Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi
Volume 26, Issue 01, Februari 2026, 227-231
Webite: https://ji.unbari.ac.id, E-Mail: jiubj.unbari@gmail.com
e-ISSN: 2549-4236 (Online), p-ISSN: 1411-8939 (Print), DOI: 10.33087/jiubj.v26i1.6433

Review Penerapan Pembangkitan Terdistribusi (DG) pada Sistem Tenaga Listrik

Leily Wustha Johar, Hendi Matalata
D3 Teknik Listrik Universitas Batanghari
Correspondence: leily.wustha.johar@unbari.ac.id, hendi.matalata@unbari.ac.id

ABSTRAK
Pembangkitan terdistribusi (*Distributed Generation*/DG) merupakan salah satu solusi penting dalam pengembangan sistem tenaga listrik modern untuk memenuhi peningkatan kebutuhan energi, meningkatkan efisiensi sistem, serta mendukung pemanfaatan energi baru dan terbarukan. DG didefinisikan sebagai pembangkitan listrik berskala kecil hingga menengah yang terhubung langsung pada jaringan distribusi atau berada dekat dengan pusat beban. Penelitian ini membahas penerapan pembangkitan terdistribusi pada sistem distribusi tenaga listrik dengan menitik beratkan pada analisis teknis, meliputi pengurangan rugi-rugi daya, perbaikan profil tegangan, serta koordinasi sistem proteksi. Analisis teknis dilakukan melalui perhitungan rugi-rugi daya dan penurunan tegangan pada penyulang distribusi 20 kV, yang menunjukkan bahwa penempatan DG secara tepat mampu menurunkan rugi-rugi daya dan meningkatkan kualitas tegangan. Selainitu, disajikan diagram satu garis Gardu Induk (GI) 150/20kV yang terintegrasi dengan DG, lengkap dengan peralatan ukur dan sistem proteks I seperti CT, PT/CVT, PMT, serta relay proteksi. Studi kasus penerapan DG di Indonesia, antara lain PLTS atap dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro, menunjukkan bahwa DG dapat meningkatkan keandalan sistem, mengurangi beban jaringan, dan mendukung transisi menuju sistem tenaga listrik yang berkelanjutan.

KataKunci: pembangkitan terdistribusi, sistem distribusi, rugi-rugi daya, profil tegangan, sistem proteksi

ABSTRACT
Distributed generation (DG) has become an important solution in modern power systems to address increasing electricity demand, improve system efficiency, and support the integration of renewable energy sources. DG refers to small to medium scale power generation units connected directly to the distribution network or located near load centres. This paper discusses the application of distributed generation in distribution systems, focusing on technical aspects such as power loss reduction, voltage profile improvement, and protection coordination. A technical analysis is presented through power loss and voltage drop calculations on a 20 kV distribution feeder, demonstrating that proper placement of DG can significantly reduce feeder losses and enhance voltage performance. Further more, a single-line diagram of 150/20kV substation integrated with distributed generation is developed, including current transformers (CT), potential transformers (PT/CVT), circuit breakers, and protection schemes. Several case studies of DG implementation in Indonesia, such as roof top photovoltaic systems and micro-hydro power plants, a real so discussed. There sults indicatet hat distributed generation, when properly planned and coordinated, can improve system reliability, reduce technical losses, and support the transition toward sustainable and renewable-based power systems.

Keywords*: distributed generation, distribution system, power loss, voltage profile, protection coordination*

PENDAHULUAN

Sistem distribusi tenaga listrik di Indonesia umumnya dioperasikan oleh PT PLN (Persero) dengan karakteristik jaringan radial, tingkat keandalan yang bervariasi, serta panjang saluran yang relatif besar terutama pada wilayah kepulauan. Kondisi ini menyebabkan sistem distribusi di Indonesia rentan terhadap rugi-rugi daya, penurunan profil tegangan, serta gangguan kontinuitas pelayanan. Selain itu, pertumbuhan beban listrik yang terus meningkat dan tuntutan peningkatan keandalan mendorong perlunya solusi alternatif untuk memperbaiki kinerja sistem distribusi secara teknis dan ekonomis (Kementerian ESDM RI, 2025)

Penelitian mengenai Distributed Generation mulai berkembang sejak awal tahun 2000 dengan fokus utama padaintegrasi DG terhadap sistem distribusi. Pada tahap awal, penelitian lebih menitik beratkan pada analisis aliran daya dan dampak DG terhadap profil tegangan serta rugi-rugi daya jaringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penetrasi DG pada lokasi yang tepat dapat memberikan peningkatan signifikan terhadap kinerja teknis sistem distribusi. Seiring dengan meningkatnya penetrasi DG, khususnya yang berbasis energi terbarukan, penelitian pada periode berikutnya berfokus pada penempatan dan penentuan kapasitas optimal DG menggunakan berbagai metode optimasi seperti Genetic Algorithm (GA) dan Particle Swarm Optimization (PSO). Dalam konteks sistemdistribusi Indonesia yang didominasi jaringan radial, metode optimasi tersebut terbukti efektif dalam mengurangi rugi-rugi daya dan memperbaiki profil tegangan.

Meskipun berbagai penelitian telahmem buktikan manfaat Distributed Generation dalam meningkatkan kinerja sistem distribusi, masih terdapat beberapa permasalahan yang belum terpecahkan secara optimal. Khususnya pada sistem distribusi Indonesia, penelitian yang mengintegrasikan penempatan dan pengoperasian

DG dengan mempertimbangkan ketidakpastian pembangkitan energi terbarukan, karakteristik jaringan radial, serta keterbatasan regulasi dan standar teknis masih relatif terbatas. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan penerapan distribusi generation (DG) adalah pembangkit listrik berkapasitas kecil terhubung langsung ke jaringan distribusi dan ditempatkan dekat dengan pusat beban. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan yang mampu mengakomodasi kondisi aktual sistem distribusi Indonesia guna mendukung transisi energi dan peningkatan keandalan sistem tenaga listrik nasional.

METODE

Pembangkitanter distribusi adalah sistem pembangkitan Listrik dengan kapasitas relative kecil, umumnya berkisar dari beberapa kilowatt hingga puluhan megawatt, yangt erhubung langsung kejaringan distribusi atau berada di sisi pelanggan. Berbeda dengan pembangkit terpusat, DG dapat beroperasi secara terhubung dengan jaringan (*grid-connected*) maupun secara terpisah (islanded mode) dengan karakteristik lokasi dekat dengan pusat beban, kapasitas relative kecil hingga menengah, menggunakan beragam sumber energi, termasuk EBT dan dapat meningkatkan fleksibilitas dan keandalan sistem. Variabel pada penelitian ini meliputi kapasitas DG, lokasi penempatan dan jenis DG (energi terbarukan) adapun variabel yang diperlihatkan adalah profil tegangan, rugi daya, aliran daya pada saluran dan faktor daya

Tabel 1
Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Hasil
1	(Mahanta & Moharana, 2024)	A Reviewon Optimal Placement and Sizing Methods of Distribution Generation Sources	Review komprehensif metode penempatan dan ukuran DG untuk mengoptimalkan performa sistem distribusi (multi-objective, constraints, dan teknik optimasi)
2	(Prawestri et al., 2019)	Optimasi Injeksi Distributed Generation Menggunakan CSO & KHA	Menunjukkan KHA lebih efektif dari pada CSO dalam mengurangi rugi-rugi daya dan meningkatkan profil tegangan
3	(Baihaqi & Yulyawan, 2022)	Penentuan Posisi & Kapasitas DG pada 117 Bus	Metode JAYA dapat menentukan posisi dan ukuran DG untuk mengurangi rugi-rugi daya di jaringan distribusi 20 kV
4	(Augusta & Pramono, 2016)	Optimasi Leta kDG pada Sistem Radial dengan Kapasitor (FPA)	Memperlihatkan optimasi DG dan kapasitor menurunkan rugi daya dan memperbaiki profil tegangan pada sistem radial
5	(Moses, 2023)	Optimal Placement of DG using Repeated Load Flow Analysis	Hasil optimal placement DG meningkatkan profil tegangan ke level yang dapat diterima
6	(Kurniyawan et al., 2017)	Optimasi Penempatan DG & Kapasitor dengan GA	Penempatan DG dan kapasitor dengan GA mengurangi rugi-rugi daya dan memperbaiki tegangan di jaringan distribusi
7	(Musdir & Ardiaty Arief, 2022)	Penempatan DG Optimal dengan Rekonfigurasi Jaringan	Kombinasi DG dan rekonfigurasi jaringan meningkatkan performa tegangan dan mengurangi rugi-rugi daya
8	(A.A.T.B.Artawan, IW.Sukereyasa, 2020)	Rencana Pemasangan DG & Pengaruhnya terhadap Tegangan & Losses	Penempatan DG pada jaringan distribusi mengurangi maksimum penurunan tegangan dan rugi-rugi daya total
9	(Firdaus, 2025)	Optimal Placement of Renewable DG Considering Emissions & Losses(MVO)	OptimalplacementDGberbasisMVOberhasilmeningkatkanprofiltegangan,mengurangilossesdanemisisignifikan

Sumber: data olahan

Pembangkitan terdistribusi dapat diklasifikasikan berdasarkan sumber energi dan teknologi yang digunakan, antara lain:

1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya(PLTS).. PLTS memanfaatkan energi radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi Listrik menggunakan sel fotovoltaik. PLTS sangat cocok diterapkan sebagai DG karena bersifat modular dan mudah diintegrasikan kejaringan distribusi.
2. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB). PLTB skalakecil hingga menengah dapat diterapkan sebagai DG, khususnya didaerah dengan potensi angin yang memadai.
3. Pembangkit Biomassa dan Biogas.. Pembangkit berbasis biomassa dan biogas memanfaatkan limbah organic sebagai bahan bakar, sehingga selain menghasilkan energi Listrik juga mendukung pengelolaan lingkungan.
4. Mikrohidro. Pembangkit Listrik tenaga air skala kecil (mikrohidro) banyak diterapkan di daerah terpencil dan pedesaan sebagai bentuk pembangkitan terdistribusi.

5. Generator Dieseld an Gas. Generator diesel atau gas sering digunakan sebagai DG Cadangan (backup) untuk meningkatkan keandalan suplai listrik.

Penerapan DG memberikan berbagai dampak teknis terhadap system distribusi, baik positif maupun negatif.

1. Profil Tegangan. DG dapat memperbaiki profil tegangan denganmeny uplai daya secara local. Namun, jika tidak direncanakan dengan baik, DG juga berpotensim enyebabkan kenaikan tegangan berlebih (over voltage).
2. Rugi-Rugi Daya. Dengan berkurangnya jarak penyaluran daya dari pembangkit ke beban, penerapan DG dapat menurunkan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi.
3. Keandalan Sistem. DG mampu meningkatkan keandalan sistem, terutama saat terjadi gangguan pada jaringan utama, dengan menyediakan suplai daya lokal.
4. Kualitas Daya. Integrasi DG, khususnya yang menggunakan inverter, dapat mempengaruhi kualitas daya seperti harmonisa dan fluktuasi tegangan,sehingga diperlukan pengaturan dan proteksi yang tepat.

Meskipun memiliki banyak manfaat, penerapan DG juga menghadap ibeberapat antangan, antara lain: (1) koordinasi proteksi system distribusi; (2) pengaturan aliran daya dua arah; (3) variabilitas sumber energi terbarukan; dan (4) kebutuhan standar teknis dan regulasi yang jelas.

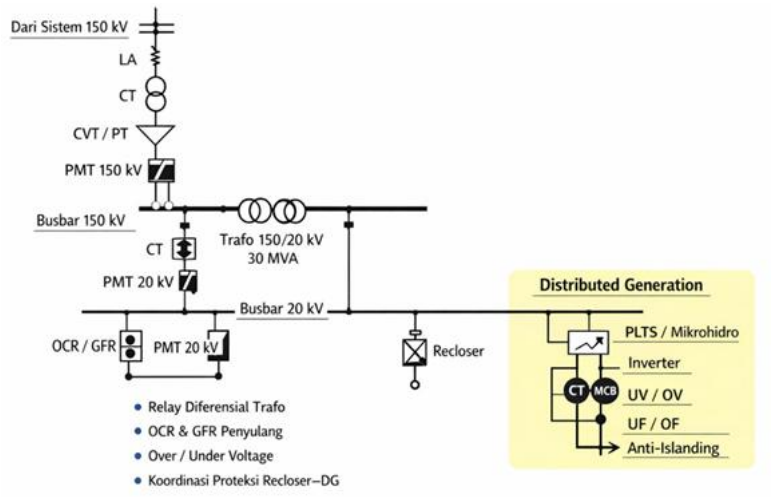
HASIL

Perhitungan Teknis Penerapan Pembangkitan Terdistribusi

1. Analisis Rugi-Rugi Daya. Rugi-rugi daya pada system distribusi dapat dihitung menggunakan persamaan dasar rugi tembaga saluran,yaitu:
   $P_{loss}=I^2R$
   Sebagai contoh, suatu penyulang distribusi 20 kV memiliki beban aktif sebesar 5 MW dengan factor daya 0,85. Aruss aluran dihitung sebagai berikut:
   $I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi} = \frac{5.000.000}{\sqrt{3} \times 20.000 \times 0.85} \approx 170A$
   Jika resistansi total saluran adalah 2 Ohm, maka rugi daya kondisi tanpa DG adalah:
   Ploss = (170)2 x 2 ≈ 57,8 kW
   Apabila di pasang pembangkitan terdistribusi (DG) sebesar 1 MW didekat pusat beban, maka daya yang disuplai dari gardu induk berkurang menjadi 4 MW. Arus saluran turun menjadi sekitar 136 A, sehingga rugi-rugi daya menjadi:
   $P_{loss}_DG = (136)^2 \times 2 \approx 37$ kW
   Hasil perhitungan menunjukkan penurunan rugi-rugi daya sekitar 36%, yang membuktikan bahwa penempatan DG secara optimal mampu meningkatkan efisiensi system distribusi.
2. Analisis Profil Tegangan
   Penurunan tegangan pada system distribusi dapat didekati dengan persamaan:
   $\Delta V = I (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$
   Dengan adanya DG yang menyuplai daya aktif dan reaktif secara lokal, arus saluran utama berkurang sehingga nilai penurunan tegangan mengecil. Hal ini menyebabkan profil tegangan diujung penyulang menjadi lebih baik dan tetap berada dalam batas standar pelayanan, yaitu ± 5 % dari tegangan nominal.

Diagram Satu Garis (Single Line Diagram) Penerapan Pembangkitan Terdistribusi

Diagram satu garis berikut menggambarkan konfigurasi Gardu Induk(GI) 150/20 kV yang telah diintegrasikan dengan pembangkitan terdistribusi (DG) pada jaringan distribusi 20 kV, lengkap dengan peralatan ukur dan proteksi utama. Diagram satu garis konseptual GI 150/20 kV dengan DG dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber: data olahan

Gambar 1
Diagram Satu Garis GI 150/20 kVdengan Pembangkitan Terdistribusi(DG)

Gambar 1 mencerminkan konfigurasi standar GI, Dimana system proteksi dan pengukuran dipasang pada setiap level tegangan.

1. Sistem Proteksi dan Pengukuran pada GI dan Penyulang. Sistem proteksi pada GI 150/20 kV dirancang untuk melindungi peralatan dan menjamin kontinuitas penyaluran daya. Peralatan proteksi dan pengukuran utama meliputi:
   a. CT (Current Transformer). Digunakan untuk pengukuran arus dan input relay proteksi seperti OCR (Over Current Relay) dan GFR (Ground Fault Relay).
   b. PT/CVT (Potential Transformer / Capacitive Voltage Transformer). Digunakan untuk pengukuran tegangan, sinkronisasi, dan proteksi tegangan lebih atau kurang.
   c. PMT (Pemutus Tenaga). Berfungsi memutus arus gangguan berdasarkan perintah relay proteksi.
   d. Relay Proteksi GI: OCR dan GFR padasisi 20 kV; Differential relay pada trafo daya 150/20 kV; Over/Under Voltage relay; Proteksi hubung tanah terbatas; dan Recloser Penyulang 20kV. Digunakan untuk mengamankan jaringa ndistribusi dari gangguan sementara dan permanen. Pada integrasi DG, koordinasi proteksi perlu disesuaikan agar relay GI, recloser, dan proteksi DG bekerja selektif dan tidak saling bertabrakan.
2. Implikasi Teknis Diagram Satu Garis. Berdasarkan diagram satu garis tersebut, integrasi DG menyebabkan aliran daya tidak lagi satu arah dari gardu induk ke beban, tetapi dapat menjadi dua arah. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan proteksi, koordinasi recloser, serta pengaturan tegangan yang sesuai agar sistem tetap aman dan handal.

Studi Kasus Penerapan Pembangkitan Terdistribusi di Indonesia

1. PLTS Atap Terhubung Jaringan (On-Grid) di Sistem Distribusi PLN Jawa – Bali. Salah satu contoh penerapan pembangkitan terdistribusi di Indonesia adalah penggunaan PLTS atap pada pelanggan industri dan komersial di wilayah Jawa – Bali.
   a. Deskripsi Sistem: Lokasi: Kawasan Industri Jawa Barat; Jenis DG: PLTS Atap; Kapasitas:1 MWp; Tegangan Interkoneksi: 20 kV; Skema Operasi: On - grid, net metering
   b. Konfigurasi Sistem: Modul Surya: Inverter grid – tied; LV Panel: Trafo step-up 0,4/20 kV; Cubicle 20 kV: Penyulang PLN
   c. Analisis Teknis; Aliran daya: Siang hari PLTS menyuplai beban lokal, Surplus daya mengalir balik kejaringan distribusi, Perhitungan: Daya beban local = 800 kW, Daya PLTS = 1.000kW, Ekspor ke jaringan = 200 kW; Pengaruh tegangan: Kenaikan tegangan diujung penjulang: $\Delta V \approx$ 0,4%(masih dalam batas SPLN).
   d. Dampak positif: Penurunan rugi daya penyulang hingga ± 3%; Reduksi emisi CO2 ± 1.200 ton/tahun; Pengurangan beban puncak siang hari

   Evaluasi teknis menunjukkan beberapa manfaat utama, antara lain penurunan beban puncak penyulang sebesar 10 – 15 %, perbaikan profil tegangan di sisi pelanggan, serta pengurangan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi.
2. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Daerah Terpencil. Di wilayah Indonesia bagian timur dan daerah pegunungan, pembangkit Listrik tenaga mikrohidro dengan kapasitas 50 – 500 Kw banyak diterapkan. Pembangkit ini umumnyat erhubung kejaringan distribusi local atau beroperasi secara islanded.
   a. Deskripsi sistem: Lokasi: Desa terpencil di Nusa Tenggara Barat; Jenis DG: PLTMH; Kapasitas: 150kW; Skem aOperasi: Isolated grid (off - grid)
   b. Analisis Teknis: Daya turbin; $P = \rho \times g \times Q \times H \times \eta$; $P \approx$ 132kW Cukup untuk ± 300 rumah dengan daya 450 VA – 900 VA

   Penerapan mikrohidro memberikan manfaat berupa peningkatan rasio elektrifikasi desa, keandalan suplai listrik yang lebih baik, serta pengurangan ketergantungan pada generator diesel.

Meskipun memberikan banyak manfaat, integrasi DG di Indonesia juga menghadapi tantangan teknis, seperti aliran daya dua arah, koordinasi system proteksi, dan pengaturan tegangan. Oleh karena itu, diperlukan penerapan relay proteksi adaptif, pengaturan inverter sesuai grid code, serta perencanaan sistem distribusi yang komprehensif.

SIMPULAN

Pembangkitan terdistribusi merupakan Solusi yang efektif dalam meningkatkan efisiensi, keandalan, dan keberlanjutan system tenaga listrik. Dengan perencanaan teknis yang matang serta dukungan regulasi yang memadai, DG optimal ke dalam sistem distribusi. Keberadaan DG terbukti dapat mengurangi rugi-rugi daya pada jaringan distribusi, karena pasokan daya menjadi lebih dekat dengan pusat beban. Hal ini meningkatkan efesiensi penyaluran energi listrik dan mengurangi beban kerja saluran serta gardu distribusi. Untuk memperkuat insfra struktur kelistrikan, penerapan DG juga berperan penting dalam mendukung transisi energi menuju pemanfaatan energi baru dan terbarukan

DAFTARPUSTAKA

Artawan, A. A. T. B., Sukerayasa, I. W., Ariastina, W. G.. 2020, Rencana Pemasangan Distributed Generation Pada Jaringan Distribusi Serta Pengaruhnya Terhadap Profil Tegangan dan Rugi-Rugi Daya. *Jurnal Spektrum*, 7(1), 169-176

Augusta, Y. A., Pramono, W. B., 2016. Optimasi Penempatan dan Kapasitas Multi DG Pada Sistem Distribusi dengan Metode, Flower Pollination

Algorithm (FPA). *Seminar Nasional Energi dan Teknologi (SINERGI)*, 17 – 24.

Baihaqi, M. A., Yulyawan, E. K., 2022. Metode Jaya Sebagai Penentuan Posisi dan Ukuran Besaran Kapasitas Distributed Generation pada 117 bus. *Jurnal Sistem Kelistrikan*, 9(1), 1 – 5

Firdaus. 2025. Optimal Placement of Renewable Distributed Generation for Power Losses and Emissions Reduction Using the Multi Verse Optimization Algorithm in Distribution System. *Jurnal Teknik*, 46(3), 232 – 243.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI, 2025. *RUPTL PT PLN (Persero) Tahun 2025 – 2034*

Kurniawan, D,. Saleh, A., Kaloko, B. S., 2017. Optimasi Penempatan Distributed Generation (DG) dan Kapasitor pada Sistem Distribusi Radial Menggunakan Metode Generic Algorithm (GA) (Studi Kasus pada Penyulang Watu Ulo Jember). *Berkala Saintek*, 5(1), 35-4-.

Mahanta, S. Moharana, M. K., 2024. A Review on Optimal Placement and Sizing. *Journal of Mechanics of Continue and Mathematical Sciences*, 19(5), 46-47.

Moses, I. A., 2023. Optimal Placement and Sizing of Distributed Generation (DG) Units in Electrical Power Distribution Networks. *IJEEES,* 9(1), 66-24.

Musdir, N. A., Ardiaty Arief, M. B. N., 2022. Penempatan Distributed Generation Optimal. *Jurnal Eksitasi*, 1(2), 29 – 35.

Prawestri, G., Handani, C., Suyono, H. Hasana, R. N., 2019. Optimal Injeksi Distributed Generation Menggunakan Algoritma Cat Swarm Optimation dan Krill Herd Algorithm. *EECCIS,* 13(3), 150-155.