

Alokasi Optimal Pembangkit Tersebar Pada Sistem Distribusi Tenaga Listrik Untuk Meminimisasi Rugi-Rugi Daya

Rudy Gianto^{1*}, M. Iqbal Arsyad²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Tanjungpura; Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak 78124, Kalimantan Barat; Telp. (0561) 740186

Received: 29-03-2026
Accepted: 31-08-2026

Keywords:

Alokasi Optimal;
Pembangkit Tersebar;
Sistem Distribusi;
Rugi-Rugi Daya.

Correspondent Email:

rudy.gianto@ee.untan.ac.id

Abstrak. Tulisan ini menyajikan metode baru untuk menentukan lokasi dan kapasitas pembangkit tersebar atau DG (Distributed Generation) secara optimal pada jaringan distribusi radial untuk meminimisasi rugi-rugi daya. Metode yang diusulkan tersebut didasarkan pada formula rugi-rugi daya sebagai fungsi dari arus-arus simpul atau arus-arus injeksi. Untuk mendapatkan lokasi dan kapasitas DG optimal, yang diperlukan hanyalah satu solusi aliran daya yaitu solusi pada kondisi basecase. Lebih lanjut, perhitungan matriks impedansi bus maupun matriks admitansi bus juga tidak diperlukan dalam prosedur untuk mendapatkan alokasi DG optimal tersebut. Usulan metode ini telah diuji dan divalidasi menggunakan dua sistem uji IEEE yaitu sistem 12-bus dan 33-bus. Hasil penyelidikan memperlihatkan bahwa alokasi DG optimal dapat mengurangi rugi-rugi daya sampai 84,1% untuk sistem 12-bus dan 64,7% untuk sistem 33-bus bila dibandingkan sistem tanpa DG.

Abstract. This paper presents a new method to determine the optimal DG (Distributed Generation) location and capacity in radial distribution networks to minimize power losses. The proposed method is based on the power loss formula as a function of node currents or injection currents. To obtain the optimal DG location and capacity, only a single load flow solution (i.e. basecase load flow solution) is required. Furthermore, the calculation of bus impedance matrix or bus admittance matrix is also not necessary in the procedure to obtain the optimal DG allocation. The proposed method has been tested and validated using two IEEE test systems, namely the 12-bus and 33-bus systems. The investigation results show that optimal DG allocation can reduce power losses by up to 84.1% for the 12-bus system and 64.7% for the 33-bus system compared to a system without DG..

1. PENDAHULUAN

Pembangkit tersebar atau DG merupakan pembangkit tenaga listrik berskala kecil yang biasanya diletakkan atau dipasang pada sistem distribusi. Hal ini berlawanan dengan pembangkit tenaga listrik konvensional yang biasanya berskala lebih besar dan terhubung pada sistem transmisi tenaga listrik [1]. Adanya DG pada sistem distribusi tenaga listrik akan mengubah konfigurasi dasar dari sistem pasif menjadi sistem aktif. Hal ini pada gilirannya akan memberikan dampak yang menguntungkan pada sistem tersebut yaitu

antara lain berkurangnya rugi-rugi daya pada saluran dan membaiknya profil tegangan sistem [2,3].

Namun demikian, pemilihan lokasi dan kapasitas DG yang tidak benar dapat berpengaruh pada besarnya rugi-rugi daya suatu sistem distribusi tenaga listrik dimana DG tersebut ditempatkan. Pada kasus terburuk, pemilihan lokasi dan kapasitas yang salah dapat mengakibatkan rugi-rugi daya yang cukup besar bahkan rugi-rugi daya tersebut dapat melebihi rugi-rugi daya sistem tanpa DG [4-13].

Pada tulisan ini, alokasi DG optimal ditentukan berdasarkan formula rugi-rugi daya sebagai fungsi arus-arus simpul (injeksi) sehingga rumusan-rumusannya menjadi lebih sederhana. Metode yang diusulkan ini tidak memerlukan perhitungan matriks impedansi atau admitansi bus. Lebih lanjut, dalam menentukan lokasi dan kapasitas optimal tersebut, ia hanya memerlukan satu kali studi aliran daya (yaitu pada kondisi *basecase*). Penyelidikan terhadap aplikasi dari usulan metode pada dua sistem distribusi representatif juga dilakukan pada tulisan ini. Hasil penyelidikan memperlihatkan bahwa minimisasi rugi-rugi daya yang signifikan dapat diperoleh melalui alokasi DG menggunakan metode yang diusulkan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, pemilihan lokasi dan kapasitas DG yang tidak benar dapat mengakibatkan rugi-rugi daya yang cukup besar. Beberapa studi tentang pengalokasian DG untuk meminimisasi rugi-rugi daya telah dilakukan seperti yang dilaporkan pada [4-13]. Pada [4-7], lokasi dan kapasitas DG optimal ditentukan berdasarkan formula rugi-rugi daya eksak. Namun demikian, metode [4-7] memerlukan kalkulasi matriks impedansi bus yang diperoleh dengan cara menginvers matriks admitansi bus. Perlu dicatat bahwa oleh karena kompleksitas dan karakteristik khusus dari sistem distribusi, metode [4-7] tidak selalu dapat diaplikasikan secara langsung.

Pada [8], alokasi DG optimal ditentukan berdasarkan formula rugi-rugi daya sebagai fungsi daya simpul. Hal ini mengakibatkan prosedur dan rumusan yang digunakan menjadi cukup rumit. Pada [9-13], penentuan lokasi dan kapasitas DG optimal didasarkan minimisasi rugi-rugi daya yang bersesuaian dengan komponen-komponen aktif dan reaktif dari arus-arus saluran. Perlu dicatat bahwa metode pada [8-13] tidak memerlukan kalkulasi matriks impedansi bus maupun matriks admitansi bus. Oleh karenanya, dibandingkan metode [4-7], metode [8-13] memiliki kelebihan dimana waktu komputasinya lebih cepat dan akurasi juga meningkat.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Formulasi Rugi-Rugi Daya

Rugi-rugi daya saluran distribusi sebagai fungsi dari arus-arus saluran dapat dirumuskan sebagai:

$$P_{LOSS} = \sum_{i=1}^{NB} |IB_i|^2 R_i \quad (1)$$

dimana IB_i dan R_i berturut-turut adalah arus dan resistansi saluran ke- i , dan NB adalah jumlah total segmen saluran distribusi. Umumnya arus saluran IB_i pada (1) merupakan bilangan kompleks yang dapat dituliskan sebagai:

$$IB_i = IB_{pi} + jIB_{qi} \quad (2)$$

dimana IB_{pi} dan IB_{qi} berturut-turut adalah bagian riil dan imajiner dari IB_i . Dengan menggunakan (2) pada (1) akan diperoleh:

$$\begin{aligned} P_{LOSS} &= \sum_{i=1}^{NB} (IB_{pi}^2 + IB_{qi}^2) R_i \\ &= \sum_{i=1}^{NB} IB_{pi}^2 R_i + \sum_{i=1}^{NB} IB_{qi}^2 R_i \end{aligned} \quad (3)$$

3.2. Prosedur Alokasi

Arus-arus saluran pada sistem distribusi radial dapat dinyatakan sebagai fungsi dari arus-arus simpul (arus-arus injeksi) melalui matriks BIBC (*bus-injection to branch-current*) [14]. Uraian tentang cara pembentukan matriks BIBC dapat dilihat pada Subbab 2.3. Aplikasi matriks BIBC pada arus-arus saluran (2) menghasilkan:

$$IB_{pi} = \sum_{j=2}^N BIBC_{i,j-1} I_{pj} \quad (4a)$$

$$IB_{qi} = \sum_{j=2}^N BIBC_{i,j-1} I_{qj} \quad (4b)$$

dimana I_{pj} dan I_{qj} berturut-turut adalah bagian riil dan imajiner dari arus simpul pada bus ke- j , dan N adalah jumlah total bus sistem distribusi.

Misalkan DG ditempatkan pada bus- k . Penempatan DG ini akan merubah arus simpul pada bus tersebut (I_{pk} dan I_{qk}). Untuk menyelidiki pengaruh perubahan arus simpul ini terhadap rugi-rugi daya, pertama-tama (4) dituliskan kembali sebagai:

$$IB_{pi} = BIBC_{i,k-1}I_{pk} + \sum_{\substack{j=2 \\ j \neq k}}^N BIBC_{i,j-1}I_{pj} \quad (5a)$$

$$IB_{qi} = BIBC_{i,k-1}I_{qk} + \sum_{\substack{j=2 \\ j \neq k}}^N BIBC_{i,j-1}I_{qj} \quad (5b)$$

Nilai-nilai arus simpul I_{pk} dan I_{qk} yang membuat rugi-rugi daya bernilai minimum dapat ditentukan dengan cara menghitung turunan-turunan parsial dari P_{LOSS} pada (3) terhadap I_{pk} dan I_{qk} serta menyamakannya dengan nol, atau:

$$\frac{\partial}{\partial I_{pk}} P_{LOSS} = 2 \sum_{i=1}^{NB} IB_{pi} R_i BIBC_{i,k-1} = 0 \quad (6a)$$

$$\frac{\partial}{\partial I_{qk}} P_{LOSS} = 2 \sum_{i=1}^{NB} IB_{qi} R_i BIBC_{i,k-1} = 0 \quad (6b)$$

Berdasarkan (6), besarnya arus simpul pada bus- k yang bersesuaian dengan rugi-rugi daya minimum adalah:

$$I_{pk} = - \frac{\sum_{i=1}^{NB} \left(BIBC_{i,k-1} R_i \sum_{\substack{j=2 \\ j \neq k}}^N BIBC_{i,j-1} I_{pj} \right)}{\sum_{i=1}^{NB} BIBC_{i,k-1} R_i BIBC_{i,k-1}} \quad (7a)$$

$$I_{qk} = - \frac{\sum_{i=1}^{NB} \left(BIBC_{i,k-1} R_i \sum_{\substack{j=2 \\ j \neq k}}^N BIBC_{i,j-1} I_{qj} \right)}{\sum_{i=1}^{NB} BIBC_{i,k-1} R_i BIBC_{i,k-1}} \quad (7b)$$

Sedangkan daya simpul (daya injeksi) pada bus- k yang bersesuaian dengan rugi-rugi daya minimum tersebut adalah:

$$S_k = V_k (I_{pk} - jI_{qk}) \quad (8)$$

dimana V_k adalah tegangan simpul pada bus- k .

Dengan demikian, kapasitas DG yang bersesuaian dengan rugi-rugi daya minimum dapat dihitung melalui:

$$S_{DG,k} = S_k + S_{LOAD,k} \quad (9)$$

dimana $S_{LOAD,k}$ adalah daya yang diserap beban pada bus- k .

Berikut adalah langkah-langkah dalam penentuan kapasitas dan lokasi optimal DG pada sistem distribusi tenaga listrik untuk meminimisasi rugi-rugi daya:

Langkah 1: Baca data sistem dan lakukan studi aliran daya untuk sistem tanpa DG; dapatkan arus-arus dan tegangan-tegangan simpul.

Langkah 2: Dengan menggunakan prosedur pada Subbab 2.3, bentuk matriks BIBC.

Langkah 3: Asumsikan bahwa setiap bus (kecuali bus sumber atau GI) merupakan kandidat untuk lokasi DG. Maka, untuk setiap lokasi DG tersebut, hitung arus simpul, kapasitas DG, arus saluran, dan rugi-rugi daya dengan menggunakan (7), (9), (5), dan (3).

Langkah 4: Pilih bus dengan rugi-rugi daya terkecil dan tempatkan DG (dengan kapasitas seperti yang diperoleh pada Langkah 3) pada bus tersebut.

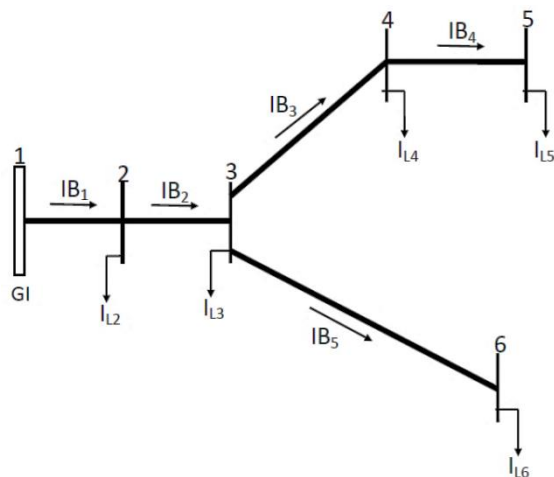
3.3. Matriks BIBC

Sistem distribusi sederhana seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 akan digunakan sebagai contoh untuk menjelaskan cara pembentukan matriks BIBC [14]. Hubungan antara arus-arus simpul dan arus-arus saluran dapat diperoleh melalui penerapan hukum Kirchhoff untuk arus pada jaringan distribusi tersebut. Sebagai contoh, arus-arus saluran pada Gambar 1 dapat dinyatakan sebagai arus-arus beban seperti berikut:

$$\begin{aligned} IB_1 &= I_{L2} + I_{L3} + I_{L4} + I_{L5} + I_{L6} \\ IB_2 &= I_{L3} + I_{L4} + I_{L5} + I_{L6} \\ IB_3 &= I_{L4} + I_{L5} \\ IB_4 &= I_{L5} \\ IB_5 &= I_{L6} \end{aligned} \quad (10)$$

Perlu dicatat bahwa arus-arus baban (I_{Li}) pada (10) adalah negatif dari arus-arus simpul (I_i), maka:

$$\begin{aligned} IB_1 &= -I_2 - I_3 - I_4 - I_5 - I_6 \\ IB_2 &= -I_3 - I_4 - I_5 - I_6 \\ IB_3 &= -I_4 - I_5 \\ IB_4 &= -I_5 \\ IB_5 &= -I_6 \end{aligned} \quad (11)$$



Gambar 1. Sistem Distribusi Radial Sederhana

Dengan demikian, hubungan antara arus-arus simpul dan arus-arus saluran dapat diekspresikan sebagai:

$$\begin{bmatrix} IB_1 \\ IB_2 \\ IB_3 \\ IB_4 \\ IB_5 \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Secara umum, (12) dapat dituliskan sebagai:

$$[IB] = -[BIBC][I] \quad (13)$$

dimana *BIBC* merupakan matriks konstan segitiga atas yang isinya hanya memiliki nilai 0 dan 1.

Dengan mengamati (12) dan (13), langkah-langkah pembentukan matriks *BIBC* adalah sebagai berikut:

Langkah 1: Bentuk matriks *BIBC* awal yang berupa matriks nol dengan ukuran $NB \times N-1$.

Langkah 2: Untuk setiap saluran B_k yang terletak antara bus-*i* dan bus-*j*: (i) copy semua elemen kolom yang bersesuaian dengan bus-*i* ke kolom yang bersesuaian dengan bus-*j*; (ii) isikan nilai +1 pada baris ke-*k* dan kolom ke-*j*.

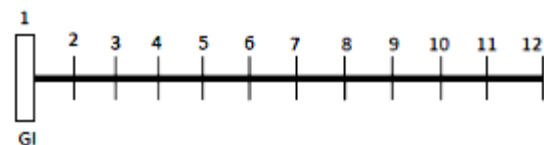
Langkah 3: Ulangi proses diatas untuk semua saluran sampai semua saluran sistem tercakup pada matriks *BIBC*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sistem Uji IEEE

Untuk memvalidasi usulan metode pada Bab 2, dua sistem distribusi radial berikut akan digunakan [15]:

- (i) Sistem IEEE 12-Bus
Diagram segaris dari sistem 12-bus diperlihatkan pada Gambar 2. Sistem ini memiliki tegangan 11 kV dengan beban total sebesar 435 kW dan 405 kVAR. Data sistem disajikan pada Tabel 1.
- (ii) Sistem IEEE 33-Bus
Diagram segaris dari sistem 33-bus diperlihatkan pada Gambar 3. Sistem ini memiliki tegangan 12,66 kV dengan beban total sebesar 3,715 MW dan 2,3 MVAR. Data sistem disajikan pada Tabel 2.



Gambar 2. Sistem 12-Bus

Tabel 1. Data Sistem 12-Bus

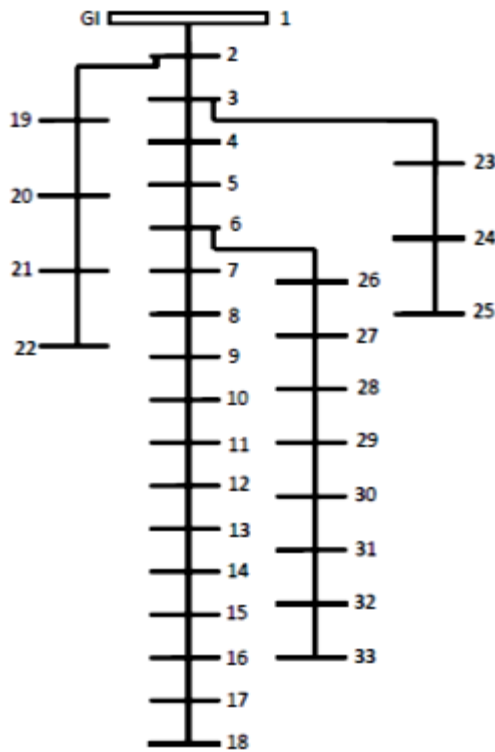
Sal .	Bu s Kir .	Bu s Ter .	Impedansi		Beban*	
			R (Ohm)	X (Ohm)	P _{LOAD} (kW)	Q _{LOAD} (kVAR)
1	1	2	1,093	0,455	60	60
2	2	3	1,184	0,494	40	30
3	3	4	2,095	0,873	55	55
4	4	5	3,188	1,329	30	30
5	5	6	1,093	0,455	20	15
6	6	7	1,002	0,417	55	55
7	7	8	4,403	1,215	45	45
8	8	9	5,642	1,597	40	40
9	9	10	2,890	0,818	35	30
10	10	11	1,514	0,428	40	30
11	11	12	1,238	0,351	15	15

*Beban terhubung pada bus terima

4.2. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan metode yang diusulkan pada Bab 2, kapasitas DG optimal dapat dihitung untuk berbagai lokasi atau bus sistem. Gambar 4 dan 5 memperlihatkan kapasitas DG optimal berturut-turut untuk sistem 12-bus dan 33-bus. Untuk sistem 12-bus kapasitas DG optimal bervariasi antara 258,3 kVA sampai 611,6 kVA. Sedangkan, untuk sistem 33-bus

kapasitas DG optimal bervariasi antara 375 kVA sampai 4.610 kVA. Dapat juga diamati dari Gambar 4 dan 5 bahwa DG dengan kapasitas yang lebih besar lokasinya hampir selalu berada didekat bus sumber (GI).



Gambar 3. Sistem 33-Bus

Gambar 6 dan 7 memperlihatkan rugi-rugi daya total berturut-turut untuk sistem 12-bus dan 33-bus bila DG dengan kapasitas optimal dipasang pada masing-masing bus sistem distribusi. Dari Gambar 6 terlihat bahwa untuk sistem 12-bus, lokasi DG optimal adalah pada bus 9 (dengan kapasitas 284,2 kVA) dimana rugi-rugi daya total direduksi dari 20,7 kW (tanpa DG) menjadi 3,3 kW (dengan DG). Sedangkan untuk sistem 33-bus, lokasi DG optimal adalah pada bus 6 (dengan kapasitas 3.027,7 kVA) dimana rugi-rugi daya total direduksi dari 211 kW (tanpa DG) menjadi 74,5 kW (dengan DG).

Gambar 8 dan 9 menyajikan kurva-kurva profil tegangan berturut-turut untuk sistem 12-bus dan 33-bus. Untuk kurva profil tegangan sistem yang mengandung DG, DG yang digunakan adalah DG dengan lokasi dan kapasitas paling optimal (sistem 12-bus: lokasi bus 9 dengan kapasitas 284,2 kVA, sistem 33-bus: lokasi bus 6 dengan kapasitas 3.027,7

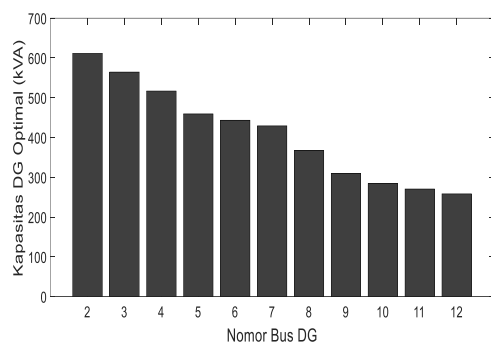
kVA). Kurva profil tegangan sistem yang tidak mengandung DG juga ikut diperlihatkan pada Gambar 8 dan 9 untuk keperluan komparasi. Terlihat bahwa dengan adanya DG, profil tegangan sistem menjadi lebih baik.

Tabel 2. Data Sistem 33-Bus

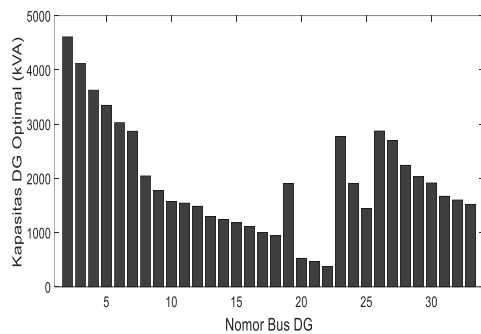
Sal .	Bu s Kir .	Bu s Ter .	Impedansi		Beban*	
			R (Ohm)	X (Ohm)	P _{LOAD} (kW)	Q _{LOAD} (kVAR)
1	1	2	0,0922	0,0470	100	60
2	2	3	0,4930	0,2511	90	40
3	3	4	0,3660	0,1864	120	80
4	4	5	0,3811	0,1941	60	30
5	5	6	0,8190	0,7070	60	20
6	6	7	0,1872	0,6188	200	100
7	7	8	1,7114	1,2351	200	100
8	8	9	1,0300	0,7400	60	20
9	9	10	1,0440	0,7400	60	20
10	10	11	0,1966	0,0650	45	30
11	11	12	0,3744	0,1238	60	35
12	12	13	1,4680	1,1550	60	35
13	13	14	0,5416	0,7129	120	80
14	14	15	0,5910	0,5260	60	10
15	15	16	0,7463	0,5450	60	20
16	16	17	1,2890	1,7210	60	20
17	17	18	0,7320	0,5740	90	40
18	2	19	0,1640	0,1565	90	40
19	19	20	1,5042	1,3554	90	40
20	20	21	0,4095	0,4784	90	40
21	21	22	0,7089	0,9373	90	40
22	3	23	0,4512	0,3083	90	50

Sal .	Bu s Kir .	Bu s Ter .	Impedansi		Beban*	
			R (Ohm)	X (Ohm)	P _{LOAD} (kW)	Q _{LOAD} (kVAR)
23	23	24	0,8980	0,7091	420	200
24	24	25	0,8960	0,7011	420	200
25	6	26	0,2030	0,1034	60	25
26	26	27	0,2842	0,1447	60	25
27	27	28	1,0590	0,9337	60	20
28	28	29	0,8042	0,7006	120	70
29	29	30	0,5075	0,2585	200	600
30	30	31	0,9744	0,9630	150	70
31	31	32	0,3105	0,3619	210	100
32	32	33	0,3410	0,5302	60	40

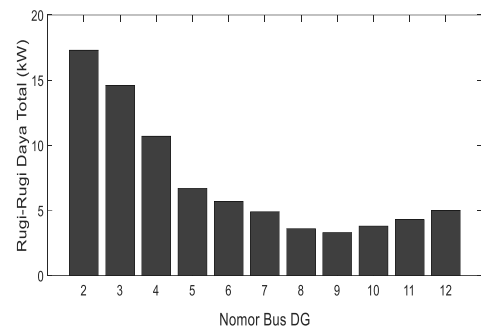
*Beban terhubung pada bus terima



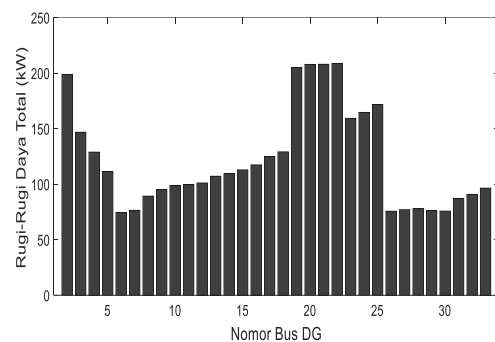
Gambar 4. Kapasitas DG Optimal (Sistem 12-Bus)



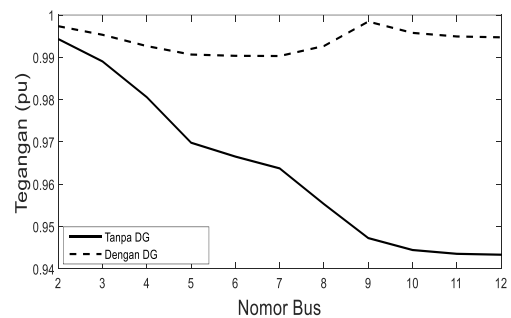
Gambar 5. Kapasitas DG Optimal (Sistem 33-Bus)



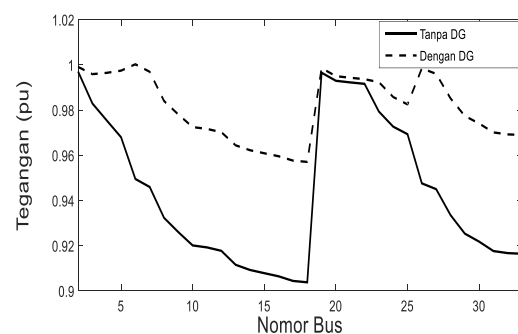
Gambar 6. Rugi-Rugi Daya Total (Sistem 12-Bus)



Gambar 7. Rugi-Rugi Daya Total (Sistem 33-Bus)



Gambar 8. Profil Tegangan Dengan dan Tanpa DG (Sistem 12-Bus)



Gambar 9. Profil Tegangan Dengan dan Tanpa DG (Sistem 33-Bus)

Tabel 3 memperlihatkan ringkasan hasil-hasil lokasi dan kapasitas DG optimal serta rugi-rugi daya untuk kedua sistem distribusi yang diselidiki. Reduksi rugi-rugi daya total akibat adanya DG untuk sistem 12-bus dan 33-bus berturut-turut adalah 84,1% dan 64,7%. Berdasarkan hasil-hasil diatas juga dapat disimpulkan bahwa melalui penempatan DG dengan kapasitas optimal pada lokasi optimal, reduksi rugi-rugi daya yang cukup signifikan dapat diperoleh. Reduksi signifikan dari rugi-rugi daya ini pada gilirannya akan membuat pengaturan tegangan sistem menjadi lebih baik.

Table 3. Ringkasan Hasil Simulasi

Sistem	Lokasi DG	Kapasitas DG (kVA)	Rugi-Rugi Daya (kW)	
			Tanpa DG	Dengan DG
12-bus	Bus 9	284,2	20,7	3,3
33-bus	Bus 6	3.027,7	211	74,5

Sebagai komparasi, hasil-hasil dari metode lain disajikan pada Tabel 4. Pada Tabel 4, metode lain yang dijadikan pembanding adalah metode yang dibahas pada [8] (untuk sistem 12-bus), dan metode pada [4] (untuk sistem 33-bus). Terlihat bahwa metode yang diusulkan memiliki performa yang lebih baik.

Table 4. Hasil Dari Metode Pada [4, 8]

Sistem	Lokasi DG	Kapasitas DG (kVA)	Rugi-Rugi Daya (kW)	
			Tanpa DG	Dengan DG
12-bus	Bus 9	235	20,7	8,4
33-bus	Bus 6	2.600	211	111,1

5. KESIMPULAN

Pada tulisan ini telah diusulkan metode sederhana untuk menentukan lokasi dan kapasitas DG optimal untuk meminimisasi rugi-rugi daya pada sistem distribusi tenaga listrik. Metode yang diusulkan ini telah diuji pada dua sistem test representatif yaitu sistem IEEE 12-bus dan 33-bus. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa lokasi dan kapasitas DG merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam mengurangi rugi-rugi daya sistem. Melalui alokasi DG yang tepat, rugi-rugi daya tersebut dapat direduksi secara signifikan. Hasil penyelidikan terhadap sistem test IEEE memperlihatkan bahwa alokasi DG optimal dapat mengurangi rugi-rugi daya

sampai 84,1% untuk sistem 12-bus dan 64,7% untuk sistem 33-bus bila dibandingkan sistem tanpa DG. Pengurangan rugi-rugi daya ini mengakibatkan profil tegangan sistem meningkat sehingga pengaturan tegangannya juga menjadi lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura yang telah mendanai penelitian ini melalui Sumber Dana DIPA Tahun Anggaran 2026.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Gianto, M.I. Arsyad, , Purwoharjono, F. Imansyah, dan K.H. Khwee, "Distributed Generation in Electric Power Systems: An Overview and Important Issues", *WSEAS Transactions on Power Systems*, vol. 18, hal. 172-178, 2023.
- [2] R. Gianto, "Application of Trust-Region Method in Load Flow Solution of Distributed Network Embedded with DREG", *International Review of Electrical Engineering*, vol. 16, no. 5, hal. 418-427, 2021.
- [3] K.H.M. Azmi, dkk., "Active Electric Distribution Network: Applications, Challenges, and Opportunities", *IEEE Access*, vol. 10, hal. 134655-134689, 2022.
- [4] N. Acharya, P. Mahat, dan N. Mithulananthan, "An Analytical Approach for DG Allocation in Primary Distribution Network", *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 28, hal. 669-678, 2006.
- [5] D.Q. Hung, dan N. Mithulananthan, "Multiple Distributed Generator Placement in Primary Distribution Networks for Loss Reduction", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 4, hal. 1700-1708, 2013.
- [6] T.N. Shukla, S.P. Singh, V. Srinivasarao, dan K.B. Naik, "Optimal Sizing of Distributed Generation Placed on Radial Distribution Systems", *Electric Power Components and Systems*, vol. 38, hal. 260-274, 2010.
- [7] C.L. Silalahi, L. Hakim, dan H. Gusmedi, "Studi Optimasi Penentuan Lokasi Penempatan Distributed Generation Pada Sistem Distribusi Tiga Fasa Dengan Metode Binary Linear Programming (BLP)", *ELECTRICIAN-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 11, no. 1, hal. 9-20, 2017.

- [8] T. Gozel, dan M.H. Hocaoglu, “An Analytical Method for the Sizing and Siting of Distributed Generators in Radial Systems”, *Electric Power Systems Research*, vol. 79, hal. 912-918, 2009.
- [9] K. Mahmoud, dan M. Lehtonen, “Direct Approach for Optimal Allocation of Multiple Capacitors in Distribution Systems Using Novel Analytical Closed-Form Expressions”, *Electrical Engineering*, vol. 103, hal. 245-256, 2021.
- [10] Y.G. Werkle, dan H.A. Kefale, “Optimal Allocation of Multiple Distributed Generation Units in Power Distribution Networks for Voltage Profile Improvement and Power Losses Minimization”, *Cogent Engineering*, vol. 9, hal. 1-23, 2022.
- [11] D.C. Phan, dan N.A. Luu, “Optimize the Position of Distributed Generations in Distribution Grid by using Improved Loss Sensitivity Factor”, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 35, no. 3, hal. 1370-1378, 2024.
- [12] R. Viral, dan D.K. Khatod, “An Analytical Approach for Sizing and Siting of DGs in Balanced Radial Distribution Networks for Loss Minimization”, *Electric Power and Energy Systems*, vol. 67, hal. 191-201, 2015.
- [13] S.N.G. Naik, D.K. Khatod, dan M.P. Sharma, “Analytical Approach for Optimal Siting and Sizing of Distributed Generation in Radial Distribution Networks”, *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 9, no. 3, hal. 209-220, 2015.
- [14] J.H. Teng, “A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions”, *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 18, no. 3, hal. 882-887, 2003.
- [15] R. Gianto, dan K.H. Khwee, “A New Method for Load Flow Solution of Electric Power Distribution System”, *International Review of Electrical Engineering*, vol. 11, no. 5, hal. 535-541, 2016.