

OPTIMASI REAKTIF *POWER DISPATCH* MENGUNAKAN REAL-CODED GENETIC ALGORITHM (RGA)

Widyadi Setiawan, Ngakan Putu Satriya Utama

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Badung-BALI, 80361, telp. (0361)703315
widyadi@ee.unud.ac.id

Abstrak

Pada penelitian ini metode real-coded genetic algorithm (RGA) dipakai sebagai salah satu teknik untuk mendapatkan solusi permasalahan optimal reactive power dispatch (ORPD). Metode RGA dibedakan dengan GA standar pada pemakaian kode real (real-coded) pada kromosomnya. Sistem IEEE 14-bus, IEEE 30-bus dan sistem Jawa-Bali dipakai sebagai sistem uji untuk memperlihatkan perbedaan antara metode GA standar dengan metode RGA. Pada sistem IEEE 14-bus, unjuk kerja metode GA memberikan rugi-rugi saluran total 13,3477 MW, sedangkan metode RGA memberikan rugi-rugi saluran total 13,1959 MW. Pada sistem IEEE 30-bus, unjuk kerja metode GA memberikan rugi-rugi saluran total 17,4866 MW, sedangkan metode RGA memberikan rugi-rugi saluran total 17,4403 MW. Pada sistem Jawa-Bali, unjuk kerja metode GA memberikan rugi-rugi saluran total 130,445 MW, sedangkan metode RGA memberikan rugi-rugi saluran total 126,4791 MW. Hasil penelitian memperlihatkan metode RGA memberikan solusi lebih efisien dibandingkan metode GA standar pada permasalahan ORPD.

Kata kunci: Algoritma Genetik, Real-coded Genetic Algoritma, Optimal reactive power dispatch (ORPD)

Abstract

Real coded genetic algorithm (RGA) method is proposed as one of the techniques to solve optimal reactive power dispatch (ORPD) problem. Real-coded genetic algorithm (RGA) and standard genetic algorithm is differed by applying the real-coded of chromosome. The IEEE 14-bus, IEEE 30-bus and Java-Bali systems were used as test systems to demonstrate efficiency of the proposed method. The performance of the proposed method is compared with standard genetic algorithm (standard GA). In the IEEE 14-bus system, GA standard's performance is 13.3477 MW, while performance of RGA is 13.1959 MW. In the IEEE 30-bus system, GA standard's performance is 17.4866 MW, while performance of RGA is 17.4403 MW. In the Java-Bali system, GA standard's performance is 130.445 MW, while performance of RGA is 126.4791 MW. The results show that SARGA solves the ORPD problem efficiently.

Key word: Genetic Algorithm, Real-coded Genetic Algorithm, Optimal Reactive Power Dispatch (ORPD)

1. PENDAHULUAN

Daya reaktif tidak hanya dikonsumsi oleh elemen-elemen jaringan, tetapi juga dibutuhkan di dalam sistem kelistrikan untuk pengoperasian peralatan-peralatan seperti motor, transformator dan peralatan elektronika daya. Jika suatu sistem memerlukan penyaluran daya reaktif, maka daya reaktif perlu dibangkitkan pada lokasi-lokasi yang diperlukan. Dalam suatu sistem jaringan tenaga listrik, shunt capacitor digunakan secara luas untuk mengganti kerugian daya reaktif, mengurangi rugi-rugi energi, mengatur tegangan, dan meningkatkan keamanan operasi sistem.

Daya reaktif sudah lama dikenal sebagai faktor yang signifikan di dalam desain dan pengoperasian pada sistem tenaga listrik. Secara umum dengan cara yang sederhana, telah diamati bahwa daya reaktif disebabkan oleh impedansi dari jaringan yang sebagian besar merupakan komponen

reaktif. Penyaluran daya aktif mengakibatkan suatu perbedaan sudut fasa antara tegangan pada sisi kirim dan tegangan pada sisi terima, sedangkan penyaluran daya reaktif mengakibatkan suatu perbedaan magnitude dari tegangan tersebut.

Penyaluran daya reaktif adalah masalah optimisasi non-linear, pada pengoperasian sistem tenaga listrik dengan tujuan meminimalkan hilangnya daya pada transmisi serta memperbaiki performansi tegangan setiap bus [2]. Beban pada sistem tenaga listrik adalah tidak konstan dan berubah dari waktu ke waktu. Setiap perubahan dalam permintaan tenaga listrik menyebabkan tegangan menjadi lebih rendah atau lebih tinggi [2]. Sasaran ini bisa dicapai dengan mempergunakan berbagai macam piranti kompensasi reaktif seperti regulator tegangan otomatis (kontinyu), tap changer trafo dan shunt capacitor/reaktor-reaktor (biner) [6].

Jauh sebelumnya, berbagai macam teknik-teknik optimisasi konvensional seperti metode

Newton-Raphson, pemrograman linear, pemrograman dinamik, pemrograman kuadratik dan lain-lain digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah ORPD. Dalam penelitian ini *Real Coded Genetic Algorithm* (RGA) digunakan untuk menyelesaikan masalah Optimal Reactive Power Dispatch. Real coded membuat pencarian evolusi lebih dekat dengan evolusi alami.

Perumusan masalah pengiriman daya reaktif menggunakan Real Coded Genetic Algorithm (RGA) sebagai berikut :

1. Bagaimana metode RGA dapat mencari nilai optimum dalam menyelesaikan permasalahan ORPD.
2. Bagaimana perbandingan pencarian optimisasi dengan menggunakan GA standar.

2. METODE PENELITIAN

Untuk penelitian telah dilakukan studi literatur dengan cara mencari bahan bacaan yang diperoleh dari jurnal-jurnal internasional, laporan-laporan teknik, dan buku-buku teks yang berhubungan dengan permasalahan yang akan diteliti.

Pada penelitian ini literatur-literatur yang digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut: Referensi [1] adalah paper menjelaskan teori tentang real-coded genetic algorithm Referensi [2][6][3] adalah paper-paper yang menjelaskan tentang optimisasi pengiriman daya dengan berbagai macam metode pemecahannya. Referensi [4] adalah buku teks menjelaskan teori tentang genetic algorithm. Referensi [5] adalah buku teks menjelaskan teori tentang analisis aliran daya

Pengumpulan Data

Data yang dipakai diambil dari sistem tenaga listrik Jawa-Bali pada sistem tegangan transmisi 500 kV tahun 2005, juga sebagai pembanding memakai data IEEE 14-bus dan IEEE 30-bus

Pengiriman daya reaktif

Optimal reactive power dispatch (OPRD) adalah untuk meminimalkan hilangnya daya nyata dari sistem tenaga. Secara umum pada kondisi normal dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Min } P_L = \sum_{k=1}^{nl} \text{Loss}_k \dots\dots\dots(1)$$

dimana P_L adalah hilangnya daya nyata pada jaringan dan nl adalah jumlah saluran. Hilangnya daya ini adalah fungsi non linear dari tegangan-tegangan bus. Masalah minimalisasi adalah subyek untuk batasan-batasan pengoperasian baik variabel kontrol maupun aliran daya.

Batasan-batasan ini dijelaskan sebagai berikut:

Batasan-batasan persamaan

$$0 = P_i - V_i \sum_{j \in N_i} V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}), i \in N_{B-1}$$

$$0 = Q_i - V_i \sum_{j \in N_i} V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}), i \in N_{PQ}$$

..... (2)

Dimana V_i adalah tegangan bus ke i, G_{ij} dan B_{ij} adalah konduktansi dan susceptance i dan j, masing-masing θ_{ij} adalah perbedaan sudut tegangan bus i dan j, N_{B-1} adalah jumlah total bus-bus diluar slack bus. Sedangkan N_{PQ} adalah jumlah bus PQ dan N_i adalah jumlah bus.

Batasan-Batasan pertidaksamaan :

Dalam variabel-variabel kontrol, tegangan bus generator (AVR) diambil sebagai variabel kontinyu; setting tap trafo diambil sebagai variabel *discreet* dan nilai-nilai *susceptansi* diambil sebagai variabel biner. Tegangan bus beban dan daya reaktif generator Q_g diambil sebagai variabel-variabel keadaan

Variabel kontrol kontinyu

$$V_{Gi}^{\min} \leq V_{Gi} \leq V_{Gi}^{\max} \dots\dots\dots(3)$$

Variabel kontrol *discreet*

$$T_k^{\min} \leq T_k \leq T_k^{\max} \dots\dots\dots(4)$$

Variabel kontrol biner

$$B_{shi}^{\min} \leq B_{shi} \leq B_{shi}^{\max} \dots\dots\dots(5)$$

Variabel-variabel keadaan

$$V_{PQi}^{\min} \leq V_{PQi} \leq V_{PQi}^{\max} \dots\dots\dots(6)$$

$$Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{\max} \dots\dots\dots(7)$$

Variabel-variabel keadaan dibatasi dengan menambahkannya sebagai penalti kuadratik ke fungsi obyektif, sehingga persamaan (1) berubah menjadi :

$$F = P_L + \sum_{i \in N_V \text{ lim}} \lambda_{V_i} (V_i - V_i^{\text{lim}})^2 + \sum_{i \in N_Q \text{ lim}} \lambda_{Q_G} (Q_G - Q_G^{\text{lim}})^2 \dots\dots\dots(8)$$

Dimana λ_{V_i} dan $\lambda_{Q_{G_i}}$ adalah faktor penalti, V_i^{lim} dan $Q_{G_i}^{\text{lim}}$ di persamaan (8) didefinisikan sebagai berikut:

$$V_i^{\text{lim}} = \begin{cases} V_i^{\min}; & \text{jika, } V_i < V_i^{\min} \\ V_i^{\max}; & \text{jika, } V_i > V_i^{\max} \end{cases}$$

$$Q_i^{lim} = \begin{cases} Q_{Gi}^{min}; & \text{jika, } Q_{Gi} < Q_{Gi}^{min} \\ Q_{Gi}^{max}; & \text{jika, } Q_{Gi} > Q_{Gi}^{max} \end{cases} \dots\dots\dots(9)$$

Proses Optimasi Metode Real coded genetic algorithm

Inisialisasi : Serangkaian populasi awal diberikan secara acak didalam batasan minimum dan maksimum dari variabel-variabel kontrol yang dipilih sebagai populasi induk. Untuk variabel-variabel kontrol discrete, populasi yang dihasilkan dibulatkan ke nilai integer paling dekat.

Evaluasi fungsi : Evaluasi fungsi (menggunakan Persamaan 8) digunakan untuk menentukan Fitness setiap populasi.

Seleksi: Pada seleksi ini bahwa individu-individu yang lebih baik memperoleh kesempatan lebih tinggi dalam generasi berikutnya bergantung pada nilai-nilai fitnessnya. Dalam seleksi turnamen, jumlah individu tertentu (disebut Tour) dipilih secara acak dari populasi dan individu paling baik dari grup ini dipilih sebagai orang tua. Proses ini diulang sesering mungkin untuk memilih individu-individu terbaik. Jumlah Tour adalah 2, turnamen ini disebut turnamen biner. Seleksi turnamen secara acak memilih dua individu terbaik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menguji penelitian ini memakai tiga sistem uji yang memiliki karakteristik non-linear. Sistem uji pertama adalah Sistem IEEE 14-bus, yang terdiri atas lima bus generator (bus 1 adalah slack bus, 2, 3, 6 dan 8 adalah PV bus dengan nilai kontinyu), 9 load bus dan 20 saluran dengan 3 saluran (4-7, 4-9 dan 5-6) adalah tap trafo dengan nilai diskrete. Sebagai tambahan bus 9 dan 14 dipilih sebagai bus shunt kompensasi dengan nilai diskrete. Pada Sistem IEEE 14-bus secara keseluruhan memiliki 10 variabel kendali yang dipilih untuk optimasi power dispatch.

Sistem uji yang kedua adalah sistem IEEE 30-bus, yang terdiri atas enam bus generator, bus 1 adalah slack bus, 2, 5, 8, 11 dan 13 adalah PV bus dengan nilai kontinyu, 24 load bus dan 41 saluran dengan empat saluran (6-9, 6-10, 4-12 dan 28-27) adalah tap trafo dengan nilai diskret. Sebagai tambahan bus 10 dan 24 dipilih sebagai bus shunt kompensasi dengan nilai diskret. Secara keseluruhan siste IEEE 30-bus memiliki 12 variabel kendali yang dipilih untuk optimasi power dispatch.

Sistem uji yang ketiga adalah data dari sistem tenaga listrik Jawa-Bali pada sistem tegangan transmisi 500 kV tahun 2005.

Untuk ketiga sistem uji MVA dasar dipilih adalah 100. Tabel berikut adalah pengaturan variabel kendali untuk ketiga sistem uji.

Tabel 1. Pengaturan variabel kendali untuk tiga sistem uji

Sistem Uji	Variabel	Min (p.u.)	Max (p.u.)	Step
14	V _G	0,9	1,1	0,01
	V _{PQ}	0,9	1,1	0,01
	T	0,9	1,1	0,01
	B _{sh9}	0	0,18	0,01
	B _{sh14}	0	0,06	0,01
30	V _G	0,9	1,1	0,01
	V _{PQ}	0,9	1,1	0,01
	T	0,9	1,1	0,01
	B _{sh10}	0	0,19	0,01
	B _{sh24}	0	0,04	0,01
Jawa-Bali	V _G	0,9	1,1	0,01
	V _{PQ}	0,9	1,1	0,01
	T	0,9	1,1	0,01
	B _{sh20}	0	-158	0,01
	B _{sh21}	0	-193	0,01
	B _{sh22}	0	-96	0,01

Pendekatan RGA yang digunakan untuk permasalahan Optimasi Reaktif Power Dispatch diimplementasikan dengan MATLAB 7.04 pada sebuah komputer Pentium IV, 2.0 GhZ, 256 MB RAM prosesor. Percobaan dilakukan dengan menggunakan tiga sistem uji dengan masing-masing sistem uji memakai maksimum generasi diatur sebanyak 300, Probabilitas mutasi sebesar 0,1 dan probabilitas pindah silang sebesar 0,7. Dengan ukuran populasi divariasikan 1, 3, 5, 10, 15, 20 dan 25, sehingga terdapat 7 kali percobaan untuk menghasilkan Rugi-rugi saluran yang paling kecil untuk tiap sistem uji (IEEE 14-bus dan IEEE 30-bus serta data Jawa-Bali).

Tabel 2. Perbandingan Metode GA dan RGA pada IEEE14-bus

Ukuran Populasi	Loss IEEE 14-bus (MW) GA	Loss IEEE 14-bus (MW) RGA
1	13,5616	14,3860
3	13,6721	13,4556
5	13,7303	13,3330
10	13,6367	13,3701
15	13,3984	13,1959
20	13,3477	13,2041
25	13,4356	13,2905

Pada Tabel 2, untuk metode RGA, percobaan 5 dengan ukuran populasi 15 memiliki rugi-rugi saluran yang paling kecil diantara percobaan yang

lain, yakni rugi-rugi saluran total untuk sistem uji IEEE 14-bus sebesar 13,1959 MW.

Untuk metode GA standar, percobaan 6 dengan ukuran populasi 20 memiliki rugi-rugi saluran yang paling kecil diantara percobaan yang lain, yakni rugi-rugi saluran total untuk sistem uji IEEE 14-bus sebesar 13,3477 MW.

Tabel 3. Perbandingan Metode GA dan RGA pada IEEE30-bus

Ukuran Populasi	Loss IEEE 14-bus (MW) GA	Loss IEEE 14-bus (MW) RGA
1	21,667	18,438
3	17,724	17,686
5	17,872	17,649
10	17,811	17,523
15	17,679	17,440
20	17,698	17,487
25	17,704	17,614

Pada Tabel 3, untuk metode RGA, percobaan 5 dengan ukuran populasi 15 memiliki rugi-rugi saluran yang paling kecil diantara percobaan yang lain, yakni rugi-rugi saluran total untuk sistem uji IEEE 30-bus sebesar 17,4403 MW.

Untuk metode GA standar, percobaan 6 dengan ukuran populasi 20 memiliki rugi-rugi saluran yang paling kecil diantara percobaan yang lain, yakni rugi-rugi saluran total untuk sistem uji IEEE 30-bus sebesar 17,4866 MW.

Tabel 4. Perbandingan Metode GA dan RGA pada data Jawa-Bali

Ukuran Populasi	Loss data Jawa-Bali (MW) GA	Loss data Jawa-Bali (MW) RGA
1	163,3484	154,6348
3	135,8117	128,1441
5	141,2891	128,6295
10	136,3479	127,2534
15	130,4450	126,5108
20	131,1755	126,4791
25	132,1660	126,6385

Pada Tabel 4, untuk metode RGA, percobaan 6 dengan ukuran populasi 20 memiliki rugi-rugi saluran yang paling kecil diantara percobaan yang lain, yakni rugi-rugi saluran total untuk sistem uji data Jawa-Bali sebesar 126,4791 MW.

Untuk metode GA standar, percobaan 5 dengan ukuran populasi 15 memiliki rugi-rugi saluran yang paling kecil diantara percobaan yang lain, yakni rugi-rugi saluran total untuk sistem uji data Jawa-Bali sebesar 130,4450 MW.

Terlihat pada pengujian-pengujian yang telah dilakukan, metode RGA menghasilkan rugi-rugi

saluran lebih kecil dibandingkan pengujian dengan metode GA, terlihat dari grafik total rugi-rugi dari setiap percobaan metode GA selalu terjebak pada lokasi minimum lokal, sehingga tidak berhasil mendapatkan total rugi-rugi yang lebih kecil lagi.

Penambahan ukuran generasi tidak berpengaruh pada hasil, Hasil terjebak pada lokasi optimum lokal. Sedangkan pada metode RGA berhasil keluar dari lokasi minimum lokal dan selalu dapat menghasilkan total rugi-rugi saluran yang lebih kecil di setiap generasinya, sehingga penambahan generasi pasti menghasilkan hasil yang lebih baik.

4. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

1. Ukuran populasi berpengaruh pada kecepatan konvergensi pencarian nilai minimum, pada metode GA standar konvergensi dicapai lebih lama dibandingkan metode RGA.
2. Ukuran generasi berpengaruh pada pencapaian nilai optimum, pada metode GA standar pencarian nilai optimum terjebak dalam optimum lokal, sedangkan pada metode RGA pencarian optimum tidak terjebak pada optimum lokal terbukti penambahan ukuran generasi semakin memperbaiki hasil.
3. Pada data uji IEEE-14 bus, dengan memakai metode RGA rugi-rugi saluran minimum dicapai pada nilai 13,1959 MW, dengan memakai metode GA rugi-rugi saluran minimum dicapai pada nilai 13,3477 MW.
4. Pada data uji IEEE-30 bus, dengan memakai metode RGA rugi-rugi saluran minimum dicapai pada nilai 17,4403 MW, dengan memakai metode GA rugi-rugi saluran minimum dicapai pada nilai 17,4866 MW.
5. Pada data uji Jawa-Bali, dengan memakai metode RGA rugi-rugi saluran minimum dicapai pada nilai 126,4791 MW, dengan memakai metode GA rugi-rugi saluran minimum dicapai pada nilai 130,445 MW.

4.2 Saran

Pemakaian spesifikasi komputer yang lebih baik akan mempermudah dalam melakukan beberapa kali pengujian, karena semakin banyak ukuran populasi akan semakin memperlambat proses running program.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] L.J. Eshelman, J.D. Schaffer, Real-coded genetic algorithms and interval schemata, in: L.D. Whitley (Ed.), Foundations of Genetic Algorithms, vol. 2, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1993, pp. 187–202

- [2] P.Subbaraj and P.N. Rajnarayanan,"Optimal Reactive Power Dispatch Using Self-Adaptive Real Coded Genetic Algorithm", *Electric Power System Research* Vol 79, 374-381, 18 September 2008
- [3] Q. Wu,J.T. Ma.,"Power System Optimal Reactive Power Dispatch Using Evolutionary Programming", *IEEE Transactions on Power Apparatus And Systems*, 100 (1984) 3185-3194
- [4] Suyanto, "Algoritma Genetika Dalam Matlab", Penerbit Andi Yogyakarta Januari 2005
- [5] Timothy J. E. Miller, "*Reactive Power Control in Electric System*", Wiley Interscience, ISBN: 0 471-86933-3, New York, 1982.
- [6] Wei Yan, Shuai Lu, and David C. Yu ," A Novel Optimal Reactive Power Dispatch Method Based on an improved hybrid evolutionary programming technique," *IEEE Transations on Power Apparatus and Systems*, Vol 19 No 2, May 2004