

# Pengaruh Peningkatan Injeksi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) pada Sistem Distribusi

Hadi Suyono<sup>#1</sup>, Rini Nur Hasanah<sup>#2</sup>, Rizki Tirta Nugraha<sup>#3</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: <sup>#1</sup> hadis@ub.ac.id, <sup>#2</sup> rini.hasanah@ub.ac.id, <sup>#3</sup> DR1413AI@yahoo.com

**Abstrak** – Dengan berkurangnya pasokan energi dan adanya tarif dasar listrik yang semakin meningkat, telah memberikan dampak pada pengelola utilitas sistem daya elektrik dan juga para peneliti untuk mencari solusi baru untuk melakukan efisiensi dan diversifikasi energi baik dari sisi pembangkitan ataupun pada sisi beban. Penggunaan energy baru dan terbarukan merukan salah satu usaha untuk mengatasi kekurangan ini, yaitu dengan implementasi pembangkit tersebar (PT) berbasis pembangkit baru dan terbarukan yang diinjeksikan pada sistem distribusi. Injeksi PT ini akan memberikan dampak baik ditinjau dari keadaan tunak ataupun pada keadaan dinamis. Dampak pada keadaan tunak dapat dirasakan dengan perubahan aliran daya, profil tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem. Pada makalah ini, dilakukan analisis pengaruh dari pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) pada sistem distribusi, yang diimplementasikan pada Sistem Distribusi Dampit Kabupaten Malang, dengan lima skenario injeksi pembangkit tersebar. Dampak yang signifikan yang dapat dirasakan adalah naiknya profil tegangan untuk semua bus dan pengurangan rugi-rugi daya.

**Kata kunci:** *Pembangkit tersebar, analisis keadaan tunak, PLTS, PLTMH, profil tegangan, rugi-rugi daya.*

**Abstract** – With the lack of energy supply and higher possible tariffs, it has encouraged the energy system utilities as well as the researchers to determine possible solutions efficiency and diversification of energy from the supply or load management sides. The implementation of the new and renewable energy is one of the solution, by distributed generation (DG) that injected in the distribution system. The DG injection will have a good impact in terms of steady state or dynamic perspectives. In term of steady state, the power system will impact to the power flows, voltage profiles and power losses in the system. In this paper, an influence analysis of Solar Energy Power (SEP) and microhydro Energy Power

(MEP) on the distribution system, implemented in Malang District Dampit Distribution System, with five injection scenarios. Significant impact to the power distribution system are the rise of voltage profile for all buses and reducing of the power losses.

**Kata kunci:** *Pembangkit tersebar, analisis keadaan tunak, PLTS, PLTMH, profil tegangan, rugi-rugi daya.*

## I. PENDAHULUAN

Berdasarkan proyeksi Badan Energi Dunia (International Energy Agency-IEA) hingga tahun 2030 permintaan energi dunia meningkat sebesar 45% dengan rata-rata peningkatan sebesar 1,6%/tahun. Sebagaimana besar atau sekitar 80% kebutuhan energi dunia tersebut dipasok dari bahan bakar fosil. Sedangkan penggunaan energi berbasis renewable energy adalah: pembangkit hidro (2,0%), biomass dan waste energy (1,3%), renewables lainnya (6,6%) [1]. Sedangkan di Indonesia penggunaan pembangkit listrik berbasis renewable energi masih relatif kecil yaitu dalam 17% dari 183.420,93 GWh total beban energi listrik yang diperlukan, dimana kontribusi terbesar adalah dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) (15%) dan Pembangkit Tenaga Panas Bumi (PLTP) (2%) [2]. Sistem pembangkit renewable yang dikembangkan sekarang ini tidak saja untuk skala unit pembangkit dengan daya yang besar tetapi dengan daya berskala kecil tetapi diharapkan dapat masif dari segi jumlah. Biasanya untuk pembangkit ini disebut pembangkit tersebar dan diinjeksikan pada sistem distribusi [3]. Uni Eropa sebagai pelopor EG memperkirakan pada tahun 2000 penggunaan EG sebesar 12% dari total pembangkitan, tahun 2010 sebesar 13-18% dan 15-22% pada tahun 2020 [1].

Energi listrik adalah salah satu energi yang memiliki peran vital untuk kebutuhan manusia. Peningkatan laju pertumbuhan penduduk akan menyebabkan peningkatan

kebutuhan kebutuhan energi listrik pada setiap tahunnya, dimana pihak penyedia tenaga listrik dalam hal ini PLN dituntut untuk terus meningkatkan kontinuitas layanan suplai daya listrik yang dibutuhkan tersebut. Penyelesaian yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan efisiensi penggunaan energi listrik dan diversifikasi energi, salah satunya ialah mengembangkan energi alternative berbasis energi baru terbarukan yang ramah lingkungan, berkelanjutan, ekonomis, dan secara teknis mudah untuk diimplementasikan.

Penetrasi pembangkit listrik berbasis energy baru dan terbarukan pada sistem distribusi Salah satu pembangkit energi terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH), pembangkit listrik tenaga biomassa (PLTB), pembangkit listrik tenaga angin (PLTA), pembangkit listrik tenaga geothermal (PLTG), dan pembangkit lainnya akan mempengaruhi sistem distribusi dimana pembangkit tersebut diinjeksikan. Dalam kondisi tunak, dapat mempengaruhi profil tegangan dan rugi daya [4-6], kualitas daya [7-8], MVA kegagalan [9-10], dan sistem keandalan [11-13].

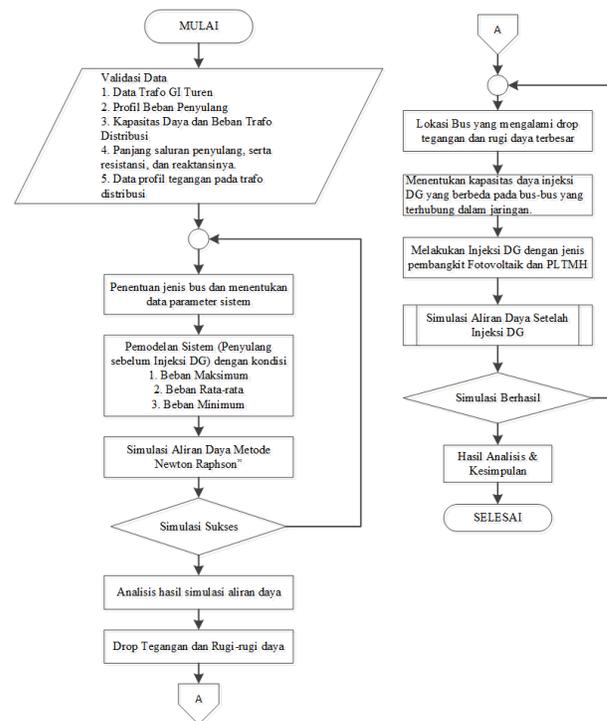
Demikian juga yang terjadi di Kota Malang, pada beberapa tahun terakhir telah terjadi perkembangan yang cukup pesat dalam hal pertumbuhan ekonomi di Kota Malang yang menyebabkan permintaan terhadap energi listrik di Kota Malang cenderung mengalami peningkatan. Gardu Induk (GI) Turen merupakan salah satu GI yang berfungsi sebagai penyalur untuk menyuplai beban pada 11 penyulang melalui GI Kebonagung dengan bus 70 kV. Dengan semakin bertambahnya permintaan konsumen listrik Kota Malang maka semakin besar pula beban listrik yang ditanggung oleh GI Turen. Apabila beban-beban listrik baru yang ditanggung oleh GI nantinya semakin jauh jaraknya dari pusat pembangkitan, maka hal ini akan menyebabkan peningkatan rugi-rugi daya dan penurunan profil tegangan.

Untuk mengatasi masalah tersebut dan untuk menjaga ketersediaan daya listrik baik ditinjau dari keadaan tunak ataupun keadaan kestabilan dinamis implementasi pembangkit tersebar pada sistem distribusi sangat diperlukan [14]. Implementasi pembangkit tersebar dalam hal ini PLTMH dan PLTS pada sistem distribusi GI Turen tentunya disesuaikan dengan potensi energi terbarukan yang ada. Analisis pengaruh injeksi unit pembangkit tersebar terhadap sistem tenaga dengan peningkatan jumlah dan kapasitas daya pembangkit tersebar adalah menjadi fokus pembahasan pada makalah ini, terutama impaknya kepada profil tegangan dan rugi-rugi daya sistem.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Diagram alir dari tahapan penelitian yang dilakukan pada penelitian ini diberikan pada Gambar 1. Langkah pertama adalah dengan melakukan validasi data sekunder yang diambil

dari PT. PLN Sistem Distribusi Penyulang Dampit. Data Sekunder yang divalidasi adalah data: transformator Gardu Induk Turen, data saluran distribusi, data pembangkitan, data pembebanan salah satu penyulang, data kapasitas dan pembebanan gardu tiang distribusi, data saluran penyulang (panjang saluran, resistansi, dan reaktansi). Selanjutnya adalah melakukan desain sistem daya dengan implementasi *single line diagram* sistem daya yang ada dan elakukan pemodelan sistem sesuai single line diagram dan menginput beberapa parameter analisisnya.



Gambar 1. Diagram alir metodologi penelitian

Simulasi aliran daya dari sistem model awal sistem daya (sebelum injeksi daya oleh pembangkit tersebar) dilakukan untuk kondisi beban maksimum, rata-rata, dan beban minimum. Analisis hasil simulasi aliran daya tersebut kemudian sebagai bahan evaluasi injeksi daya oleh pembangkit tersebar. Analisis dampak pembangkit tersebar yaitu pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) yaitu dengan analisis penurunan tegangan dan rugi daya sistem sebelum injeksi pada kondisi beban maksimum, rata-rata, dan beban minimum. Lokasi injeksi

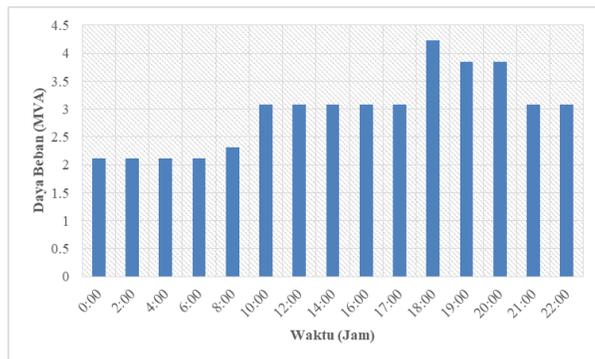
Pembangkit tersebar diambil pada bus yang memiliki rugi daya dan penurunan tegangan yang cukup besar. kapasitas daya injeksi yang berbeda pada bus-bus yang terhubung dalam jaringan kemudian ditentukan sebagai kandidat injeksi. Injeksi

pembangkit tersebar tersebut selanjutnya diimplementasikan dan dilakukan analisis besar rugi daya dan pengaruhnya pada profil tegangan sistem distribusi tersebut.

### III. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

#### A. Sistem Distribusi 20 kV Penyulang Dampit

Data yang digunakan sebagai parameter simulasi merupakan data tahun 2013. Penyulang Dampit terdiri dari 70 gardu distribusi yang menyalurkan daya ke beban pelanggan umum ataupun beban industri. Sistem Penyulang Dampit terdiri dari 73 Bus dan jumlah saluran sebanyak 71 yang saling terhubung, dengan karakteristik beban harian diberikan pada Gambar 2.

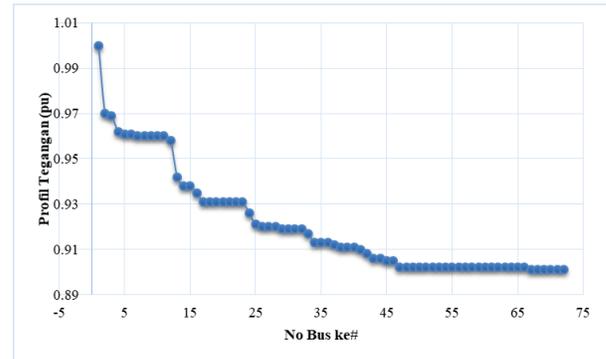


Gambar 2. Karakteristik beban harian penyulang dampit

Dari karakteristik beban harian Penyulang Dampit menunjukkan beban puncak terjadi mulai pukul 17.00 sampai dengan pukul 21.00. Beban puncak yang dilayani sampai dengan 4.2 MW.

#### B. Analisis Sistem Kondisi Beban Maksimum Sebelum Injeksi Pembangkit Tersebar

Hasil analisis aliran daya sesuai pemodelan Sistem Distribusi Dampit pada kondisi beban maksimum sebelum adanya injeksi pembangkit tersebar diberikan pada Gambar 3. Total Pembangkitan yaitu  $P = 0.039$  p.u dan  $Q = 0.0437$ p.u. Total Pembebanan yaitu  $P = 0.0381$  dan  $Q = 0.0389$  p.u. Total losses  $P = 0.00173$  p.u (4%) dan  $0.00477$ . p.u (11%). Drop tegangan terjadi pada penyulang sebesar 10% pada bus 45 sampai bus 72.



Gambar 3. Profil tegangan sebelum injeksi pembangkit tersebar

#### C. Analisis Injeksi Pembangkit Tersebar PLTS dan PLTMH

Injeksi daya pembangkit tersebar pada penyulang Dampit dilakukan dengan tahapan perencanaan peralatan yang digunakan. Peralatan yang digunakan merepresentasikan parameter yang digunakan pada tahapan simulasi. Tahapan simulasi atau pemodelan dilakukan menggunakan *software* komputasi PSAT 2.1.8. Hasil injeksi dengan skenario injeksi pembangkit tersebar yang dilakukan diberikan pada Tabel 1.

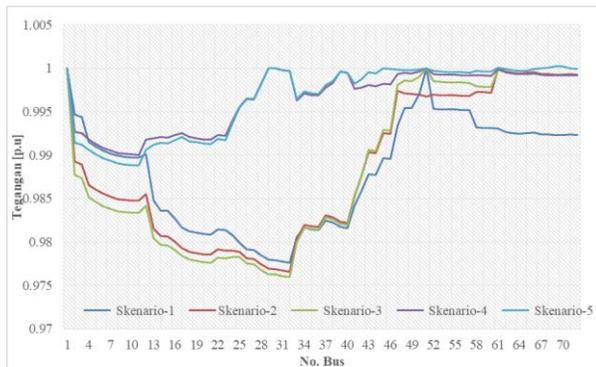
Penentuan lokasi injeksi daya beserta ukuran daya pembangkit tersebar yang digunakan berdasarkan lokasi bus yang mengalami penurunan tegangan yang cukup besar. Selain itu penentuan juga berdasarkan tingkat beban bus, dimana bus yang melayani beban daya aktif reaktif cukup tinggi menjadi prioritas utama untuk menentukan lokasi dan ukuran pembangkit tersebar.

Tabel 1. Skenario Lokasi dan Ukuran Pembangkit Tersebar.

Skenario	Pembangkit Tersebar	Ukuran Total PT [MW]	Jumlah PT	Lokasi Bus
Skenario-1	PLTS	0.5	1	51
Skenario-2	PLTMH	1.53	1	61
Skenario-3	PLTS	0.5	1	51
	PLTMH	0,5	1	61
Skenario-4	PLTS-1	0,5	1	29
	PLTS-2	0,5	1	51
	PLTMH-1	0,85	1	39
	PLTMH-2	1,53	1	61
Skenario-5	PLTS-1	0,3	1	29
	PLTS-2	0,3	1	45
	PLTS-3	0,3	1	51
	PLTMH-1	0,85	1	39
	PLTMH-2	1,53	1	61
	PLTMH-3	0,68	1	69

Gambar 4 menunjukkan profil tegangan yang dihasilkan pada setiap skenario injeksi daya pembangkit tersebar pada penyulang Dampit yang dilakukan. Dari hasil analisis aliran daya sebelum injeksi pembangkit tersebar pada saat kondisi

beban maksimum didapatkan hasil penurunan tegangan sampai dengan -10% pada beberapa bus. Penurunan tegangan sebesar -10% dari tegangan nominalnya 20 kV merupakan kondisi kritis penyulang.

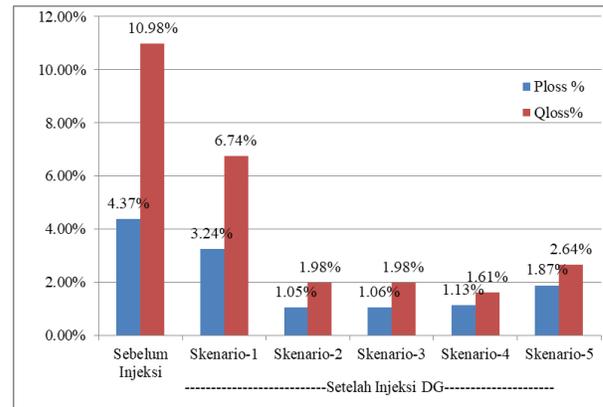


Gambar 4. Profil tegangan bus untuk setiap skenario

Sesuai aturan jaringan Jawa Madura dan Bali Peraturan Menteri ESDM No.03/2007, batas penurunan tegangan yang diperbolehkan adalah +5% dan -10% [15]. Tegangan pada kondisi beban rata-rata dan minimum mengalami penurunan sebesar -6% dan -4%. Hal ini memperlihatkan kondisi tegangan jaringan masih berada pada kondisi normal.

Hasil analisis aliran daya sebelum injeksi pembangkit tersebar dilakukan menunjukkan besarnya rugi-rugi daya yang terjadi pada saat kondisi beban maksimum yaitu sebesar 0.173 + j0.477 MVA atau sebesar 4% untuk daya aktif (P) dan 10.98% untuk daya reaktif (Q). Hasil analisis aliran daya juga menunjukkan besarnya rugi-rugi daya yang dihasilkan pada saat kondisi beban rata-rata dan minimum yaitu sebesar 0.058 + j0.1602 MVA dan 0.0248 + j 0.0688 MVA. Berikut hasilnya ditunjukkan pada diagram persentase rugi-rugi daya.

Hasil analisis aliran daya setelah injeksi pembangkit tersebar berdasarkan lima (5) skenario yang telah ditetapkan diberikan pada Gambar 5. Level tegangan mengalami kenaikan yang cukup signifikan pada skenario-5 yaitu dimana Pembangkit Tersebar yang diinjeksikan berjumlah 6, secara berurutan masing-masing pada bus-bus 29, 45, 51, 39, 61, dan 69. Jumlah daya Pembangkit Tersebar yang diinjeksikan ke jaringan sesuai skenario 5 yaitu 0.9 MW untuk PLTS-1, PLTS-2, dan PLTS-3, serta 3.06 MW untuk PLTMH-1, PLTMH-2, dan PLTMH-3. Kondisi tegangan pada skenario-5 hanya mengalami penurunan tegangan maksimal sebesar -1% dari tegangan nominalnya untuk semua bus. Naiknya level tegangan pada jaringan diiringi oleh penurunan rugi-rugi daya sampai dengan 1.87% untuk daya aktif (P) dan 2.64% untuk daya reaktif (Q) atau sebesar P = 0.072 MW dan Q = 0.105 MVar.



Gambar 5. Persentase rugi-rugi daya untuk setiap skenario yang dilakukan

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan didapatkan hasil bahwa injeksi pembangkit tersebar pada penyulang Dampit Kabupaten Malang memberikan dampak yang signifikan terhadap naiknya profil tegangan untuk semua bus dan mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi pada sistem. Skenario injeksi pembangkit tersebar yang diterapkan pada skenario 5 menunjukkan hasil terbaik untuk kenaikan level tegangan yaitu dari 0.90 p.u menjadi 0.99 pu, sedangkan dampak pada rugi-rugi daya; skenario injeksi pembangkit tersebar yang diterapkan menunjukkan hasil terbaik pada skenario-2 yaitu besarnya rugi-rugi daya menurun dari 0.040+j0.078 MVA atau dari 4.37% menjadi 1.05% untuk daya aktif (P) dan 10.98% menjadi 1.98% untuk daya reaktif (Q).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Energy Agency-IEA, 2011, World Energy Statistical 2012
- [2] PT. PLN Persero, 2011, Statistik PLN 2011, ISSN: 0852-8179, No. 02401.120722
- [3] Jinkens N., Allan R, Cossley P., Kirschen D., and Strbac G., Embedded Generation, The Institution of Electrical Engineers, London, 2000
- [4] Thomson M, Infield DG. Network power-flow analysis for a high penetration of distributed generation. IEEE Transaction on Power System. 2007; 22(3): 1157–1162.
- [5] Widén J, Shepero M, Munkhammar J. Probabilistic Load Flow for Power Grids With High PV Penetrations Using Copula-Based Modeling of Spatially Correlated Solar Irradiance. IEEE Journal of Photovoltaics. 2017; 7(6): 1740–1745.

- [6] Hadi Suyono and Rini Nur Hasanah; Analysis of Power Losses due to Distributed Generation Increase on Distribution System; Vol 78/No 6-3/2016, Jurnal Teknologi, Penerbit Universiti Teknologi Malaysia (UTM) Press, ISSN: 01279696, E-ISSN: 21803722
- [7] Zeng Z, Yang H, Guerrero JM, Zhao R. Multi-functional distributed generation unit for power quality enhancement. *IET Power Electronics*. 2015; 8(3): 467–476.
- [8] Esparza M, Segundo J, Núñez C, Wang X, Blaabjerg F. A Comprehensive Design Approach of Power Electronic-Based Distributed Generation Units Focused on Power-Quality Improvement. *IEEE Transactions on Power Delivery*. 2017; 32(2): 942–950.
- [9] Murdoch N, Berry J, Kazerooni A. Distributed generation connections under a fault-level active network management scheme. *CIREC - Open Access Proceedings Journal IET Journals & Magazines*. 2017; 2017(1): 1707–1710.
- [10] Boljevic S, Conlon MF. Fault current level issues for urban distribution network with high penetration of distributed generation. *IEEE Conferences 2009 6th International Conference on the European Energy Market*. 2009: 1–6.
- [11] Liu N, Wu T, Xu T, Ma Y. Reliability evaluation method for distribution network. *IET Journals & Magazines, The Journal of Engineering*. 2017; 2017(13): 1771–1776.
- [12] Argüello, Lara JD, Rojas JD, Valverde G. Impact of Rooftop PV Integration in Distribution Systems Considering Socioeconomic Factors. *IEEE Systems Journal*. 2017; pp (99): 1–12.
- [13] Suyono H, Wijono, Hasanah RN, Dhuha S. Power distribution system reliability improvement due to injection of distributed generation. 2017 IEEE 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO). 2017: 1485–1490.
- [14] Ackermann, T., Andersson, G., dan Soder, L. "Distributed generation: a definition", Elsevier, *Electric Power Systems Research*, no. 57, pp.195-204, 2001.
- [15] Kementerian ESDM R.I. "Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali" peraturan menteri (permen) No. 3. 2007.