power Quality Control Techniques*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1993.
 [2] Mielczarski, W., *Quality of Electricity Supply and Management of Network Losses*, Puma Press, Australia, 1997.
 [3] Zhu, J., Chow, M.-Y., Zhang, F., *Phase Balancing using Mixed-Integer Programming*,

- IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 13, No. 4, 1998.
- [4] Zhu, J., Billbro, G., Chow, M.-Y. (1999). Phase Balancing using Simulated Annealing. *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.14, No. 4, 1999.
- [5] Dilek, M., Broadwater, R.P., Thompson, J.C., Sequin, R., Simultaneous Phase Balancing and Switches with Time-Varying Load Patterns, *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol.16, No. 4, 2001.
- [6] Penangsang, O., Suryawan, I K., Optimasi Pertukaran Fasa Untuk Memperbaiki Keseimbangan Fasa Pada Jaringan Distribusi Radial, *Procceding Seminar Sistem Tenaga Elektrik III*, 2002, Surabaya, pp. VI.29 –VI.33.
- [7] Suryawan, I K., Optimasi Pertukaran Fasa pada Sistem Distribusi Radian dengan Metode Virus-Evolutionary Genetic Algorithm, *Prosiding Seminar Nasional Riset dan Teknologi Terapan*, 16 Juni 2010, Jakarta, 311-319.
- [8] Gandomkar, M., Phase Balancing using Genetic Algorithm. (<http://ieeexplore.ieee.org>) Diakses tanggal 7 Maret 2010.
- [9] Storn, R., Price, K., Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces, *Journal of Global Optimization 11*, 341-357, 1997.
- [10] Bakare, G. A., Krost, G., Differential Evolution for Reactive Optimization of Negerian Grid System, Power Engineering Society General Meeting (PES) 2007.
- [11] Parsopoulos, K. E., Tasoulis, D. K., Pavlidis, N. G., Plagianakos, V. P., Vrahatis, M. N., Vector Evaluated Differential Evolution for Multiobjective Optimization (www2.imperial.ac.uk/.../PorsopoulosTPPV2000)