

OPTIMASI PENEMPATAN PEMBANGKIT TERDISTRIBUSI PADA *IEEE 30 BUS SYSTEM* MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

Norudhol Hadra Sabilla^{*)}, Agung Nugroho, and Susatyo Handoko

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail : norudhol.hadra@gmail.com

Abstrak

Dengan melimpahnya sumber energi terbarukan di alam, ada ketertarikan untuk mengembangkan suatu sistem pembangkitan yang memaksimalkan penggunaan energi tersebut. Sistem itu disebut Pembangkit Terdistribusi. Dalam instalasinya, Pembangkit Terdistribusi diletakkan dekat dengan beban dan diinterkoneksi ke jaringan distribusi listrik. Ternyata selain dapat membantu suplai tenaga listrik, Pembangkit Terdistribusi juga dapat mengurangi rugi-rugi pada jaringan listrik. Pada Penelitian ini, dilakukan optimasi penempatan Pembangkit Terdistribusi dan kapasitasnya dengan menggunakan Algoritma Genetika, untuk melihat pengaruh Pembangkit Terdistribusi terhadap rugi-rugi jaringan listrik. Parameter fungsi objektif pada algoritma genetika adalah rugi-rugi daya total pada sistem distribusi. Dengan meminimumkan rugi-rugi daya total maka akan diketahui lokasi dan kapasitas Pembangkit Terdistribusi yang paling optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan berbagai kombinasi lokasi dan kapasitas Pembangkit Terdistribusi, Algoritma Genetika berhasil menurunkan rugi-rugi daya secara signifikan. Pada pengujian dengan 1 Pembangkit Terdistribusi pada bus 30 dengan kapasitas 4,996 MW, rugi-rugi daya total berkurang 0,885 MW. Pada pengujian dengan 2 Pembangkit Terdistribusi pada bus 19 dan 30 dengan kapasitas masing-masing 4,996 MW dan 4,988 MW, rugi-rugi daya total dapat berkurang 1,625 MW. Pada pengujian dengan 3 Pembangkit Terdistribusi pada bus 15, 24, dan 30 dengan kapasitas masing-masing 4,953 MW, 4,996 MW, dan 4,926 MW, rugi-rugi daya total dapat berkurang 2,25MW.

Kata-Kunci : sistem distribusi listrik, pembangkit terdistribusi, algoritma genetika

Abstract

With abundance of renewable energy resources in nature, there is an anxiety for developing a kind of system which maximize the renewable energy resources usage. That system called a Distributed Generation. For the Distributed Generation installation, the generation system planted near the demand location, and interconnected to power distribution system. In fact, beside helping power distribution system, a Distributed Generation also obtain to reduce a power losses significantly. In this research, Distributed Generation placement and capacities optimization performed by using genetic algorithm to analyze the influence of Distributed Generation against power losses. The objective function's parameter in genetic algorithm is the power losses of power distribution system. By minimizing the total power losses then we will know location and capacity of the most optimal Distributed Generation. Test results showed that with various location and capacities combination of the Distributed Generation, genetic algorithm managed to reduce the power losses significantly. In the test with 1 Distributed Generation on bus 30 with a capacity of 4,996 MW, the power losses is reduced to 0,885 MW . In the test with 2 Distributed Generation on bus 19 and 30 with 4,996 MW and 4,988 MW for each capacity, the power losses is reduced to 1,625 MW. In the test with 3 Distributed Generation on bus 15, 24, and 30 with 4,953 MW, 4,996 MW, and 4,926 MW for each capacity, the power losses is reduced to 2,25MW.

Keywords : power distribution system, distributed generation, genetic algorithm

1. Pendahuluan

Dalam beberapa dekade terakhir ini, pembangkit terdistribusi mulai dikembangkan di negara-negara maju seperti di belahan Eropa dan Amerika untuk mendukung

kebutuhan energi listrik negara. Pembangkit terdistribusi dinilai sebagai suatu solusi yang tepat untuk mengatasi kekurangan pasokan energi listrik maupun mengatasi problematika sistem distribusi listrik seperti rugi-rugi daya listrik, keseimbangan sistem distribusi listrik, dan

juga mengatasi beban kritis yang mengalami drop tegangan. Kesederhanaan desain, kemudahan mencari sumber penggerak turbin (menggunakan *renewable alternative energy*), berbiaya rendah, dan kemudahan instalasi membuat pembangkit terdistribusi semakin diminati sebagai sumber daya listrik yang instan.

Dikarenakan pembangkit terdistribusi yang terletak di dekat pusat-pusat beban, maka pembangkit terdistribusi selain dapat langsung melayani beban yang membutuhkan energi listrik tambahan juga dapat diinterkoneksi ke jaringan distribusi listrik untuk optimalisasi keandalan jaringan distribusi tersebut.

Berdasar pada berbagai manfaat dan keuntungan dari pembangkit terdistribusi tersebut, maka pada Penelitian ini penulis akan mensimulasikan optimasi letak dan kapasitas pembangkit terdistribusi pada suatu jaringan distribusi listrik dalam pengaruhnya terhadap minimalisasi rugi-rugi jaringan distribusi listrik. Jaringan distribusi listrik yang digunakan untuk optimasi ini yaitu IEEE 30 *Bus Test Distribution System* dan metode optimasi yang digunakan yaitu algoritma genetika.

2. Metode

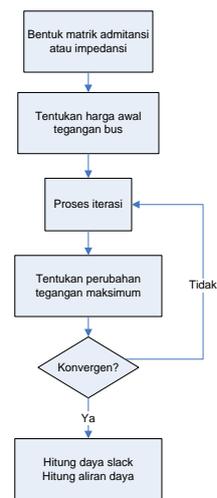
Diagram alir menunjukkan tahapan optimasi penempatan pembangkit terdistribusi. Data IEEE 30 *Bus Test Distribution System* diambil langsung dari buku *Power System Analysis*, Hadi Saadat. Diagram alir optimasi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir simulasi program

2.1. Studi Aliran Daya Listrik

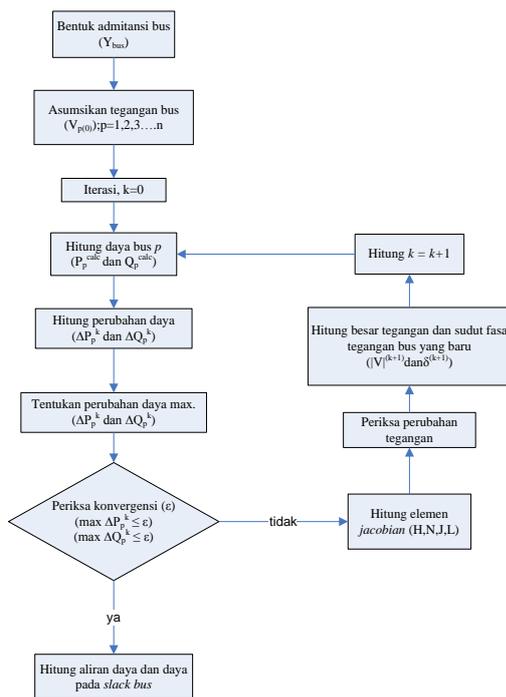
Untuk menyelesaikan studi aliran daya, digunakan metode *Newton Raphson*. Metode *Newton Raphson* lebih cepat mencapai nilai konvergen sehingga proses iterasi yang berlangsung lebih sedikit tetapi setiap iterasinya memerlukan waktu yang relatif lebih lama, karena jumlah iterasinya sedikit, secara keseluruhan memerlukan waktu yang lebih singkat dalam penyelesaian aliran daya. Secara umum prosedur penyelesaian aliran daya dapat dilihat pada diagram alir dalam Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir perhitungan aliran daya

Dasar dari metode *Newton Raphson* dalam penyelesaian aliran daya adalah deret Taylor untuk suatu fungsi dengan dua variabel lebih. Metode *Newton Rhapsion* menyelesaikan masalah aliran daya dengan menggunakan suatu set persamaan non linier untuk menghitung besarnya tegangan dan sudut fasa tegangan tiap bus.

Adapun bentuk diagram alir dari proses perhitungan aliran daya dengan metode *Newton Raphson* dapat dilihat pada Gambar 3.

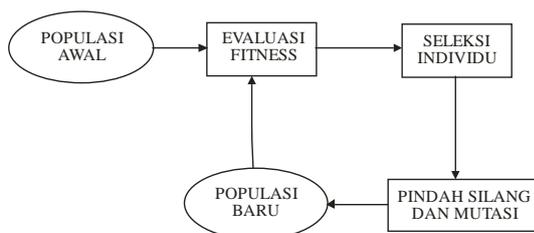


Gambar 3. Diagram Alir Proses Perhitungan Aliran Daya Dengan Metode Newton Raphson.

2.2. Algoritma Genetika

Algoritma genetika menggunakan analogi secara langsung dari kebiasaan yang alami yaitu seleksi alam. Algoritma ini bekerja dengan sebuah populasi yang terdiri dari individu-individu, yang masing-masing individu mempresentasikan sebuah solusi yang mungkin bagi persoalan yang ada. Dalam kaitan ini, individu dilambangkan dengan sebuah nilai fitness yang akan digunakan untuk mencari solusi terbaik dari persoalan yang ada.

Untuk memeriksa hasil optimasi, kita membutuhkan fungsi fitness, yang menandakan gambaran hasil (solusi) yang sudah dikodekan. Selama berjalan, induk harus digunakan untuk reproduksi, pindah silang dan mutasi untuk menciptakan keturunan. Jika algoritma genetika didesain secara baik, populasi akan mengalami konvergensi dan akan didapatkan sebuah solusi yang optimum.



Gambar 4. Siklus Algoritma Genetika

2.2.1. Parameter Algoritma Genetika

Dalam penerapan algoritma genetika, ada beberapa parameter yang dilibatkan, di mana parameter ini menentukan kesuksesan suatu proses optimasi. Jenis parameter yang digunakan bergantung pada permasalahan yang diselesaikan, namun ada beberapa parameter yang menjadi standar, yaitu:

- a. Ukuran populasi (pop_size)
- b. Probabilitas *crossover* (p_c)
- c. Probabilitas mutasi (p_m)

2.2.2. Komponen Algoritma Genetika

Komponen-komponen dalam algoritma genetika dapat dijabarkan sebagai berikut :

a. Skema Pengkodean

Terdapat tiga skema yang paling umum digunakan dalam pengkodean, yaitu :

1. *Real-number encoding*. Pada skema ini, nilai gen berada dalam interval $[0,R]$, dimana R adalah bilangan real positif dan biasanya $R = 1$
2. *Discrete decimal encoding*. Setiap gen bisa bernilai salah satu bilangan bulat dalam interval $[0,9]$
3. *Binary encoding*. Setiap gen hanya bisa bernilai 0 atau 1.

b. Nilai Fitness

Suatu individu dievaluasi berdasarkan suatu fungsi tertentu sebagai ukuran performansinya. Di dalam evolusi alam, individu yang bernilai fitness tinggi yang akan bertahan hidup. Sedangkan individu yang bernilai fitness rendah akan mati.

Agar tidak ada hal buruk pada proses seleksi yang memilih orang tua secara proporsional sesuai dengan nilai fitness-nya maka diperlukan suatu mekanisme yang disebut *linear fitness ranking*.

c. Seleksi Orang Tua

Pemilihan dua buah kromosom sebagai orang tua, yang akan dipindahkansilangkan, biasanya dilakukan secara proporsional sesuai dengan nilai fitnessnya. Suatu metode seleksi umum yang digunakan adalah *roulette-wheel* (roda roulette). Sesuai dengan namanya, metode ini menirukan permainan roulette-wheel dimana masing – masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda roulette secara proporsional sesuai dengan nilai fitnessnya. Kromosom yang memiliki nilai fitness lebih besar menempati potongan lingkaran yang lebih besar dibandingkan dengan kromosom bernilai fitness rendah.

d. Pindah Silang

Salah satu komponen yang penting dalam algoritma genetika adalah *crossover* atau pindah silang. Sebuah kromosom yang mengarah pada solusi yang bagus bisa diperoleh dari proses memindah-silangkan dua buah kromosom.

Pindah silang bisa dilakukan dalam beberapa cara berbeda. Yang paling sederhana adalah pindah silang satu titik potong (*one-point crossover*). Suatu titik potong dipilih secara random, kemudian bagian pertama dari orang tua 1 digabungkan dengan bagian kedua dari orang tua 2.

e. Mutasi

Prosedur mutasi sangatlah sederhana. Untuk semua gen yang ada, jika bilangan random yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi P_{mut} yang ditentukan maka ubah gen tersebut menjadi nilai kebalikannya (dalam binary encoding, 0 diubah 1, dan 1 diubah 0).

Pada algoritma genetika sederhana, nilai P_{mut} adalah tetap selama evolusi.

f. Elitisme

Karena seleksi dilakukan secara random, maka tidak ada jaminan bahwa suatu individu bernilai fitness tertinggi akan selalu terpilih. Untuk menjaga agar individu bernilai fitness tertinggi tidak hilang selama evolusi, maka perlu dibuat satu atau beberapa kopinya. Prosedur ini dikenal *elitisme*.

g. Penggantian Populasi

Dalam algoritma genetika dikenal skema penggantian populasi yang disebut *generational replacement*, yang berarti semua individu (misal N individu dalam suatu populasi) dari suatu generasi digantikan sekaligus oleh N individu baru hasil pindah silang dan mutasi.

2.3. Perancangan Sistem

Dalam perancangan sistem optimasi ini dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB. Metode algoritma genetika dipilih karena cocok untuk ruang solusi yang besar dan *load flow analysis* menggunakan metode *Newton-Raphson* karena cepat mencapai nilai konvergen sehingga membutuhkan sedikit iterasi, namun tiap iterasinya membutuhkan waktu yang lama.

1. Kondisi Awal

Pada kondisi ini simulasi akan melakukan *load flow analysis* pada IEEE 30 Bus Distribution Test System untuk mengetahui kondisi beban tiap bus. Hasil dari *load*

flow analysis ini akan menjadi acuan dasar dalam analisa proses optimasi penempatan dan kapasitas pembangkit terdistribusi dalam pengaruhnya terhadap rugi-rugi jaringan.

2. Optimasi Pembangkit Terdistribusi

Pada kondisi optimasi ini pengguna diminta untuk memasukkan sejumlah pembangkit terdistribusi yang akan disimulasikan dengan batasan maksimal 3 (tiga) pembangkit dengan batasan kapasitas pembangkit yaitu 5MW, kemudian program simulasi akan menjalankan algoritma genetika untuk menentukan lokasi pembangkit dan kapasitasnya.

Fungsi objektif untuk proses optimasi dapat dirumuskan dalam bentuk matematis sebagai berikut :

$$Fitness = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Ploss_{i,j} , i \neq j \quad 2.1$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Ploss_{i,j} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n real(Sloss_{i,j}) \quad 2.2$$

dimana

$Ploss_{i,j}$ = rugi-rugi daya aktif pada jaringan (MW)

$Sloss_{i,j}$ = rugi-rugi daya semu pada jaringan (MVA)

n = jumlah bus pada sistem distribusi

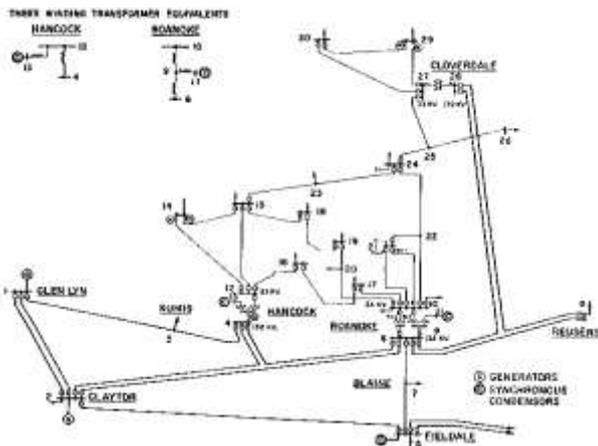
Dalam program simulasi ini algoritma genetika akan membangkitkan sejumlah bilangan dengan batasan tertentu yang akan digunakan sebagai calon pembangkit terdistribusi dan diimplementasikan kedalam data IEEE 30 Bus Distribution Test System untuk kemudian dievaluasi menggunakan persamaan-persamaan diatas.

Dengan meminimumkan fungsi objektif pada persamaan 2.1 diatas maka akan didapat lokasi dan kapasitas pembangkit yang paling optimal.

3. Hasil dan Analisa

3.1. Data Sistem

Data yang digunakan pada pengujian ini adalah data IEEE 30 bus *distribution test system* [5]. Data yang diambil berupa data bentuk jaringan distribusi, data beban, dan data saluran. Skema dari IEEE 30 Bus Test System ditampilkan pada gambar 4. berikut.



Gambar 5. Skema IEEE 30 Bus Test System

3.2. Hasil Pengujian

3.2.1. Kondisi Awal

Kondisi awal merupakan kondisi dimana simulasi pada data sistem dijalankan tanpa adanya pembangkit terdistribusi yang terinstal untuk mengetahui nilai rugi-rugi daya pada jaringan. Dari hasil kondisi awal untuk menopang sistem distribusi 30 bus, generator beroperasi dengan total daya keluaran yaitu sebesar 300,822 MW. Namun daya yang diterima beban hanya 283,4 MW. Disini terlihat bahwa terdapat rugi-rugi daya aktif yaitu sebesar 17,567 MW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 33,083 MVAR.

3.2.2. Optimasi Penempatan 1 Pembangkit Terdistribusi

Dalam pengujian ini sistem diberikan sebuah pembangkit terdistribusi dengan lokasi dan besar kapasitas yang dioptimasi menggunakan algoritma genetika. Dari lima kali pengujian didapat hasil sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil optimasi dengan 1 pembangkit terdistribusi

Jumlah Pembangkit Terdistribusi	Lokasi Pembangkit Terdistribusi	Kapasitas Pembangkit Terdistribusi (MW)
1	30	4.996

Dari hasil optimasi dengan sebuah pembangkit terdistribusi yang diinstal, rugi daya nyata yang terdapat dalam sistem menjadi 16,682 MW dan rugi daya reaktif sebesar 29,567 MVAR. Rugi-rugi daya dapat menurun sebesar 0,885 MW untuk rugi daya aktif dan 3,516 MVAR untuk rugi daya reaktif.

3.2.2.1. Pengujian Hasil Percobaan 1 Pembangkit Terdistribusi dengan Software ETAP

Dengan menggunakan software ETAP, didapat hasil rugi-rugi sistem yaitu 16,681 MW dan rugi-rugi daya reaktif

sebesar 29,476 MVAR. Terdapat sedikit perbedaan pada hasil akhir dikarenakan sistem pemrograman yang berbeda pada masing-masing software.

3.2.3. Optimasi Penempatan 2 Pembangkit Terdistribusi

Dalam pengujian ini sistem diberikan dua pembangkit terdistribusi dengan lokasi dan besar kapasitas yang dioptimasi menggunakan algoritma genetika. Dari lima kali pengujian didapat hasil sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil optimasi dengan 2 pembangkit terdistribusi

Jumlah Pembangkit Terdistribusi	Lokasi Pembangkit Terdistribusi	Kapasitas Pembangkit Terdistribusi (MW)
2	19	4,996
	30	4,988

Dari hasil optimasi dengan sebuah pembangkit terdistribusi yang diinstal, rugi daya nyata yang terdapat dalam sistem menjadi 15,942 MW dan rugi daya reaktif sebesar 26,345 MVAR. Rugi-rugi daya dapat menurun sebesar 1,625 MW untuk rugi daya aktif dan 6,738 MVAR untuk rugi daya reaktif.

3.2.3.1. Pengujian Hasil Percobaan 2 Pembangkit Terdistribusi dengan Software ETAP

Dengan menggunakan software ETAP, didapat hasil rugi-rugi sistem yaitu 15,948 MW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 26,340 MVAR. Terdapat sedikit perbedaan pada hasil akhir dikarenakan sistem pemrograman yang berbeda pada masing-masing software.

3.2.4. Optimasi Penempatan 3 Pembangkit Terdistribusi

Dalam pengujian ini sistem diberikan dua pembangkit terdistribusi dengan lokasi dan besar kapasitas yang dioptimasi menggunakan algoritma genetika. Dari lima kali pengujian didapat hasil sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil optimasi dengan 3 pembangkit terdistribusi

Jumlah Pembangkit Terdistribusi	Lokasi Pembangkit Terdistribusi	Kapasitas Pembangkit Terdistribusi (MW)
3	15	4.953
	24	4.996
	30	4.926

Dari hasil optimasi dengan sebuah pembangkit terdistribusi yang diinstal, rugi daya nyata yang terdapat dalam sistem menjadi 15,317 MW dan rugi daya reaktif sebesar 23,533 MVAR. Rugi-rugi daya dapat menurun sebesar 2,25 MW untuk rugi daya aktif dan 9,55 MVAR untuk rugi daya reaktif.

3.2.4.1. Pengujian Hasil Percobaan 3 Pembangkit Terdistribusi dengan Software ETAP

Dengan menggunakan *software* ETAP, didapat hasil rugi-rugi sistem yaitu 15,315 MW dan rugi-rugi daya reaktif sebesar 23,453MVAR. Terdapat sedikit perbedaan pada hasil akhir dikarenakan sistem pemrograman yang berbeda pada masing-masing *software*.

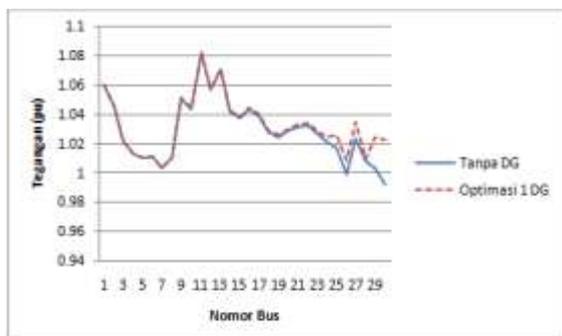
3.2.5. Analisa Sebelum dan Sesudah Penempatan Pembangkit Terdistribusi

Setelah dilakukan beberapa pengujian seperti diatas, dapat dilakukan perbandingan untuk semua hasil pengujian. Perbandingan semua hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut ini.

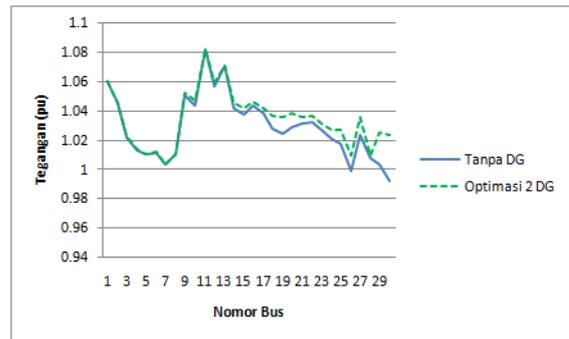
Tabel 4. Perbandingan seluruh hasil pengujian

Jumlah Pembangkit Terdistribusi	Lokasi Pembangkit Terdistribusi	Kapasitas Pembangkit (MW)	Rugi-Rugi Daya Sistem (MW)	Penurunan Rugi-Rugi Daya (MW)	Persentase Penurunan Rugi-Rugi Daya (%)
Tanpa pembangkit terdistribusi	0	0	17.567	0	0
1	30	4.996	16.682	0.885	5.074
2	19	4.996	15.942	1.625	9.25
3	30	4.988	15.317	2.25	12.808

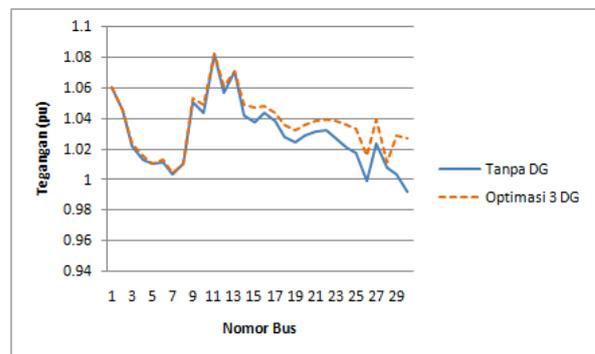
Dapat dilihat pula bagaimana pengaruh penempatan tiga buah pembangkit terdistribusi merupakan kombinasi yang paling baik karena mampu menurunkan rugi-rugi daya sebesar 12,808%. Minimasi rugi-rugi daya pada suatu sistem distribusi juga ditandai dengan kenaikan nilai tegangan pada sistem distribusi tersebut. Gambar dibawah ini menunjukkan bagaimana pengaruh pembangkit terdistribusi terhadap nilai tegangan pada kondisi sistem sebelum dan sesudah diinstal pembangkit terdistribusi.



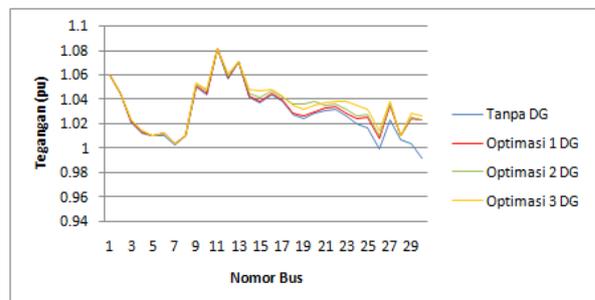
Gambar 6. Grafik perbandingan tegangan menggunakan 1 buah pembangkit terdistribusi



Gambar 7. Grafik perbandingan tegangan menggunakan 2 buah pembangkit terdistribusi



Gambar 8. Grafik perbandingan tegangan menggunakan 3 buah pembangkit terdistribusi



Gambar 9. Grafik perbandingan pada pengujian tanpa pembangkit terdistribusi dan dengan 1, 2, dan 3 pembangkit terdistribusi

Mengacu pada grafik diatas, penempatan pembangkit terdistribusi mampu meningkatkan nilai tegangan pada saluran lebih baik daripada kondisi awal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut. Pada pengujian awal tanpa pembangkit terdistribusi, daya yang dihasilkan generator primer yaitu 300,967 MW. Namun daya yang diterima beban yaitu 283,400 MW, sehingga terdapat rugi-rugi daya sebesar 17,567 MW.

Pengujian dengan menggunakan 1 buah pembangkit terdistribusi menghasilkan lokasi dan kapasitas pembangkit yang optimal dan berhasil menurunkan rugi-rugi daya listrik sebesar 0,885 MW (5,074%).

Pengujian dengan menggunakan 2 buah pembangkit terdistribusi menghasilkan lokasi dan kapasitas pembangkit yang optimal dan berhasil menurunkan rugi-rugi daya listrik sebesar 1,625 MW (9,25%).

Pengujian dengan menggunakan 3 buah pembangkit terdistribusi menghasilkan lokasi dan kapasitas pembangkit yang paling optimal dan berhasil menurunkan rugi-rugi daya listrik sebesar 2,25 MW (12,808%).

Perlu dipertimbangkan lebih lanjut untuk optimasi penempatan pembangkit terdistribusi menggunakan metode optimasi lainnya, seperti logika *fuzzy*, *ant colony optimization*, *particle swarm optimization*, kombinasi beberapa metode, dan lain-lain.

Diperlukan adanya pengembangan terhadap program optimasi dengan menambah parameter lainnya, seperti biaya pemasangan pembangkit terdistribusi, biaya perawatan, pengaruh pertumbuhan beban dimasa mendatang, optimasi dengan data sistem yang tidak seimbang, potensi energi disuatu daerah dan sebagainya

Referensi

- [1]. Muslim, Supari. 2008. *Teknik Pembangkit Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- [2]. Sumardjati, Prih. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- [3]. Gonen, Turan. 1986. *Electric Power Distribution System Engineering*. New York : McGraw-Hill.
- [4]. Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis*. Singapura : McGraw-Hill.
- [5]. Sulasno. 2001. *Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik Edisi 1*. Semarang : Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- [6]. Sukmawidjaja, Maula. 2008. "Perhitungan Profil Tegangan Pada Sistem Distribusi Menggunakan Matrix Admitansi Dan Matrix Impedansi Bus". JETri, Volume 7, Nomor 2, Februari 2008, Halaman 21 - 40, ISSN 1412-0372.
- [7]. Ackerman, Thomas. 2001. "Distributed Generation : A Definition". Elsevier, Electric Power System Research 57 (2001) 195-204.
- [8]. EPCOR. 2002."Distributed Generation". Edmonton, Canada.
- [9]. Robandi, Imam. 2006. *Desain Sistem Tenaga Modern*. Yogyakarta : Penerbit ANDI.
- [10]. _____,2001. *Analisis Sistem Tenaga Listrik Edisi 2*. Semarang : Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- [11]. Stevenson, William D. 1996. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta : Erlangga
- [12]. Suyanto. 2005. *Algoritma Genetika dalam MATLAB*. Yogyakarta : Penerbit ANDI.
- [13]. T.N.Shukla, S.P.Singh, K.B.Naik. 2010. "Allocation of optimal distributed generation using GA for minimum system losses in radial distribution networks". International Journal of Engineering, Science and Technology Vol.2, No.3, pp. 94-106.
- [14]. I.Pisica, C.Bulac, Member, IEEE, M.Eremia, Senior Member, IEEE. 2009. "Optimal Distributed Generation Location and Sizing using Genetic Algorithms". Department of Power System, University Politehnica of Bucharest, Romania.