



## Alokasi Optimal *Distributed Generation* Pada Sistem Distribusi Menggunakan Algoritma *Particle Swarm Optimization*

**Firdaus<sup>1</sup>, Iwan Suhardi<sup>2</sup>, Riana T<sup>3</sup>, Mangesa<sup>4</sup>, Andi Imran<sup>5</sup>**

Universitas Negeri Makassar, Indonesia

Email: dauselektro@unm.ac.id

**Abstrak.** Kehilangan energi perlu diprediksi dan diantisipasi agar terjadi dalam batas normal dan wajar. Apabila pembangkit tenaga listrik sangat jauh dari konsumen, maka digunakan sistem transmisi dan distribusi untuk dapat menyalurkan daya listrik kekonsumen. Rugi – rugi energi atau jatuh tegangan itu sendiri adalah energi yang hilang karena ada tekanan atau resistansi dari sistem jaringan dan transformator. Jatuh tegangan merupakan kehilangan energi yang sama sekali tidak mungkin dihindari. Penelitian ini mensimulasikan salah satu cara untuk mengurangi drop tegangan dan rugi daya adalah dengan menempatkan pembangkit tersebar (*Distributed Generation*) yang optimal pada lokasi yang tepat menggunakan algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)*. Penempatan pembangkit tersebar sumber energi terbarukan di sistem distribusi mengurangi rugi-rugi daya dan mengoptimalkan penetrasi dan pemanfaatan sumber energi terbarukan. Dari simulasi dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa penempatan optimal pembangkit tersebar dapat mereduksi rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif pada system distribusi. Penempatan optimal pembangkit tersebar dapat juga memperbaiki profil tegangan atau mengatasi masalah tegangan jatuh.

**Kata Kunci:** PSO, Distributed Generation, Rugi Daya

### PENDAHULUAN

Tingkat konsumsi energi listrik pada dewasa ini telah mengalami peningkatan yang sebanding dengan peningkatan taraf hidup konsumen listrik karena energi listrik memegang peranan sangat penting dalam aktivitas kehidupan masyarakat. Besarnya pemakaian energi listrik per hari tiap konsumen berbeda-beda tergantung kebutuhan dan besarnya daya maksimal beban listrik pada tiap-tiap pelanggan. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan manusia mengakibatkan permintaan energi listrik juga meningkat. Dengan adanya penambahan beban mengakibatkan perluasan atau penambahan jaringan listrik. Jika beban semakin besar maka arus yang mengalir pada jaringan akan semakin besar. Dengan semakin luasnya sistem jaringan maka gangguan yang akan terjadi juga semakin besar. Gangguan dapat

mengakibatkan faktor daya menurun, tegangan jatuh, dan rugi-rugi daya (*power losses*).

Dengan semakin bertambahnya permintaan konsumen listrik, maka semakin besar pula beban listrik yang ditanggung oleh sistem distribusi. Apabila beban-beban listrik baru yang ditanggung oleh sistem distribusi nantinya semakin jauh jaraknya dari pusat pembangkitan, maka hal ini akan menyebabkan peningkatan rugi-rugi daya dan penurunan profil tegangan.

Kehilangan energi perlu diprediksi dan diantisipasi agar terjadi dalam batas normal dan wajar. Apabila pembangkit tenaga listrik sangat jauh dari konsumen, maka digunakan sistem transmisi dan distribusi untuk dapat menyalurkan daya listrik kekonsumen. Rugi – rugi energi atau jatuh tegangan itu sendiri adalah energi yang hilang karena ada tekanan atau resistansi dari sistem jaringan dan transformator. Jatuh tegangan merupakan kehilangan energi yang sama sekali tidak mungkin dihindari

Agar permasalahan di atas dapat dihindari, maka perlu adanya suatu solusi terkait beban listrik pada sistem distribusi. Salah satu cara untuk mengurangi drop tegangan dan rugi daya adalah dengan menempatkan pembangkit tersebar pada system distribusi.

Dalam beberapa dekade terakhir ini, pembangkit tersebar mulai dikembangkan di negara-negara maju seperti di belahan Eropa dan Amerika untuk mendukung kebutuhan energi listrik negara. Pembangkit tersebar 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 (Sabilla et al., 2013).

*Distributed Generation* (DG) atau yang juga disebut dengan pembangkitan tersebar merupakan sistem pembangkitan yang menggunakan generator dengan ukuran yang lebih kecil daripada sistem pembangkitan terpusat. Pembangkit-pembangkit ini tersebar pada seluruh sistem tenaga listrik yang dekat dengan beban. Karena letaknya yang dekat dengan beban memungkinkan DG untuk membantu mensuplai daya pada beban yang jauh dari pembangkit utama (Moradi & Abedini, 2016).

Distributed Generation dibagi kedalam kategori untuk mengklasifikasikan Distributed Generation berdasarkan kapasitas pembangkitan dan teknologi pembangkitan. Untuk klasifikasi Pengkategorian kapasitas DG ini ditampilkan dalam Tabel 2.1 (Rathore & Patidar, 2021)

Tabel 1. Klasifikasi DG Berdasarkan Kapasitas Pembangkit

No	Jenis DG	Kapasitas
1	<i>Micro distributed generator</i>	1 watt – 5 kW
2	<i>Small distributed generator</i>	5 kW – 5 MW
3	<i>Medium distributed generator</i>	5 MW – 50 MW
4	<i>Large distributed generator</i>	50 MW– 300 MW

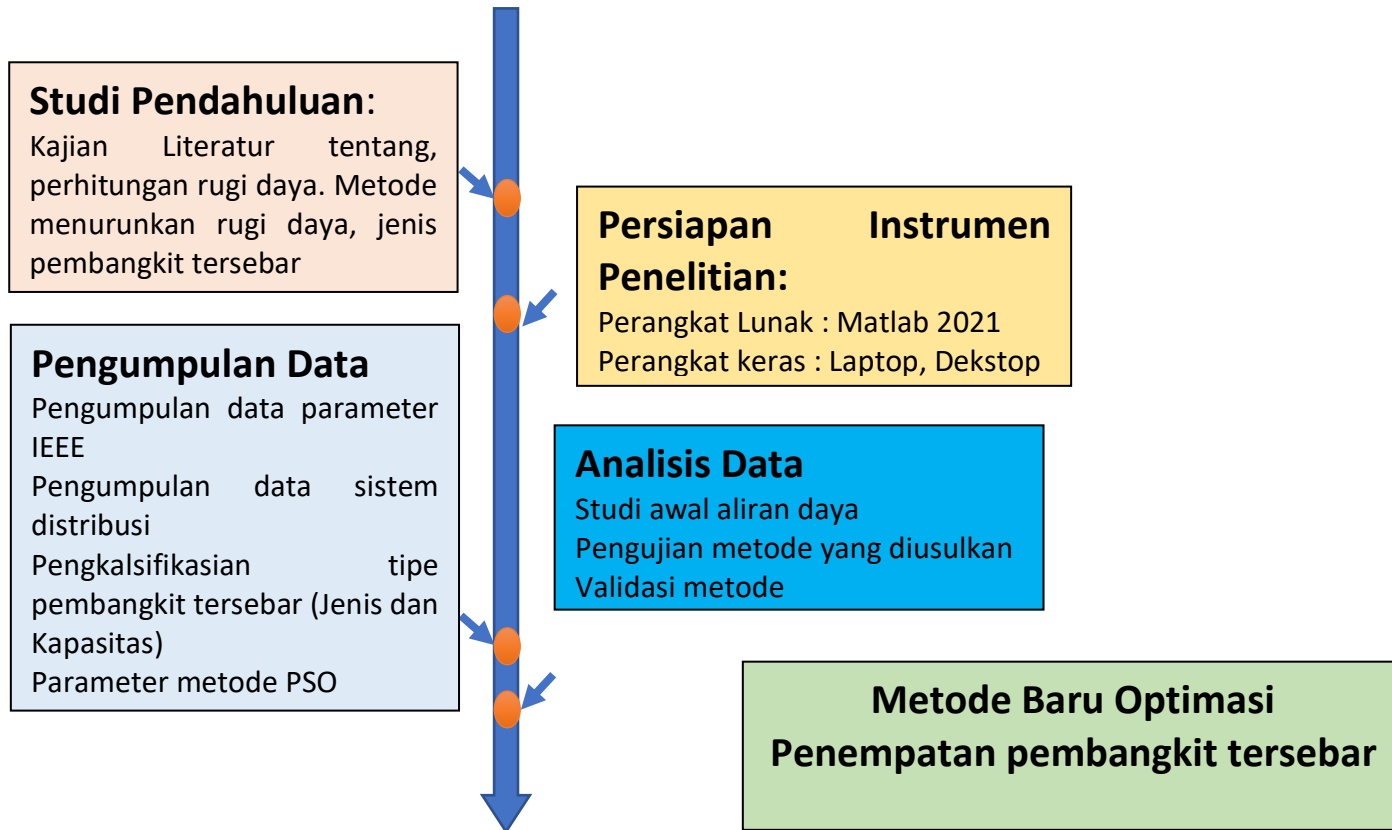
Beberapa penelitian mengenai optimasi penempatan DG sudah dilakukan dengan berbagai metode. Masing-masing metode mempunyai kelemahan dan kelebihan sehingga penggunaan suatu metode tidak bisa dikatakan lebih baik dari metode lainnya. Salah satu metode optimasi yang dapat digunakan adalah metode *Genetic Algorithm* (GA). Metode GA dapat menurunkan rugi-rugi daya secara signifikan dengan cara menentukan penempatan DG yang tepat (Sabilla et al., 2013).

Penelitian terbaru dilakukan oleh (Firdaus et al., 2021) dengan tujuan mencari optimal size, tipe, lokasi unit DG dengan menggunakan metode *Multi Verse Optimizer* (MVO)

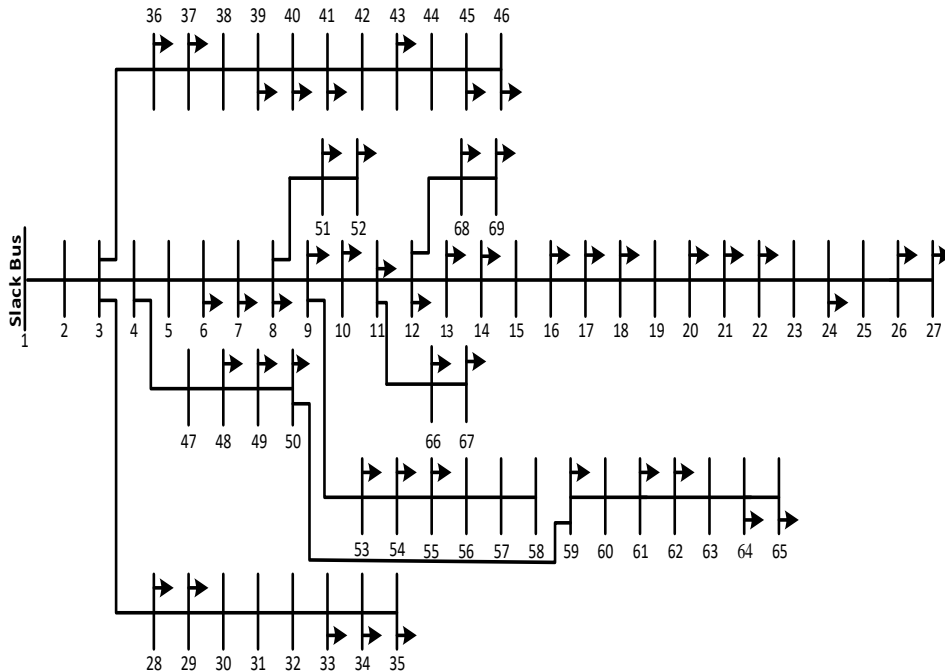
Metode yang digunakan untuk optimasi pada penelitian ini adalah menempatkan pembangkit tersebar adalah pendekatan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO). Algoritma *Particle Swarm Optimization* memiliki kemampuan untuk memperhitungkan kondisi non-linear. Algoritma *Particle Swarm Optimization* dapat menyelesaikan *penempatan optimal* dengan pendekatan yang lebih akurat daripada metode konvensional. Algoritma *Particle Swarm Optimization* mampu memperhitungkan bus–bus dengan nilai tegangan yang rendah dan jaringan dengan resistansi yang tinggi . Jadi optimasi yang dilakukan algoritma lebih mendekati kondisi sesungguhnya.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah jenis penelitian simulasi, yaitu dengan melakukan pemodelan dan mensimulasikan sistem IEEE 69 Bus yang terintegrasi dengan pembangkit tersebar menggunakan perangkat lunak Bahasa pemrograman MATLAB pada perangkat komputer. *Fishbone* diagram penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Dan diagram satu garis sistem IEEE 69 Bus ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.

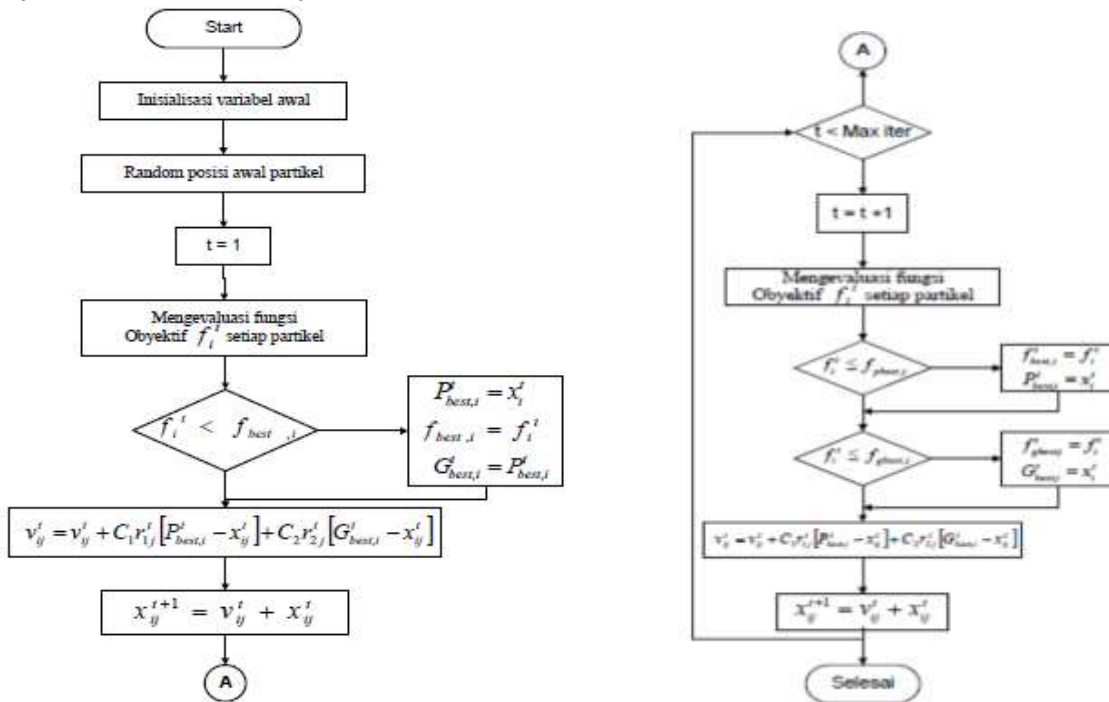


Gambar 1. *Fishbone* Diagram Penelitian



Gambar 2 Single Line Diagram Sistem Distribusi IEEE 69 Bus

Tahapan simulasi menggunakan metode optimasi atau pencarian optimal penempatan pembangkit tersebar menggunakan flowchart algoritma *Particle Swarm Optimization* berikut pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3 Flowchart *Particle Swarm Optimization*

Teknik analisis yang akan dilakukan adalah studi awal aliran daya pada sistem distribusi IEEE, kemudian mengintegrasikan sistem IEEE dengan pembangkit tersebar bersumber dari energi terbarukan dengan penempatan lokasi menggunakan metode *sensitivity factor* (SF).

Bagian yang paling sulit dalam optimasi penempatan pembangkit tersebar adalah penentuan lokasi yang tepat sehingga menghasilkan fungsi objektif yang optimal. Berbagai metode telah dikembangkan dalam penentuan lokasi pembangkit tersebar, salah satu yang paling banyak digunakan adalah dengan menggunakan *sensitivity factor* (SF). Pada penelitian ini, SF digunakan untuk menyeleksi bus yang berpotensi sebagai lokasi penempatan pembangkit tersebar sehingga proses iterasi menjadi lebih cepat. Identifikasi lokasi pembangkit tersebar menggunakan *Loss Reduction Sensitivity Factor* (LRSF) dan *Voltage Improvement Performance Index* (VIPI) (Singh & Parida, 2016). Besar LRSF akibat injeksi DG pada bus *i* dituliskan sebagai:

$$LRSF_i = \frac{\Delta P_{Loss}}{\Delta P_i} = \frac{P_{Loss}^i - P_{Loss}^b}{P_{DG-i}^{inj}} \quad (1)$$

dimana:

LRSFi = loss reduction sensitivity factor bus ke-*i*

$P_{Loss}^i$  = rugi-rugi sistem akibat injeksi pembangkit tersebar pada bus ke-*i*

$P_{Loss}^b$  = rugi-rugi sistem sebelum injeksi pembangkit tersebar

$P_{DG-i}^{inj}$  = daya yang diinjeksi oleh pembangkit tersebar pada bus ke-*i*

Berdasarkan rumusan di atas, jika  $LRSF > 0$  menunjukkan injeksi pembangkit tersebar memiliki dampak meningkat,  $LRSF = 0$  menunjukkan tidak ada perubahan dan  $LRSF < 0$  menunjukkan penurunan losses. Nilai minimum RSF menunjukkan lokasi pembangkit tersebar terbaik dalam hal pengurangan losses.

Nilai VIPI akibat injeksi pembangkit tersebar pada bus *i*, dituliskan dengan rumus:

$$VIPI_i = \sum_{j=1}^N \frac{w_j}{2n} = \frac{\Delta V_j^i}{\Delta V_j^{lim}} \quad (2)$$

$$\Delta V_j^i = V_j^i - V_j^{lim} \quad (3)$$

$$V_j^{lim} = \begin{cases} V_j^{maks}, & \text{jika } V_j^i \geq 1.0 \\ V_j^{min}, & \text{jika } V_j^i < 1.0 \end{cases} \quad (4)$$

$$V_j^i = \begin{cases} V_j^{\max}, & \text{jika } V_j^i > V_{\max} \\ V_j^{\min}, & \text{jika } V_j^i < V_{\min} \end{cases} \quad (5)$$

$$\Delta V_j^{\lim} = \frac{V_j^{\max} - V_j^{\min}}{2} \quad (6)$$

dimana:

$W_j$  = weight factor pada bus j

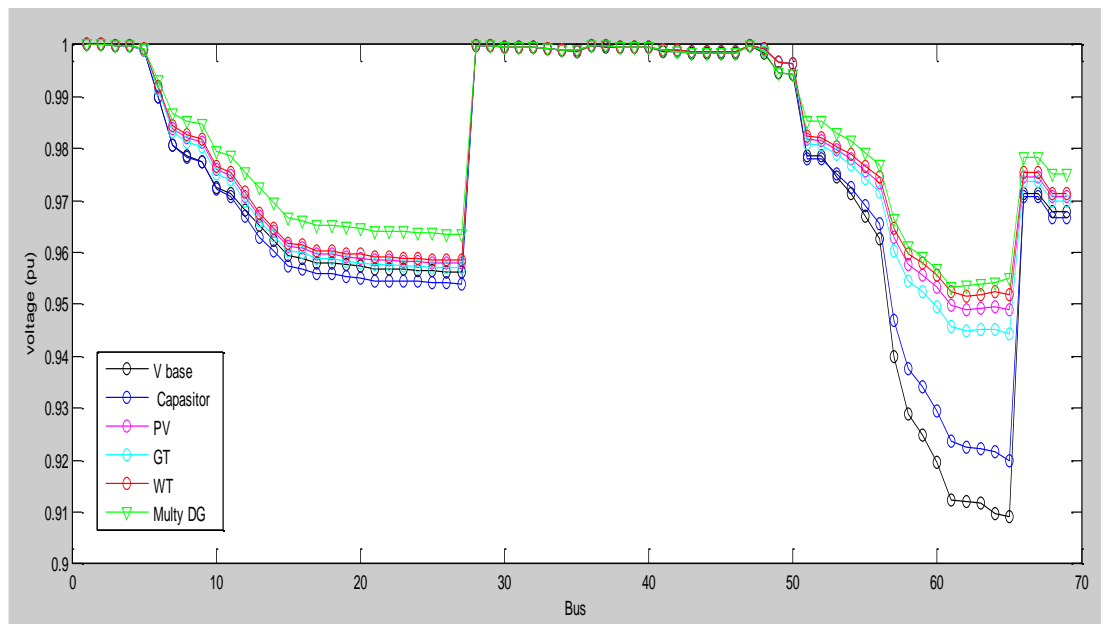
$N$  = jumlah bus

$2n$  = orde performance index

$V_j^i$  = tegangan pada bus j dengan injeksi pembangkit tersebar pada bus i

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan penambahan Pembangkit tersebar, dilakukan perhitungan aliran daya saat tanpa Pembangkit tersebar. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui kondisi awal dari sistem distribusi IEEE 69 bus. Simulasi aliran daya dilakukan dengan menggunakan metode *Newton Rapshon* yang kondisi awal yang diperoleh akan dibandingkan dengan hasil simulasi setelah dilakukan pemasangan pembangkit tersebar. Profil tegangan sistem IEEE 33 bus sebelum pemasangan pembangkit tersebar dan sesudah pemasangan pembangkit tersebar ditunjukkan pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Perbandingan tegangan system distribusi IEEE 69 Bus antara sebelum Penempatan DG dan setelah Penempatan beberapa type DG

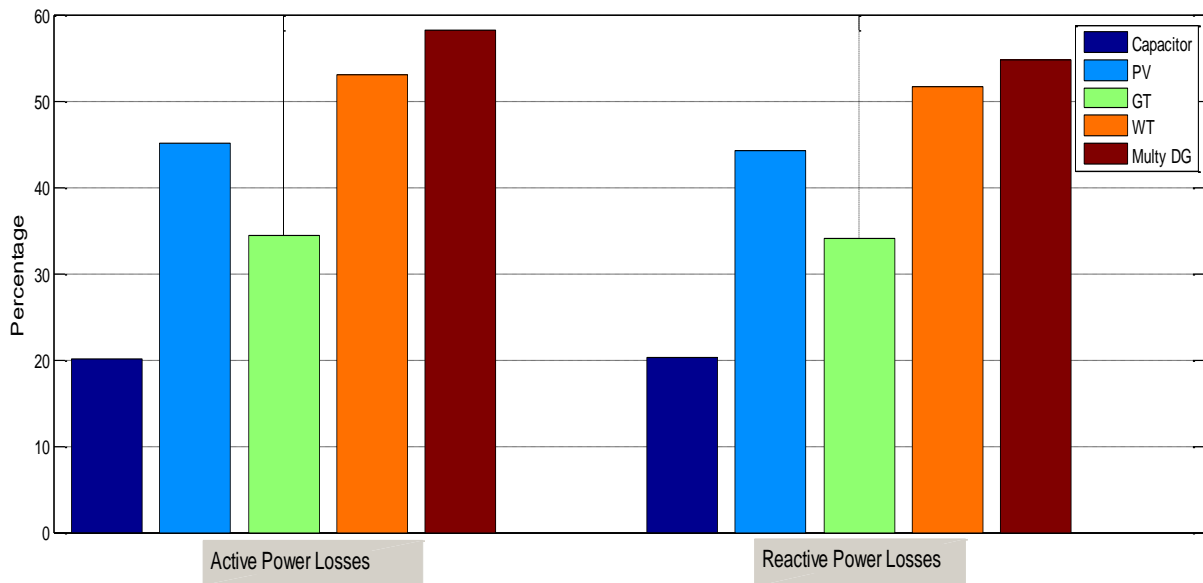
Tabel 2. Lokasi Dan Reduksi Daya Sebelum Dan Setelah Penambahan DG pada Sistem IEEE 69 Bus

Case	Kondisi	Lokasi (bus)	P Loss (kW)	Qloss (kVar)	Reduksi P Loss (%)	Reduksi Q Loss (%)
1	Tanpa penambahan DG	-	225	102.2	-	-
2	Penambahan Capacitor	61, 64, 63, 60, 62	179.68	81.45	20.14	20.30
3	Penambahan DG PV	62, 61, 60, 64, 63	123.50	57.03	45.11	44.20
4	Penambahan DG GT	61, 63, 62, 60, 64	147.52	67.37	34.43	34.08
5	Penambahan DG WT	61, 63, 64, 62, 65	105.74	49.37	53.00	51.69
6	Penambahan multi type	DGs type 4 (61, 63, 64, 62, 65)	94.12	46.20	58.17	54.80

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penempatan DG dan kapasitor pada sistem IEEE 69 bus berbeda berdasarkan jenis DG dan kapasitor yang dipasang. Lokasi yang paling optimal untuk mengurangi kerugian daya diperoleh dengan menambahkan multi-type DG. Pemasangan Multi DG pada sistem bus IEEE 69 dapat menurunkan rugi-rugi daya aktif sebesar 58,17 persen dan rugi daya reaktif sebesar 54,80 persen.

Gambar 5 menunjukkan persentase pengurangan rugi-rugi daya aktif dan reaktif pada sistem bus IEEE 69. Simulasi dilakukan dengan memasang 4 DG dan kapasitor bank. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penempatan DG dengan tipe Multi DG dapat mengurangi rugi-rugi daya aktif dan reaktif dengan persentase tertinggi, disusul turbin angin. Penggunaan kapasitor bank memiliki kemampuan pengurangan rugi-rugi yang paling rendah.





Gambar 5. Persentase Pengurangan Rugi Daya Aktif Dan Daya Reaktif pada Sistem IEEE 69 Bus

Simulasi penambahan DG dan kapasitor pada sistem IEEE 69 bus diperoleh pengurangan rugi-rugi daya aktif dan reaktif tertinggi dengan alokasi DG tipe turbin angin karena pada simulasi diasumsikan DG turbin angin menginjeksi daya aktif dan reaktif, sedangkan DG photovoltaic disimulasikan dengan hanya injeksi daya aktif, walaupun saat ini dengan kemajuan teknologi inverter, DG photovoltaic sudah mampu menginjeksi daya reaktif. Demikian halnya pada simulasi ini, turbin gas disimulasikan dengan model injeksi daya aktif dan menyerap daya reaktif. Sementara simulasi dengan penambahan kapasitor hanya mampu menginjeksi daya reaktif, sehingga menghasilkan persentase rugi daya terkecil. Hal tersebut menyebabkan model simulasi dengan injeksi daya reaktif dan daya aktif secara bersamaan serta tanpa menyerap daya reaktif akan mampu mengurangi rugi-rugi daya aktif dan daya reaktif dengan persentase tertinggi.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan pada penelitian ini maka dapat disimpulkan sebagai berikut: Dengan menempatkan DG dapat meminimalkan rugi daya lebih banyak dan meningkatkan profil tegangan lebih baik dibandingkan dengan menempatkan kapasitor. Hasil optimasi penempatan DG berbeda-beda sesuai dengan tipe DG. Tipe DG yang terbaik adalah DG WT dengan pengurangan rugi daya aktif 53 % dan daya reaktif 51,69%. Pada penempatan optimal multi tipe DG dapat mengurangi rugi daya aktif 58,17 % dan daya reaktif 54,80 %.



Saran-saran dari penelitian ini adalah pertama sebaiknya pada pengembangan selanjutnya diharapkan dapat memperbaiki aliran daya yang digunakan sehingga dapat memperkecil persentase error. Saran kedua adalah hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi pembanding untuk penggunaan metode optimasi yang lainnya.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih untuk Universitas Negeri Makassar yang telah memberikan bantuan dana penelitian melalui skema PNBPF Fakultas Teknik dengan nomor kontrak 885/UN36.11/LP2M/2022.

### REFERENSI

- Firdaus, Ontoseno Penangsang, Rony Seto Wibowo, & Umar. (2021). Alokasi Optimal DG Sumber Energi Terbarukan Menggunakan Algoritme Multi-Verse Optimizer. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, 10(3), 291–299. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v10i3.1462>
- Moradi, M. H., & Abedini, M. (2016). A Novel Method For Optimal DG units Capacity And Location in Microgrids. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 75, 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.09.013>
- Rathore, a., & patidar, n. P. (2021). Optimal Sizing And Allocation Of Renewable Based Distribution Generation With Gravity Energy Storage Considering Stochastic Nature Using Particle Swarm Optimization In Radial Distribution Network. *Journal of Energy Storage*, 35, 102282. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102282>
- Sabilla, N. H., Nugroho, A., & Handoko, S. (2013). Optimasi Penempatan Pembangkit Terdistribusi Pada IEEE 30 Bus System Menggunakan Algoritma Genetika. *Jurnal Transient*, 2(3), 7.
- Singh, A. K., & Parida, S. K. (2016). Novel Sensitivity Factors For Dg Placement Based On Loss Reduction And Voltage Improvement. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 74, 453–456. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.04.010>