

Perbaikan Keandalan Sistem Distribusi

Ali Muhtar^{#1}, Syamsyarief Baqaruzi^{*2}

[#]Institut Teknologi Sumatera

¹ali.muhtar@el.itera.ac.id

²syamsyarief.baqaruzi@el.itera.ac.id

Abstrak— Energi listrik merupakan komoditi utama untuk menunjang kehidupan manusia di era digital saat ini. Penyaluran energi listrik dilakukan melalui pusat pembangkit besar di sejumlah lokasi. Sejak tiga dekade terakhir, terdapat banyak penelitian yang memfokuskan pada penggunaan DG untuk meminimasi kerugian jaringan dan regulasi tegangan namun, sedikit yang memfokuskan kepada keandalan dari sistem jaringan distribusi energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak yang dihasilkan jika mengkoneksikan DG ke jaringan distribusi energi listrik. Data uji yang digunakan adalah system distribusi radial IEEE 33-bus. Algoritma PSO digunakan sebagai optimasi penentuan lokasi dan kapasitas dari DG. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan system jaringan distribusi radial tanpa DG, dengan 1 DG dan 2 DG. Total rugi-rugi system distribusi tanpa DG adalah 208,52 KW dan 334,38 KVA_r, sedangkan 1 DG menghasilkan rugi-rugi 1,94% dari total rugi-rugi dan 2 DG menghasilkan 1,09% dari total rugi-rugi. Indikator keandalan system SAIDI tanpa DG yakni 4,7 jam/pelanggan.tahun dan mengalami perbaikan sebesar 27% dengan 2 DG. Sedangkan, indikator keandalan system SIAFI tanpa DG yakni 1,47 frekuensi/pelanggan.tahun mengalami perbaikan sebesar 4% dari dengan 2 DG. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan DG dengan algoritma optimasi PSO menunjukkan hasil berupa pengurangan rugi-rugi, perbaikan profil tegangan disetiap bus, serta perbaikan keandalan sistem distribusi.

Kata kunci: Distributed Generation, Keandalan Sistem, PSO

Abstract—*Electrical energy is the main commodity to support human life in the current digital era. Channelling of electrical energy is done through large power plants at contributing locations. Of the last three decades, there have been many studies focusing on the use of DG to minimize network and voltage regulation, few of focus on electrical energy distribution connection systems. This study aims to determine the impact produced when connecting DG to the electrical energy distribution network. The test data used is the IEEE 33-bus radial distribution system. The PSO algorithm is used as an optimization of the determination of the location and capacity of the DG. The results showed how the difference between radial distributions network systems without DG, with 1 DG and 2 DG. Total distribution system losses without DG are 208.52 KW and 334.38 KVA_r, while 1 DG generates losses of 1.94% of total losses and 2 DG results in 1.09% of total losses. Indicator of SAIDI system reliability without DG is 4.7 hours / customer Year and has improved by 27% with 2 DG. Meanwhile, the reliability indicator of the SIAFI system without DG, which is 1.47 frequencies / customers Year, has improved by 4% from the 2 DGs. So it can be concluded that the addition of DG with PSO optimization algorithm shows results in the form of reducing losses, improving the voltage profile on each bus, and improving the reliability of the distribution system.*

Keywords: Distributed Generation, System Reliability, PSO

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan komoditi utama untuk menunjang kehidupan manusia di era digital saat ini. Penyaluran energi listrik dilakukan melalui pusat-pusat pembangkit besar di sejumlah lokasi. Peningkatan permintaan energi listrik di Indonesia terjadi setiap tahunnya, hal ini seiring dengan perkembangan masyarakat dan ekonomi[1]. Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang mengurus kelistrikan Indonesia adalah PT. PLN. Total produksi energi listrik PT PLN pada tahun 2016 sebesar 248.610,52 GWh, mengalami peningkatan 14.628,53 GWh dari tahun sebelumnya. hal ini diiringi dengan total konsumsi energi listrik pada tahun 2016 sebesar 216.004,32 GWh meningkat dari tahun sebelumnya[2]. Data-data tersebut menunjukkan bahwa terjadi peningkatan konsumsi maupun produksi energi listrik diatas 6% setiap tahunnya sehingga, rasio elektrifikasi Indonesia saat ini 89,10% yakni meningkat 4,84% dari tahun sebelumnya[2].

PT PLN memiliki tanggung jawab terhadap sistem operasi tenaga listrik, yakni mengendalikan tegangan dalam keadaan stabil dan dapat diterima dalam batasan nominal sepanjang waktu agar peralatan listrik dan mesin dapat beroperasi dan memberikan kinerja secara optimal[3],[4]. Pada jaringan distribusi energi listrik PT. PLN memfokuskan pada profil tegangan (*voltages profiles*), kehilangan daya (*power loss*), dan biaya operasional (*operation cost*) untuk memenuhi tanggung jawabnya[2]. Namun, Pertumbuhan permintaan energi listrik, yang diiringi dengan rasio elektrifikasi lebih menekankan pada keandalan sistem[5]. Hal ini dibuktikan dengan jumlah rata-rata interupsi yang dialami pelanggan atau yang lebih dikenal dengan SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*) di Provinsi Jawa Tengah dan DI. Yogyakarta sebesar 32,28 atau lebih tinggi dari rata-rata SAIFI dipulau jawa yakni 24,10. Sedangkan, durasi pemadaman rata-rata untuk setiap pelanggan yang dilayani PT PLN atau lebih dikenal dengan SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*) di wilayah Provinsi Jawa Tengah dan DI. Yogyakarta sebesar 21,11 atau lebih tinggi dari rata-rata SAIDI dipulau jawa yakni 13,31[2].

Kehadiran sistem generasi terdistribusi (*Distributed Generation*) telah menjadi pusat perhatian yang besar dalam sistem distribusi jaringan energi listrik[6],[7]. *Distributed Generation* (DG) umumnya didefinisikan sebagai pabrik pembangkit yang melayani pelanggan di tempat atau memberikan dukungan ke jaringan distribusi, terhubung ke grid pada tingkat distribusi[7]. Sejak tiga dekade terakhir penelitian dalam sistem distribusi telah difokuskan pada minimisasi kerugian jaringan dan regulasi tegangan[8]. Adanya DG diharapkan dapat meningkatkan keandalan dari sistem jaringan

distribusi energi listrik. Berbagai metode meminimalkan kerugian di sistem distribusi tersedia dalam literatur, tiga metode dasar yang digunakan, yakni : (i) Penempatan Kapasitor (umumnya berlaku dalam sistem distribusi tegangan tinggi); (ii) Konfigurasi Feeder (umumnya berlaku dalam sistem distribusi tegangan rendah); dan (iii) DG Alokasi (lebih difokuskan untuk mencapai interkoneksi ketika generator kecil ada. Misalnya, ketika *wind farm* terisolasi atau *small photovoltaic plants* memasuki jaringan distribusi)[8]. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang evaluasi keandalan jaringan distribusi ketika DG memasuki jaringan distribusi.

II. PERANCANGAN SISTEM

Proses jalannya penelitian yang dilakukan terdiri dari beberapa tahap. Secara umum, tahapan penelitian dibagi menjadi empat tahapan, yaitu tahap awal, tahap pengembangan, tahap simulasi, dan tahap analisis

A. Tahap Awal

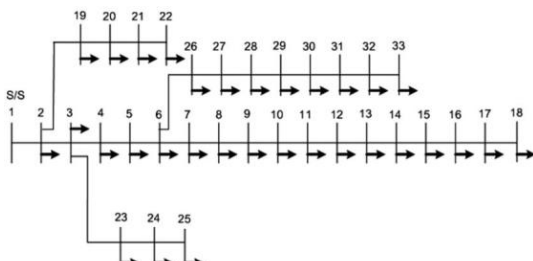
Pada penelitian ini dilakukan studi literatur untuk mengetahui penelitian sebelumnya terkait penempatan dan penentuan kapasitas DG terhadap keandalan sistem jaringan distribusi. Hal ini dilakukan untuk dapat mengetahui acuan yang dipakai untuk dapat memvalidasi penelitian ini. Studi literatur juga dilakukan untuk dapat mengetahui dasar teori yang digunakan untuk menunjang penelitian ini. Hal-hal utama yang dicari pada dasar teori adalah terkait bagaimana mencari metode optimasi penempatan DG, dll

B. Tahap Pengembangan

Pada tahap pengembangan, dilakukan pengembangan optimasi pada matlab dan OpenDSS untuk melakukan pengujian dengan data uji IEEE 33 bus. Matlab digunakan untuk optimasi penempatan dan kapasitas DG yang dievaluasi menggunakan OpenDSS. Pada penelitian ini, algoritma yang digunakan yakni *Particle Swarm Optimization* (PSO).

1. Data Test Sistem IEEE 33-bus

Diagram satu garis dari sistem tes distribusi IEEE 33-bus ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem IEEE 33-bus

Data saluran dan beban yang terhubung di bus tujuan yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 sebagai berikut[9],[10],[11]

C. Tahap Simulasi

Setelah tahapan pengembangan dilakukan simulasi optimasi lokasi dan kapasitas DG yang optimal menggunakan metode PSO yang kemudian dilakukan pengujian terhadap keandalan sistem menggunakan OpenDSS. Hal ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja metode PSO pada kasus yang lebih kompleks agar nantinya dapat diaplikasikan dalam kehidupan nyata.

D. Tahap Analisis

Analisis dilakukan terkait uji kerja PSO dalam menyelesaikan permasalahan keandalan sistem. Mengetahui dampak terhadap rugi-rugi, profil tegangan dan keandalan jaringan ketika DG memasuki jaringan distribusi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode yang diajukan pada penelitian kali ini di uji pada sistem distribusi IEEE 33-bus. Upaya untuk mengevaluasi keandalan sistem distribusi, dengan melakukan penempatan dan penentuan kapasitas DG menggunakan algoritma PSO dengan rugi-rugi sebagai fungsi objektifnya (*objective function*). Untuk menghitung rugi-rugi digunakan metode *power flow* yang dibantu dengan simulasi menggunakan OpenDSS dan Matlab. Parameter-parameter algoritma PSO yang digunakan pada simulasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Algoritma PSO

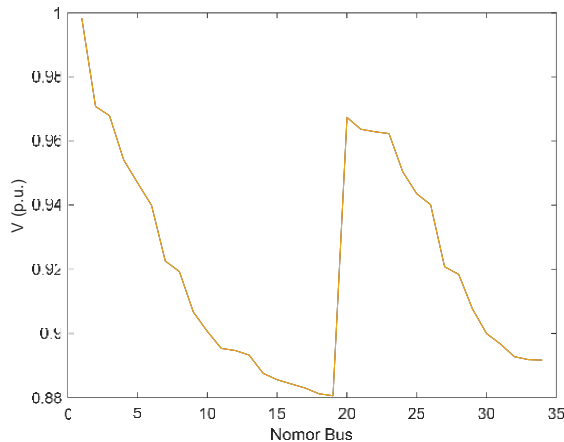
Parameter	Nilai
Iterasi Maksimal	100
Populasi	50
Koefisien Inersia	0.3925
Koefisien Percepatan Individu	2.5586
Koefisien Percepatan Sosial	1.3358
Kondisi Interupsi	0.001

Parameter tersebut diimplementasi pada algoritma PSO pada Matlab, selanjutnya pengevaluasian menggunakan metode load flow menggunakan OpenDSS. Uji coba dilakukan sebanyak 10 kali disetiap scenario, scenario pertama yakni saat sistem distribusi IEEE 33-bus murni tanpa DG, scenario kedua yakni sistem distribusi dengan 1 DG dan scenario ketiga yakni sistem distribusi dengan 2 DG. Hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Uji Algoritma PSO

Test Sistem	Lokasi DG (Bus)	Kapasitas (KW)	Rugi-rugi (KW)
IEEE 33 Bus	-	-	208,517 + J334,385
	6	2.818	72,3222 + J73,9335
	11 & 30	1.049 & 1566	40,6407 + 50,5334

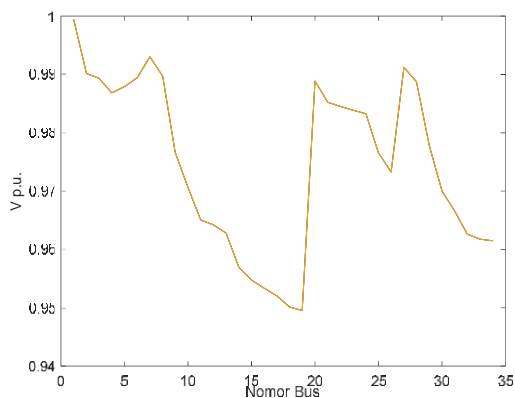
Tabel 2 menunjukkan bahwa saat tanpa DG pada sistem distribusi IEEE 33-bus memiliki rugi-rugi sebesar 208,52 KW dan 334,38 KVAR atau setara dengan 5,88% dari total sistem. Profil tegangan pada sistem distribusi IEEE 33-bus tanpa DG ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Profil Tegangan IEEE 33-bus Tanpa DG

Gambar 2 menunjukkan bahwa pada sistem ini tegangan tertinggi terdapat pada bus 1 sebagai referensi dan terendah pada bus 18 dengan tegangan sebesar 0.88 p.u.

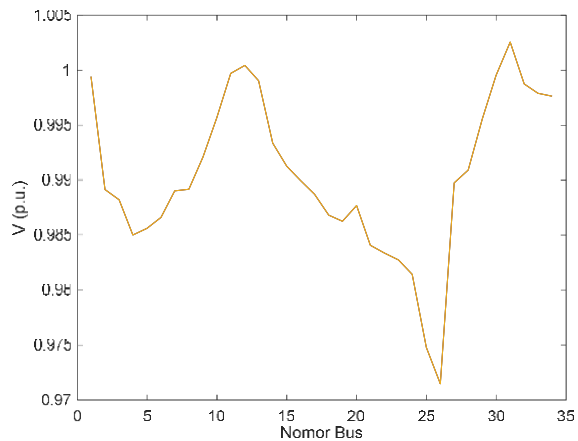
Selanjutnya, pada Tabel 2 ditunjukkan bahwa dengan penambahan DG pada bus 6 dengan kapasitas 2.818 KW diperoleh rugi-rugi sebesar 72,32 KW dan 73,93 KVAR atau setara 1,94% dari total sistem. Profil tegangan dengan 1 DG ditunjukkan pada Gambar. Pada Gambar 3 profil tegangan terendah terdapat pada bus 18 dengan nilai 0.95 p.u. dan tertinggi pada 1 p.u. pada bus referensi.



Gambar 3. Profil Tegangan IEEE 33-bus dengan 1 DG

Pemasangan 2 DG dengan kapasitas 1.049 KW pada bus 11 dan 1.566 KW pada bus 30 menghasilkan rugi-rugi sebesar 4,64 KW dan 50,53 KVAR sesuai pada Tabel dan setara dengan 1,09% dari total sistem. Pada Gambar 4 ditunjukkan hasil operasi *loadflow* dan ditunjukkan dengan profil tegangan pada

sistem. Profil tegangan tertinggi pada bus 30 dengan nilai sebesar 1,004 p.u.



Gambar 4. Profil Tegangan IEEE 33-bus dengan 2 DG

Pengujian selanjutnya yakni dengan melakukan analisis terhadap keandalan sistem distribusi dengan menggunakan SAIDI dan SAIFI. Analisis dilakukan dengan OpenDSS dan dengan setting standar untuk setiap elemen pada sistem IEEE 33-bus. Hasil analisis ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Keandalan Sistem

Indeks Keandalan	Tanpa DG	1 DG	2 DG
SAIDI (jam/pel.thn)	4,7	4,07	3,43
SAIFI (freq/pel.thn)	1,47	1,44	1,41

Berdasarkan Tabel 3 ditunjukkan bahwa terjadi perbaikan nilai SAIDI dan SAIFI. Ketika sistem distribusi tanpa DG diperoleh nilai SAIDI sebesar 4,7 jam/pelanggan.tahun dan nilai SAIFI sebesar 1,47 frekuensi/pelanggan.tahun. ketika 2 DG terpasang pada sistem distribusi terjadi perbaikan nilai SAIDI sebesar 27% terhadap sistem distribusi tanpa DG dan perbaikan sebesar 4% untuk nilai SAIFI.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini, optimasi lokasi penempatan dan kapasitas DG untuk perbaikan keandalan sistem distribusi dilakukan menggunakan algoritma PSO. Sistem distribusi yang digunakan sebagai pengujian adalah sistem distribusi radial IEEE 33-bus. Penggunaan algoritma menunjukkan hasil berupa pengurangan rugi-rugi, perbaikan profil tegangan disetiap bus, serta perbaikan indikator keandalan sistem distribusi.

Penelitian selanjutnya dapat dilakukan analisis lebih mendalam terkait sistem distribusi yang sudah ada di Indonesia.

REFERENSI

- [1] Y. Hong, Z. Bie, G. Li, S. Liu, and A. Berizzi, "The integrated reliability evaluation of distribution system considering the system voltages adjustment," *Conf. Proc. - 2017 17th IEEE Int. Conf. Environ. Electr. Eng. 2017 1st IEEE Ind. Commer. Power Syst. Eur. IEEEIC / I CPS Eur. 2017*, 2017.
- [2] S. Perusahaan, "Statistik PLN 2016," Jakarta, Mar. 2016.

- [3] D. Wijaya, "Optimalisasi Penempatan dan Besaran Shunt Capacitor pada Fasilitas Interkoneksi Generator Distribusi (Studi Kasus di PT PLN (Persero) Rayon Dolok Sanggul)," *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 12, no. 1, p. 30, 2016.
- [4] J. T. PUTRA and M. T. Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D.; Ir. M. Isnaeni BS, "Optimasi Daya Reaktif Distributed Generation untuk Pengaturan Tegangan Sistem Distribusi dan Transmisi Tenaga Listrik," 2015.
- [5] H. Yassami and A. Moeini, "Optimal distributed generation planning considering reliability, cost of energy and power loss," *Sci. Res. ...*, vol. 6, no. 9, pp. 1963–1976, 2011.
- [6] A. Rujula, J. Amada, and J. Bernal-Agustin, "Definitions for Distributed Generation: A Revision," *International Conf. Renew. Energy Power Qual.*, vol. 1, no. 3, pp. 16–18, 2005.
- [7] S. Kalambe and G. Agnihotri, "Extraction of Transmission Parameters for Siting and Sizing of Distributed Energy Sources in Distribution Network," *J. Energy*, vol. 2013, p. 9, 2013.
- [8] S. Kalambe and G. Agnihotri, "Loss minimization techniques used in distribution network: Bibliographical survey," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 29, pp. 184–200, 2014.
- [9] E. Afzalan, M. A. Taghikhani, and M. Sedighzadeh, "Optimal Placement and Sizing of DG in Radial Distribution Networks Using SFLA," *Int. J. Energy Eng.*, vol. 2, no. 3, pp. 73–77, May 2012.
- [10] A. Wazir and N. Arbab, "Analysis and Optimization of IEEE 33 Bus Radial Distributed System Using Optimization Algorithm," *JETAET J. Emerg. Trends Appl. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 2518–4059, 2016.
- [11] K. Sathish Kumar and T. Jayabarathi, "Power system reconfiguration and loss minimization for an distribution systems using bacterial foraging optimization algorithm," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 36, no. 1, pp. 13–17, 2012.