

OPTIMASI KAPASITAS PEMBANGKIT TERSEBAR UNTUK MENGURANGI RUGI DAYA AKTIF MENGGUNAKAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* DAN PENGARUHNYA TERHADAP INDEKS KESTABILAN TEGANGAN

Febriansyah^{*)}, Hermawan, and Susatyo Handoko

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

^{*)}E-mail: *febriansyahst@yahoo.com*

Abstrak

Pembangkit tersebar yang terhubung di jaringan distribusi sedang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Pemasangan pembangkit tersebut pada sistem eksisting memiliki efek terhadap kestabilan sistem, keandalan sistem, kualitas daya, dan sistem proteksi. Pada tugas akhir ini, optimasi kapasitas pembangkit tersebar dilakukan dengan menggunakan metode *particle swarm optimization* pada lokasi yang sudah ditentukan. Optimasi tersebut dilakukan untuk meminimalisir rugi daya aktif dan pengaruhnya terhadap indeks kestabilan tegangan. Data yang digunakan adalah data jaringan distribusi 69 bus dan jaringan distribusi Mrica05 Banjarnegara. Hasil simulasi menunjukkan bahwa optimasi kapasitas pembangkit tersebar pada jaringan distribusi 69 bus dapat mengurangi rugi daya aktif sebesar 215,19 kW dengan kapasitas optimum masing-masing ialah sebesar 548,08 kW, 584,75 kW dan 1200 kW. Pada Penyulang Mrica05, rugi daya aktif dapat dikurangi sebesar 28,97 kW dengan kapasitas optimum pada kapasitas maksimal dari rating pembangkit tersebar yaitu, 500 kW, 250 kW, 320 kW, dan 500 kW. Berdasarkan hasil simulasi, selain dapat mengurangi rugi daya aktif, pembangkit tersebar dapat memperbaiki indeks kestabilan tegangan sistem.

Kata kunci : Pembangkit tersebar, particle swarm optimization, rugi daya aktif, indeks kestabilan tegangan

Abstract

Distributed generation that connected to distribution network is being developed to fulfill the need of electrical energy. The installation of the distributed generation on the existing system has effects to the stability, reliability, power quality, and system protection. In this final assignment, optimization of distributed generation capacity is done by using *particle swarm optimization* methods on the specified locations. Optimization is carried out to minimize active power loss and the effect on voltage stability index. This simulation uses 69 bus and Mrica05 Banjarnegara distribution network data. The result shows that the optimum of distributed generation in 69 bus distribution network can reduce active power loss by 215,19 kW with the optimum capacity of each DG 548.08 kW, 584.75 kW, and 1200 kW. On a Mrica05 distribution network, active power loss can reduced by 28,97 kW with optimum capacity on the maximum capacity from distributed generation rates are 500 kW, 250 kW, 320 kW, and 500 kW. Based on simulation result, in addition to reduce active power loss, distributed generation can improve the voltage stability index system.

Keyword: Particle swarm optimization, distributed generation, active power loss, voltage stability index

1. Pendahuluan

Permintaan kebutuhan tenaga listrik semakin meningkat pesat seiring meningkatnya pertumbuhan ekonomi. Ekonomi yang tumbuh mendorong percepatan industrialisasi dan meningkatkan kebutuhan penduduk untuk menggunakan peralatan yang membutuhkan lebih banyak energi listrik. Oleh karena itu, penyediaan dan kualitas energi listrik perlu ditingkatkan.

Berdasarkan dengan RUPTL (Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik) 2011-2020, pengembangan kapasitas pembangkit tenaga listrik diarahkan untuk memenuhi pertumbuhan beban juga untuk meningkatkan keandalan pasokan yang diinginkan dengan mengutamakan pemanfaatan sumber energi setempat, terutama energi terbarukan seperti Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro.

Pembangkit skala kecil yang digunakan untuk menyuplai daya ke sistem distribusi sedang dikembangkan sesuai dengan perkembangan jaringan listrik existing PLN. Pembangkit tersebut dikenal dengan istilah *Distributed Generation* (DG)/Pembangkit Tersebar. Penambahan kapasitas pemasangan pembangkit tersebar pada sistem distribusi *existing* PLN 20 kV memiliki efek terhadap kestabilan sistem, keandalan sistem, kualitas daya, dan sistem proteksi.

Pada penelitian sebelumnya yang telah dilakukan ialah membahas tentang pengaruh pembangkit tersebar terhadap indeks kestabilan tegangan pada sistem jaringan listrik *existing* 20 kV, studi kasus wilayah Banjarnegara^[8] dan penelitian tentang optimasi kapasitas dan penempatan pembangkit tersebar untuk mengurangi rugi daya dan kestabilan tegangan dengan metode PSO^[13].

Pada Tugas Akhir ini, optimasi kapasitas pembangkit tersebar dilakukan dengan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* untuk mengurangi rugi daya aktif dan menjaga kestabilan tegangan. Parameter-parameter yang digunakan untuk fungsi objektif pada PSO adalah rugi-rugi daya aktif dan kestabilan tegangan tiap bus pada sistem distribusi. Studi kasus yang digunakan adalah sistem distribusi PT.PLN, Gardu Induk Mrica, Penyulang Mrica 05 dengan pengujian IEEE 69 bus test system^[3,13].

2 Metode

2.1 Metode Aliran Daya Newton Raphson

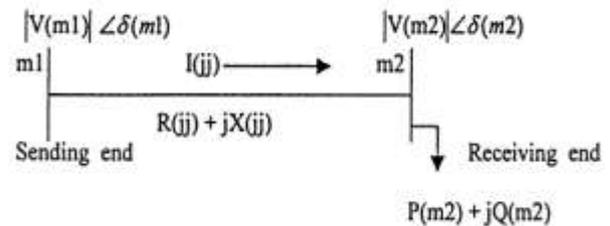
Algoritma perhitungan aliran daya dengan metode newton-Raphson adalah sebagai berikut:

1. Membuat matriks admitansi bus $[Y_{bus}]$ dari data saluran yang ada.
2. Memulai iterasi $k = 0$ dengan menentukan nilai P_i^k dan Q_i^k pada bus beban, dan P_i^k pada bus kontrol kemudian mengasumsikan nilai $|V_i|^k$ dan δ_i^k pada semua bus beban dan bus kontrol.
3. Menghitung nilai $\Delta P_i^{(k)}$ dan $\Delta Q_i^{(k)}$ pada bus beban dan $\Delta P_i^{(k)}$ pada bus kontrol.
4. Menentukan apakah nilai $\Delta P_i^{(k)} \leq \epsilon$ dan $\Delta Q_i^{(k)} \leq \epsilon$ terpenuhi. Jika terpenuhi, maka perhitungan dilanjutkan dengan mencari nilai P_i^k dan Q_i^k pada bus ayun serta Q_i^k pada bus kontrol. Jika tidak terpenuhi, hitung elemen matriks Jacobian agar didapatkan nilai $\Delta \delta^k$ dan $\Delta |V|^k$.
5. Menghitung nilai $\delta_i^{(k+1)}$, $|V_i^{(k+1)}|$, $P_i^{(k+1)}$, dan $Q_i^{(k+1)}$ untuk memulai iterasi $k + 1$ hingga nilai $\Delta P_i^{(k)} \leq \epsilon$ dan $\Delta Q_i^{(k)} \leq \epsilon$ terpenuhi.

2.2 Indeks Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan adalah kemampuan sistem untuk menjaga nilai tegangan pada semua bus saat kondisi tidak

normal maupun saat terjadinya gangguan^[6]. Pada sistem distribusi radial, Chakravorty dan Das^[3] memperkenalkan indeks kestabilan tegangan (*voltage stability index*) pada semua titik dari sistem. Persamaan untuk menentukan nilai indeks kestabilan tegangan didasarkan oleh solusi aliran daya pada sistem distribusi berdasarkan Gambar berikut:



Gambar 1. Sistem dua bus sederhana^[3]

Dari Gambar, didapatkan;

$$SI(m2) = |V(m1)|^4 - 4.0\{P(m2)x(jj) - Q(m2)r(jj)\}^2 - 4.0\{P(m2)r(jj) + Q(m2)x(jj)\}|V(m1)|^2 \quad (1)$$

Dengan

$SI(m2)$ adalah Indeks Kestabilan Tegangan (VSI) pada titik ($m2 = 2, 3, \dots, NB$)

- jj = nomor saluran,
- $m1$ = ujung sisi kirim,
- $m2$ = ujung sisi terima,
- $r(jj)$ = resistansi pada saluran jj ,
- $x(jj)$ = reaktansi pada saluran jj ,
- $V(m1)$ = tegangan pada titik $m1$,
- $P(m2)$ = total daya aktif beban pada titik $m2$ dan setelahnya,
- $Q(m2)$ = total daya reaktif beban pada titik $m2$ dan setelahnya,

Operasi dikatakan stabil dari sistem distribusi radial jika kondisi $SI(m2) \geq 0$, untuk $m2 = 2, 3, \dots, NB$ harus terpenuhi.

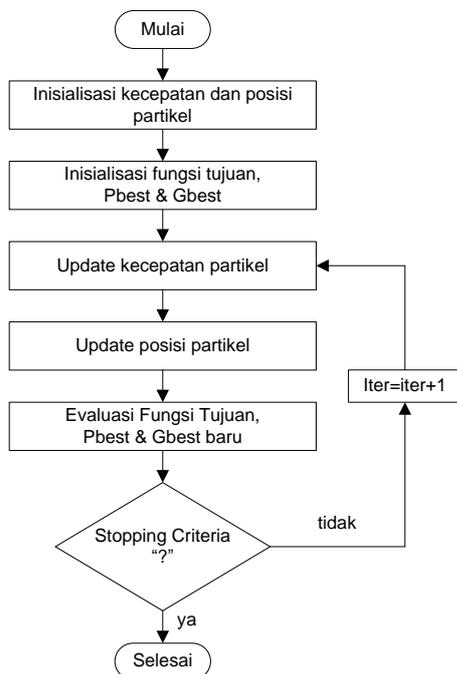
Indeks kestabilan tegangan digunakan untuk mengukur level kestabilan dari sistem distribusi radial. Titik yang memiliki nilai indeks kestabilan tegangan terendah, maka lebih sensitif terhadap jatuh tegangan. Dengan demikian, langkah yang sesuai dapat diambil jika dari indeks menunjukkan level stabilitas yang rendah^[3].

2.3 Prinsip Dasar PSO

Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO) diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun

1995, Algoritma ini dibangun berdasarkan perilaku sosial sekumpulan (*swarm*) burung. Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Setiap individu atau partikel berperilaku dengan cara menggunakan kecerdasannya (*intelligence*) sendiri dan juga dipengaruhi oleh perilaku kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika satu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat atau pendek menuju ke sumber makanan, sisa kelompok yang lain juga akan dapat segera mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka jauh di kelompok tersebut.

Berikut ini adalah langkah-langkah dari proses PSO :



Gambar 2. Algoritma PSO

Untuk menghitung kecepatan pada iterasi berikutnya menggunakan Persamaan (2),

$$V_j(i) = \theta V_j(i-1) + c_1 r_1 [P_{best,j} - X_j(i-1)] + c_2 r_2 [G_{best} - X_j(i-1)] \quad (2)$$

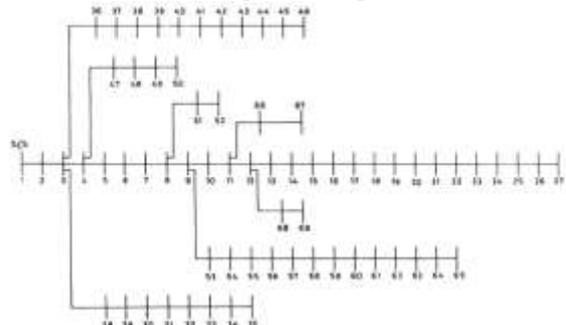
i = iterasi ; $j = 1, 2, 3, \dots, N$; r_1 dan r_2 adalah bilangan random. Sedangkan untuk menentukan posisi partikel pada iterasi berikutnya menggunakan Persamaan (3),

$$X_j(i) = X_j(i-1) + V_j(i) \quad (3)$$

2.4 Perancangan Simulasi Sistem

Dalam perancangan simulasi sistem menggunakan dua data jaringan distribusi. Data pertama menggunakan data jaringan distribusi 69 bus dengan nilai kV_{base} dan MVA_{base}

sebesar 12,66 kV dan 0,01 MVA^[13]. Bentuk jaringan distribusi radial 69 bus dapat dilihat pada Gambar 3.



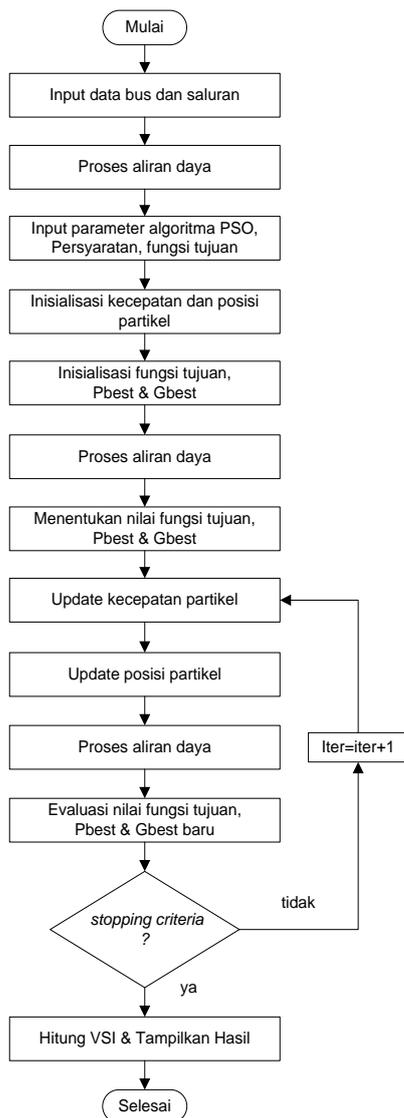
Gambar 3. Jaringan sistem distribusi radial 69 bus^[3]

Data kedua menggunakan sistem jaringan distribusi tegangan menengah 20 kV, Penyulang Mrica05, PT PLN Rayon Banjarnegara dengan jumlah empat PLTMH yaitu Sigebang, Kincang, Adipasir, dan Rakit dengan kapasitas masing-masing sebesar 500 kW, 250 kW, 320 kW dan 500 kW. Bentuk jaringan distribusi Penyulang Mrica05 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Jaringan distribusi Penyulang Mrica05

Diagram alir perancangan dan pembuatan program Analisis Pengaruh Penempatan *Distributed generation* terhadap Kestabilan Tegangan pada Sistem Distribusi ditunjukkan pada Gambar 5:



Gambar 5. Algoritma pembuatan program simulasi

Fungsi tujuan pada proses optimasi merupakan penjumlahan rugi daya aktif pada keseluruhan sistem jaringan distribusi dengan persamaan:

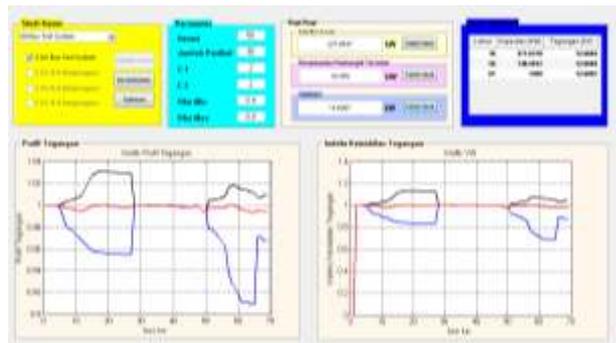
$$P_{loss} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij} \frac{(P_j^2 + Q_j^2)}{V_j^2} \quad i \neq j \quad (4)$$

Dengan batasan kapasitas pembangkit tersebar, $P_{gi} \min \leq P_{gi} \leq P_{gi} \max$ (5)

3. Hasil dan Analisa

3.1 Optimasi Kapasitas Pembangkit Tersebar Jaringan Sistem Distribusi 69 Bus

Simulasi pada sistem ini terdapat 3 pembangkit tersebar yang telah terpasang dibus 18, 58, dan 61 dengan besar kapasitas 1,2 MW dan ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Simulasi optimasi kapasitas pembangkit tersebar pada data jaringan 69 bus

Berdasarkan Gambar 6, dapat diketahui nilai rugi daya aktif pada kondisi awal sebesar 227,8437 kW, setelah ditambah PT dapat mengurangi rugi daya aktif menjadi 42,482 kW, dan setelah dioptimasi rugi daya aktif menjadi sebesar 14,6267 kW dengan masing-masing kapasitas pembangkit tersebar pada bus 18, 58, dan 61 yaitu, 577,637 kW, 748,581 kW, dan 1200 kW. Tabel 1 berikut adalah tabel hasil optimasi kapasitas pembangkit tersebar 69 bus.

Tabel 1. Hasil optimasi kapasitas pembangkit tersebar 69 bus

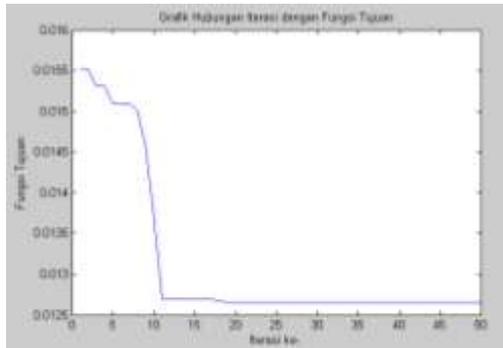
Optimasi Dengan PSO Maxit = 50; N = 30; C _{1,2} = 2; θ _{min,max} = 0.4, 0.9				
BUS	P _{gen} (kW)	V _m (p.u)	Rugi-Rugi	
			P (kW)	Q (kVAR)
18	577,637	1,0000		
58	748,581	1,0005	14,6267	11,0738
61	1200	0,9960		
Validasi Aliran Daya dengan ETAP 7.0				
BUS	P _{gen} (kW)	V _m (p.u)	Rugi-Rugi	
			P (kW)	Q (kVAR)
18	577,637	0,9995		
58	748,581	1,0006	14,3948	11,0259
61	1200	0,9960		

Grafik profil tegangan menunjukkan adanya beberapa bus yang memiliki nilai dibawah standar yaitu kurang dari 0,95 p.u. dari tegangan nominal. Tabel 2 adalah data bus yang memiliki nilai nominal dibawah SPLN 72;1987.

Tabel 2. Bus tegangan kurang dari nilai nominal

Bus	Kondisi Awal		Penambahan PT	
	V _m (p.u)	VSI	V _m (p.u)	VSI
57	0,9398	0,7771	1,0154	1,0628
58	0,9288	0,7433	1,0189	1,0777
59	0,9245	0,7303	1,0177	1,0726
60	0,9194	0,7145	1,0164	1,0673
61	0,912	0,6916	1,0144	1,0590
62	0,9117	0,691	1,0142	1,0579
63	0,9114	0,6899	1,0138	1,0565
64	0,9095	0,6841	1,0121	1,0494
65	0,9089	0,6824	1,0116	1,0472

Nilai indeks kestabilan tegangan berdasarkan grafik pada Gambar 6 dan data hasil pada Tabel 2 memiliki nilai yang kecil sehingga pada sistem tersebut dapat dengan mudah terjadinya *voltage collaps* terutama pada bus kritis yaitu bus 65. Gambar 7 menunjukkan grafik hubungan iterasi dengan fungsi tujuan yang berupa rugi daya aktif.



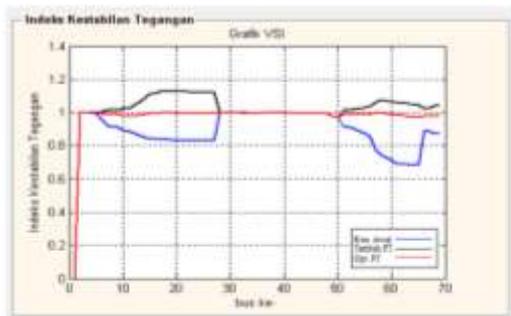
Gambar 7 Grafik hubungan iterasi dengan fungsi tujuan

Berdasarkan hasil optimasi yang dilakukan pada data jaringan distribusi 69 bus, maka dapat diketahui perbandingan nilai sesudah dan sebelum optimasi pada indeks kestabilan tegangan pada bus pembangkit tersebar pada Tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan indeks kestabilan tegangan

Bus	Indeks Kestabilan Tegangan		
	Kondisi Awal	Penambahan	Optimasi
18	0,8375	1,1311	1,0001
58	0,7433	1,0777	1,0022
61	0,6916	1,0590	0,9840
69	0,8753	1,0388	0,9782

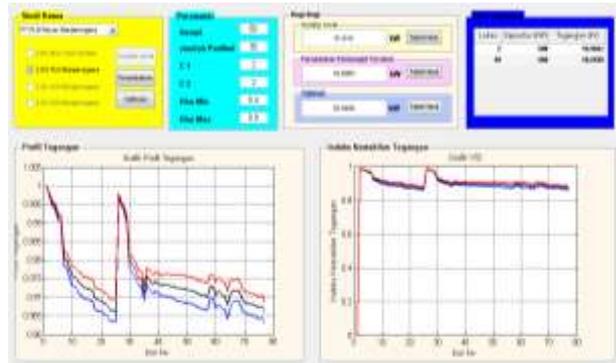
Penambahan pembangkit tersebar dapat memperbaiki nilai rata-rata indeks kestabilan tegangan dari 0,8986 menjadi 1,0390 dan setelah dioptimasi menjadi 0,9919. Pembangkit tersebar dapat memperbaiki kestabilan tegangan dan memperkecil kemungkinan terjadinya *voltage collaps*. Nilai perbandingan indeks kestabilan tegangan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik perbandingan nilai indeks kestabilan Pada jaringan distribusi 69 bus

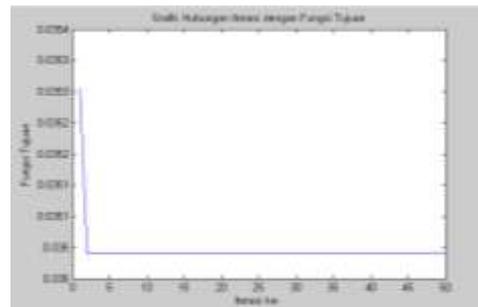
3.2 Optimasi Jaringan Sistem Distribusi Penyulang Mrica05

Simulasi ini dilakukan dengan 2 pembangkit tersebar yang telah terpasang di bus 2 dan bus 49 dengan kapasitas maksimal masing-masing 500 kW, dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil optimasi 2 pembangkit tersebar pada Penyulang Mrica05

Berdasarkan Gambar 9, dapat diketahui nilai rugi daya aktif pada kondisi awal sebesar 51,619 kW, setelah ditambah PT dengan kapasitas setengahnya menjadi sebesar 42,6983 kW, dan setelah dioptimasi dapat mengurangi rugi daya aktif menjadi sebesar 35,04059 kW dengan masing-masing kapasitas pembangkit tersebar pada bus 2 dan 49 yaitu kapasitas maksimal dari kemampuan pembangkit tersebar sebesar 500 kW. Gambar 10 menunjukkan hubungan iterasi dan fungsi tujuan.



Gambar 10. Grafik hubungan iterasi dengan fungsi tujuan

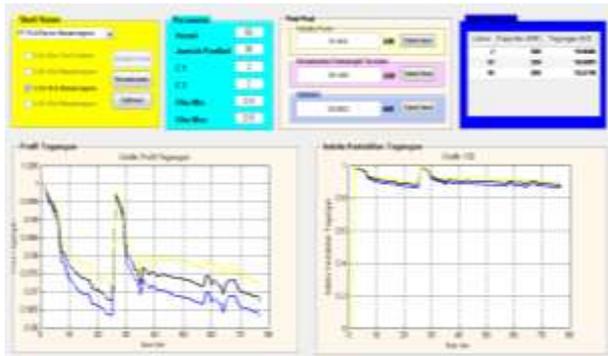
Berdasarkan Gambar 10, nilai fungsi objektif berada pada nilai 35,0405 kW dengan iterasi kurang dari 5.

Tabel 4. Hasil optimasi 2 kapasitas pembangkit tersebar Penyulang Mrica05

Optimasi Dengan PSO				
Maxit = 50; N = 30; C _{1,2} = 2; θ _{min,max} = 0.4, 0.9				
BUS	P _{gen} (kW)	V _m (p.u)	Rugi-Rugi	
			P (kW)	Q (kVAR)
2	500	0,9912	35,04059	74,21262

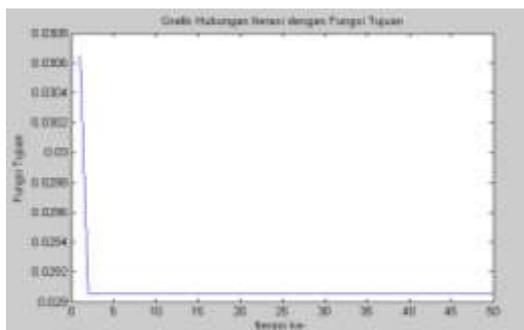
49	500	0,9759		
Validasi Aliran Daya dengan ETAP 7.0				
BUS	P _{gen} (kW)	V _m (p.u)	Rugi-Rugi	
			P (kW)	Q (kVAR)
2	500	0,9978	35,10235	74,30724
49	500	0,9759		

Simulasi selanjutnya dengan menggunakan 3 pembangkit tersebar yang telah terpasang di bus 2, 43, dan 49 dengan kapasitas maksimal masing-masing 500 kW, 250 kW, dan 500 kW. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Hasil optimasi 3 pembangkit tersebar pada Penyulang Mrica05

Berdasarkan Gambar 11, dapat diketahui nilai rugi daya aktif pada kondisi awal, penambahan, dan optimasi sebesar 51,619 kW, 39,1461 kW dan 29,05023 kW. dengan masing-masing kapasitas pembangkit tersebar pada bus 2, 43, dan 49 yaitu kapasitas maksimal dari kemampuan pembangkit tersebar sebesar 500 kW, 250 kW, dan 500 kW.



Gambar 12 Grafik hubungan iterasi dengan fungsi tujuan

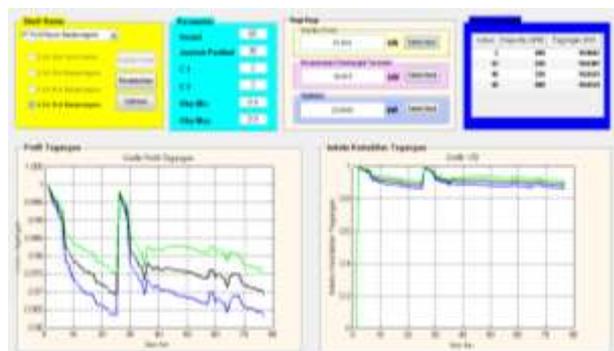
Berdasarkan Gambar 12, nilai fungsi objektif berada pada nilai 29,0502 kW pada iterasi kurang dari 5.

Tabel 5. Hasil optimasi 3 kapasitas pembangkit tersebar Penyulang Mrica05

Optimasi Dengan PSO				
Maxit = 50; N = 30; C _{1,2} = 2; θ _{min,max} = 0.4, 0.9				
BUS	P _{gen} (kW)	V _m (p.u)	Rugi-Rugi	
			P (kW)	Q (kVAR)
2	500	0,9978	35,10235	74,30724
43	250	0,9790	29,05023	60,17096
49	500	0,9787		

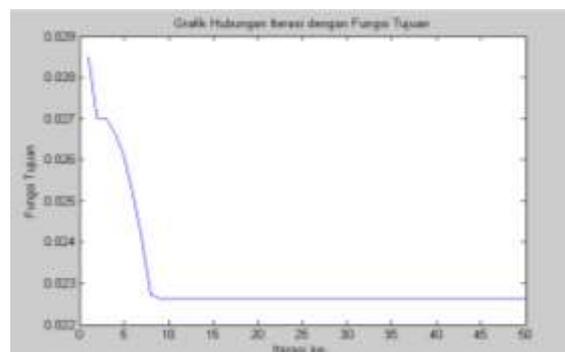
2	500	0,9980		
43	250	0,9790	29,05023	60,17096
49	500	0,9787		
Validasi Aliran Daya dengan ETAP 7.0				
BUS	P _{gen} (kW)	V _m (p.u)	Rugi-Rugi	
			P (kW)	Q (kVAR)
2	500	0,9980	29,10324	60,24508
43	250	0,9790		
49	500	0,9787		

Simulasi selanjutnya dengan menggunakan 4 pembangkit tersebar yang telah terpasang di bus 2, 43, 46, dan 49 dengan kapasitas maksimal masing-masing 500 kW, 250 kW, 320 kW, dan 500 kW. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil optimasi 4 pembangkit tersebar pada Penyulang Mrica05

Berdasarkan Gambar 13, dapat diketahui nilai rugi daya aktif pada kondisi awal, penambahan dan optimasi sebesar 51,619 kW, 34,819 kW dan 22,64347 kW dengan masing-masing kapasitas pembangkit tersebar pada bus 2, 43, 46, dan 49 yaitu kapasitas maksimal dari kemampuan pembangkit tersebar sebesar 500 kW, 250 kW, 320 kW, dan 500 kW.



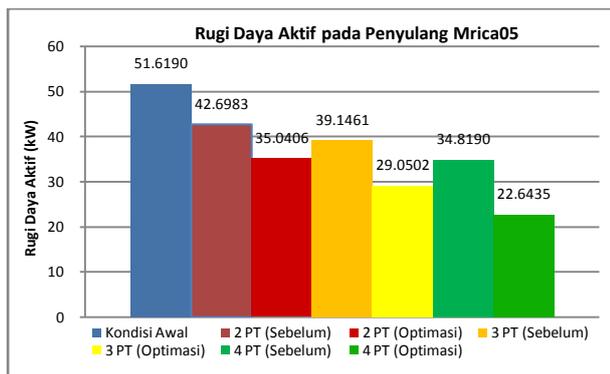
Gambar 14. Grafik hubungan iterasi dengan fungsi tujuan

Berdasarkan grafik pada Gambar 13 dan data hasil pada Tabel 6, selain dapat mengurangi rugi daya aktif, pembangkit tersebar juga dapat mengurangi rugi daya reaktif dan meningkatkan nilai profil tegangan serta indeks kestabilan tegangan.

Tabel 6 Hasil optimasi 4 kapasitas pembangkit tersebar Penyulang Mrica05

Optimasi Dengan PSO Maxit = 50; N = 30; C _{1,2} = 2; θ _{min,max} = 0.4, 0.9				
BUS	P _{gen} (kW)	V _m (p.u)	Rugi-Rugi	
			P (kW)	Q (kVAR)
2	500	0,9983	22,64347	45,24289
43	250	0,9825		
46	320	0,9828		
49	500	0,9827		
Validasi Aliran Daya dengan ETAP 7.0				
BUS	P _{gen} (kW)	V _m (p.u)	Rugi-Rugi	
			P (kW)	Q (kVAR)
2	500	0,9983	22,67347	45,18054
43	250	0,9824		
46	320	0,9827		
49	500	0,9826		

Perbandingan nilai rugi daya aktif pada kondisi awal hingga optimasi 4 Pembangkit tersebar dilihat pada Gambar 15.

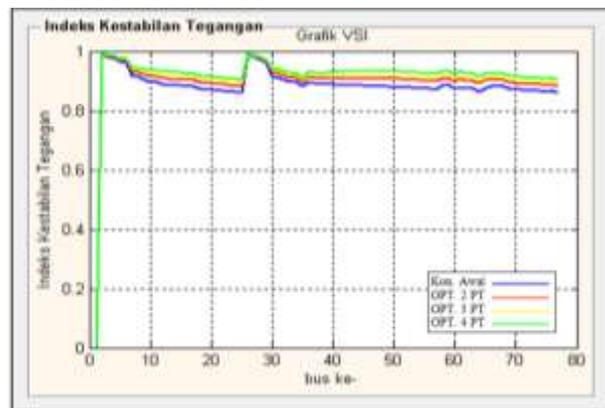


Gambar 15. Diagram batang hasil rugi daya aktif jaringan Penyulang Mrica05

Gambar 15 adalah perbandingan hasil rugi daya aktif pada saat kondisi awal hingga terdapat 4 pembangkit tersebar pada sistem jaringan distribusi Penyulang Mrica05. Penambahan pembangkit tersebar pada jaringan sistem distribusi dapat meminimalisir rugi daya aktif pada setiap saluran sehingga total daya yang diminimalisir dengan adanya 2 pembangkit tersebar sebesar 16,57841 kW, 3 pembangkit tersebar sebesar 22,56877 kW, dan 4 pembangkit tersebar sebesar 28,97553 kW.

Hasil simulasi menunjukkan, selain dapat meminimalisir rugi daya aktif, pembangkit tersebar juga dapat memperbaiki indeks kestabilan tegangan di setiap bus. Tabel 7 berikut menampilkan hasil nilai indeks kestabilan tegangan dari kondisi awal hingga optimasi 4 kapasitas pembangkit tersebar.

Berdasarkan **tabel 7**, tiap penambahan pembangkit tersebar dengan kapasitas tertentu akan mengubah nilai indeks kestabilan tegangan pada sistem, dimana terjadi kenaikan nilai dari tiap bus. Namun nilai indeks kestabilan tegangan terkecil pada bus 77, sehingga bus 77 dapat dikatakan bus kritis untuk terjadinya *voltage collapse*. Pada hasil tersebut, selain dapat mengurangi rugi daya aktif, pembangkit tersebar juga dapat memperbaiki nilai profil tegangan dan indeks kestabilan tegangan. Hasil perbandingan indeks kestabilan tegangan ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik perbandingan indeks kestabilan tegangan pada Penyulang Mrica05

Berdasarkan Gambar 16, dimana pada optimasi 2 pembangkit tersebar (garis merah) memiliki nilai tegangan profil dan indeks kestabilan lebih besar dari kondisi awal (garis biru), optimasi 3 pembangkit tersebar (garis kuning) memiliki nilai tegangan dan indeks kestabilan tegangan lebih baik dari 2 pembangkit tersebar, dan optimasi 4 kapasitas pembangkit tersebar memiliki nilai tegangan dan indeks kestabilan tegangan lebih baik dari 3 pembangkit tersebar. Sehingga pada optimasi dengan 4 kapasitas pembangkit tersebar, tegangan sistem akan baik dan mendekati nilai satu, serta sulit akan terjadi *voltage collapse*.

Tabel 7. Hasil perbandingan indeks kestabilan tegangan pada jaringan distribusi Penyulang Mrica05.

Bus	Indeks Kestabilan Tegangan						
	Awal	2 Pembangkit		3 Pembangkit		4 Pembangkit	
		Tambah	Optimasi	Tambah	Optimasi	Tambah	Optimasi
2	0,9877	0,9895	0,9912	0,9899	0,9921	0,9905	0,9932
43	0,8862	0,8973	0,9083	0,9024	0,9186	0,9089	0,9318
46	0,8822	0,8948	0,9074	0,8999	0,9177	0,9074	0,9328
49	0,8804	0,8938	0,9072	0,8989	0,9175	0,9064	0,9326
77	0,8595	0,8700	0,8806	0,8749	0,8903	0,8811	0,9028

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Berdasarkan simulasi pada jaringan distribusi 69 bus, 3 pembangkit tersebar dapat mengurangi rugi daya aktif secara optimal dengan nilai kapasitas masing-masing sebesar 577,64 kW ; 748,58 kW; 1200 kW, sehingga nilai rugi daya aktif sebesar 14,6267 kW dan 11,0738 kVAR.
2. Berdasarkan simulasi pada Penyulang Mrica05, 2 pembangkit tersebar dapat mengurangi rugi daya aktif secara optimal dengan nilai kapasitas maksimal dari masing-masing kemampuan pembangkit tersebar sebesar 500 kW dengan rugi daya sebesar 35,04 kW dan 74,21 kVAR.
3. Berdasarkan simulasi pada Penyulang Mrica05, 3 pembangkit tersebar dapat mengurangi rugi daya aktif secara optimal dengan nilai kapasitas maksimal dari masing-masing kemampuan pembangkit tersebar sebesar 500 kW ; 250 kW; dan 500 kW dengan rugi daya sebesar sebesar 29,05 kW dan 60,17 kVAR.
4. Berdasarkan simulasi pada Penyulang Mrica05, 4 pembangkit tersebar dapat mengurangi rugi daya aktif secara optimal dengan nilai kapasitas maksimal dari masing-masing kemampuan pembangkit tersebar sebesar 500 kW ; 250 kW; 320kW; dan 500 kW dengan rugi daya sebesar 22,64 kW dan 45,24 kVAR.
5. Pada jaringan 69 bus, besarnya nilai indeks kestabilan tegangan terendah di bus 65 pada kondisi awal, sebelum, dan sesudah optimasi kapasitas pembangkit tersebar sebesar 0,6824; 1,0472; dan 0,9727.
6. Pada jaringan Mrica05, besarnya nilai indeks kestabilan terendah pada ujung jaringan yaitu bus 77 dengan nilai indeks kestabilan saat kondisi awal sebesar 0,8595 hingga hasil optimasi 4 kapasitas pembangkit tersebar sebesar 0,9028.
7. Besarnya kapasitas pembangkit tersebar dapat mempengaruhi nilai indeks kestabilan tegangan, semakin besar kapasitas pembangkit tersebar maka nilai indeks kestabilan tegangan akan semakin besar.

Referensi

- [1]. Ackermann, T., G. Andersson, dan L. Söder, "Distributed Generation: a Definition", *Electric Power System Research*, 57, 195–204, 2000.
- [2]. Barker, P. P. dan R.W. de Mello, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 1 - Radial Distribution Systems", *IEEE PES Summer Meeting*, 3, 1645-1656, 2000.
- [3]. Chakravorty, M. dan D. Das, "Voltage Stability Analysis of Radial Distribution Networks", *Electric Power & Energy Systems*, 23, 129-135, 2001.
- [4]. Deshpande, M.V, *Electrical Power System Design*, McGraw-Hill, New Delhi, 1984.
- [5]. Federal Energy Technology Center, "Distributed Generation" Morgantown. WV. US, Oktober 1999.
- [6]. Grigsby, Leonard L., *Power System Stability and Control*, CRC Press, Florida, 2007.
- [7]. PT PLN (Persero), *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2011-2020*.
- [8]. Putra, Pradana, "Analisis Pengaruh Penempatan Distributed Generation Terhadap Kestabilan Tegangan Pada Sistem Distribusi" Tugas Akhir, UNDIP Semarang, 2012.
- [9]. Reza, Muhamad, *Stability Analysis of Transmission Systems with High Penetration of Distributed Generation*, Disertasi-S3, Technische Universiteit Delft, Delft, Belanda, 2006.
- [10]. Saadat, Hadi, *Power System Analysis*, WCB/McGraw-Hill, Singapore, 1999.
- [11]. Santosa B., Willy, P., *Metode Metaheuristik: Konsep dan Implementasi*, Cetakan pertama, Penerbit Guna Widya, 2011.
- [12]. Waseem, Irfan, *Impacts of Distributed Generation on the Residential Distribution Network Operation*, Thesis-S2, Virginia Polytechnic Institute and State University, Falls Church, Virginia, December 2008.
- [13]. Zareiegovar, G., Fesaghandis, R.R., dan Azad, M.Z., "Optimal DG Location and Sizing in Distribution System to Minimize Losses, Improve Voltage Stability, and Voltage Profile" _____.