EFEK PENGINTEGRASIAN PEMBANGKIT LISTRIK TERSEBAR PADA JARINGAN DISTRIBUSI RADIAL TERHADAP PEROSOTAN TEGANGAN

Eka Fitrianto*, Refdinal Nazir
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
*Corresponding author, e-mail : fitrianto_eka@yahoo.com

Abstrak— Pada sistem distribusi radial 20 kV yang dipasok oleh Gardu Induk (GI) dalam jarak yang cukup jauh dari pusat beban akan menyebabkan terjadinya perosotan tegangan yang cukup signifikan. Pengintegrasian pembangkit tersebar (*Distributed Generation*, DG) pada jaringan distribusi tersebut akan menjadi salah satu solusi untuk memperbaiki perosotan tegangan tersebut. Tulisan ini mengemukakan suatu cara menganalisis efek pengintegrasian beberapa pembangkit listrik tersebar (DG) pada jaringan distribusi radial terhadap perosotan tegangan. Analisis menggunakan metoda arus injeksi dari beban dan DG pada setiap bus. Hasil analisis menunjukkan bahwa penetrasi 5 unit DG pada jaringan distribusi akan mengurangi perosotan tegangan jaringan distribusi secara signifikan, terutama pada bus yang berdekatan dengan DG.

Kata Kunci : pembangkit listrik tersebar(DG), jaringan distribusi radial, perosotan tegangan, arus injeksi.

Abstract— At 20 kV radial distribution systems supplied by the substation in a considerable distance from the load centre, will cause occurred its voltage drop significantly. The integration of distributed generation on the distribution networks will be one of the solutions to reduce the drop voltage. This paper proposes a way to analyze the effect of integration multiple distributed generation (DG) in radial distribution networks to the voltage drop. This analysis uses the injection current method of the load and the DG on each bus. The analysis results showed that the penetration of 5 units of DG on the distribution network will reduce its voltage drops significantly, especially on the adjacent bus with DG.

Keywords : distributed generation (DG), radial distribution network, voltage drop, current injection

Copyright © 2016 JNTE. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Pembangkit listrik dengan kapasitas besar umumnya terletak jauh dari pusat beban, sehingga diperlukan saluran transmisi dan distribusi yang cukup panjang untuk mensuplai beban. Hal ini menimbulkan penurunan tegangan dan rugi-rugi daya yang cukup besar. Di sisi lain keterbatasan sumber daya bahan bakar fosil yang banyak bermasalah dengan lingkungan dan tingginya biaya transmisi dan distribusi pada pembangkit besar ikut mendorong pengembangan pembangkit listrik skala kecil yang dekat dengan beban dan terintegrasi ke sistem grid melalui jaringan distribusi yang dikenal dengan pembangkit listrik tersebar atau *Distributed Generation* (DG)[1][2]. Pada umumnya DG memanfaatkan teknologi dari sumber-sumber energi terbarukan seperti; energi surya, energi angin, tenaga air skala kecil dan dapat juga menggunakan teknologi ICE (Internal Combustion Engine), dan microturbine [3].

Beberapa manfaat teknis dari pengintegrasian DG pada sistem distribusi diantaranya adalah: perbaikan tegangan, pengurangan kehilangan daya, peningkatan kehandalan dan pengurangan dampak lingkungan[4][5]. Namun demikian, pengintegrasian DG pada sistem distribusi dapat juga menimbulkan dampak negatif diantaranya adalah: menurunnya stabilitas sistem; terganggunya koordinasi antara sekering dan reclosers dalam sistem distribusi dengan penetrasi DG dalam kapasitas yang besar [6] [7].

Efek teknis rencana pengintegrasian satu Pembangkit Listrik Minihidro (PLTM) tersebar pada jaringan distribusi telah dianalisis menggunakan software ETAP pada referensi[8]. Referensi [9] mengusulkan suatu teknik analisis untuk mengoptimal ukuran DG dan

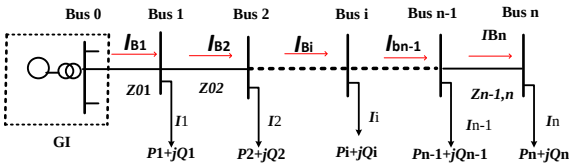
Received date 2015-07-10, Revised date 2015-07-23, Accepted date 2016-01-05
DOI : 10.20449/jnte.v5i1.157

penempatannya pada jaringan distribusi untuk peningkatan profile tegangan.

Tulisan ini mengemukakan suatu teknik sederhana dan cepat untuk menganalisis efek pengintegrasian beberapa pembangkit listrik tersebar pada jaringan distribusi 20 kV radial. Kajian difokuskan pada efek pengintegrasian DG terhadap perosotan tegangan. Analisa dilakukan dengan metoda sederhana menggunakan arus injeksi.

2. ANALISIS PEROSOTAN TEGANGAN JARINGAN DISTRIBUSI TANPA DG

Suatu sistem distribusi radial yang sederhana memiliki satu bus sebagai bus sumber dan *n* bus lain sebagai bus beban, seperti ditunjukkan oleh Gambar 1. Bus sumber merupakan bagian dari bus dari gardu induk, sedangkan bus beban merupakan bentuk ekivalen dari suatu kelompok beban.



Gambar 1. Konfigurasi jaringan distribusi tanpa DG

Secara umum, untuk bus ke-i, beban komplek $\boldsymbol{S}_i$ dinyatakan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{S}_i = P_i + jQ_i \quad \text{untuk} \quad i = 1,2,3.....n \qquad (1)$$

dimana;
$\boldsymbol{S}_i$ = Daya komplek beban pada bus ke-i (kVA)
P_i = Daya aktif beban pada bus ke-i (kW)
Q_i = Daya reaktif beban pada bus ke-i (kVAr)

Arus beban, jika dipandang dari sisi jaringan dinyatakan sebagai arus injeksi [9], yang besarrya diselesaikan melalui persamaan berikut:

$$I_i^{(k)} = \left(\frac{P_i + jQ_i}{V_i^{(k)}}\right)^* \qquad (2)$$

dimana:
$\boldsymbol{V}_i^{(k)}$ = Tegangan bus ke-i pada iterasi ke-k.
$\boldsymbol{I}_i^{(k)}$ = Arus bus ke-i pada iterasi ke-k.

Untuk menentukan hubungan antara arus injeksi dengan arus cabang perhatikan lagi gambar 1. Daya injeksi untuk setiap bus dapat dikonversikan ke bentuk arus injeksi ekivalen oleh persamaan (2). Hubungan antara arus injeksi bus dengan arus cabang dapat diselesaikan dengan bantuan hukum *Kirchoff* untuk arus (*Kirchoff Current Law*) pada jaringan distribusi[10], yang dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{I}_{B1} &= \boldsymbol{I}_1 + \boldsymbol{I}_2 + .. + \boldsymbol{I}_i + .. + \boldsymbol{I}_{n-1} + \boldsymbol{I}_n \\
\boldsymbol{I}_{B2} &= \boldsymbol{I}_2 + .. + \boldsymbol{I}_i + .. + \boldsymbol{I}_{n-1} + \boldsymbol{I}_n \\
&\vdots \\
\boldsymbol{I}_{Bi} &= \boldsymbol{I}_i + .. + \boldsymbol{I}_{n-1} + \boldsymbol{I}_n \\
&\vdots \\
\boldsymbol{I}_{Bn-1} &= \boldsymbol{I}_{n-1} + \boldsymbol{I}_n \\
\boldsymbol{I}_{Bn} &= \boldsymbol{I}_n
\end{aligned} \qquad (3)$$

Persamaan (3) dapat dinyatakan dalam bentuk matriks, sebagai:

$$\begin{bmatrix} I_{B1} \\ I_{B2} \\ \vdots \\ I_{Bi} \\ \vdots \\ I_{Bn-1} \\ I_{Bn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & . & 1 & . & 1 & 1 \\ 0 & 1 & . & 1 & . & 1 & 1 \\ & & & & & & \\ 0 & 0 & . & 1 & . & 1 & 1 \\ & & & & & & \\ 0 & 0 & . & 0 & . & 1 & 1 \\ 0 & 0 & . & 0 & . & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ . \\ I_i \\ . \\ I_{n-1} \\ I_n \end{bmatrix} \qquad (4)$$

Atau persamaan tersebut dapat disusun sebagai berikut:

$$[\boldsymbol{I}_B] = [\boldsymbol{B}]\,[\boldsymbol{I}] \qquad (5)$$

Matrik konstanta [B] merupakan matriks yang hanya berisikan elemen segitiga bawahnya 0 dan elemen segitiga atasnya 1.

Untuk sistem distribusi radial seperti gambar 1, beda tegangan pada setiap bus dengan bus referensi (0) dapat dinyatakan dengan fungsi dari arus injeksi dan impedansi saluran, seperti ditunjukkan oleh persamaan berikut ini:

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{V}_0 - \boldsymbol{V}_1 &= \boldsymbol{I}_{B1}\boldsymbol{Z}_{01} \\
\boldsymbol{V}_0 - \boldsymbol{V}_2 &= \boldsymbol{I}_{B1}\boldsymbol{Z}_{01} + \boldsymbol{I}_{B2}\boldsymbol{Z}_{12} \\
&\vdots \\
\boldsymbol{V}_0 - \boldsymbol{V}_i &= \boldsymbol{I}_{B1}\boldsymbol{Z}_{01} + \boldsymbol{I}_{B2}\boldsymbol{Z}_{12} + ... + \boldsymbol{I}_{Bi}\,\boldsymbol{Z}_{i-1,i} \\
&\vdots \\
\boldsymbol{V}_0 - \boldsymbol{V}_{n-1} &= \boldsymbol{I}_{B1}\boldsymbol{Z}_{01} + \boldsymbol{I}_{B2}\boldsymbol{Z}_{12} + ... + \boldsymbol{I}_{Bn-1}\boldsymbol{Z}_{n-2,\,n-1}
\end{aligned}$$

$$\boldsymbol{V_0 - V_n = I_{B1}Z_{01} + I_{B2}Z_{12} + ...+I_{Bn}Z_{n-1,\,n}} \quad (6)$$

Persamaan (6) tersebut di atas dapat dituliskan dalam bentuk matrik seperti persamaan di bawah ini:

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_0 \\ . \\ V_0 \\ . \\ V_0 \\ V_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ . \\ V_i \\ . \\ V_{n-1} \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{01} & 0 & . & 0 & . & 0 & 0 \\ Z_{01} & Z_{12} & 0 & . & 0 & . & 0 \\ & & & & & & \\ Z_{01} & Z_{12} & . & Z_{2i} & . & 0 & . \\ & & & & & & \\ Z_{01} & Z_{12} & . & Z_{2i} & . & Z_{n-1} & 0 \\ Z_{01} & Z_{12} & . & Z_{2i} & . & Z_{n-1} & Z_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{B1} \\ I_{B2} \\ . \\ I_{Bi} \\ . \\ I_{Bn-1} \\ I_{Bn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Atau persamaan di atas dapat ditulis menjadi:

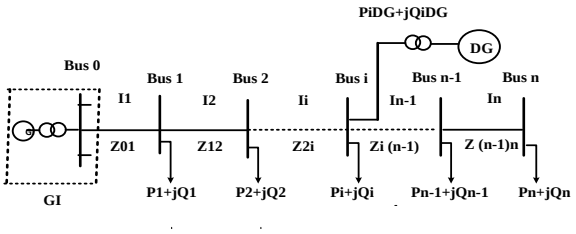
$$[\Delta \boldsymbol{V}] = [\boldsymbol{Z}].[\boldsymbol{I}_B] \quad (8)$$

Sehingga tegangan per bus dapat ditentukan dari persamaan berikut:

$$[\boldsymbol{V}] = [\boldsymbol{V}_0] - [\Delta \boldsymbol{V}] \quad (9)$$

3. ANALISIS PEROSOTAN TEGANGAN JARINGAN DISTRIBUSI DENGAN INTEGRASI DG

Jika jaringan distribusi pada Gambar 1 diintegrasikan dengan sebuah pembangkit tersebar pada bus ke-i, maka konfigurasi jaringan distribusi dapat dimodifikasi menjadi seperti Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi Sistem Distribusi dengan Integrasi DG

Persamaan arus injeksi pada bus ke-i dapat ditulis menjadi:

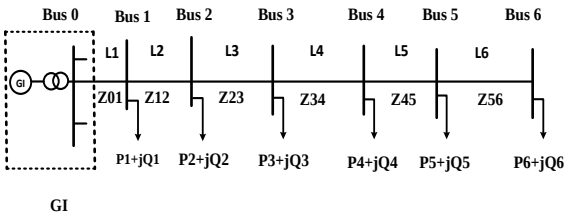
$$I_i^{(k)} = \left(\frac{(P_i - P_i^{DG}) + j\,(Q_i - Q_i^{DG})}{V_i^{(k)}} \right)^* \quad (10)$$

dimana:
P_i^{DG} = daya aktif yang diproduksi DG bus ke-i
Q_i^{DG} = daya reaktif DG bus ke-i

Selanjutnya persamaan (10) dapat disubsitusikan ke persamaan (4) dalam rangka menentukan perosotan tegangan melalui persamaan (8) dan tegangan per bus melalui persamaan (9).

4. SIMULASI KOMPUTER

Untuk kajian ini, kasus menggunakan konfigurasi seperti ditujukkan oleh Gambar 3. Jaringan distribusi terdiri 1 bus sumber dan 6 bus beban. Saluran utama distribusi mengguna-kan jenis AAAC dengan luas penampang 150 mm^2, dengan impedansi per km (***z)*** sebesar (0,2162+j0,3305) Ω per-km. Data panjang saluran dan daya beban pada setiap bus ditunjukkan oleh Tabel 1. Total panjang saluran mencapai 112 km, dengan beban tersebar pada 6 bus (titik) pembebanan. Dalam analisis ini, seluruh beban diasumsikan seimbang dan memiliki faktor daya 0,8.

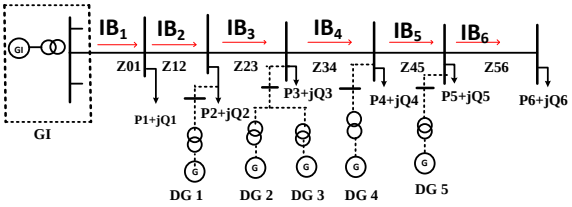


Gambar 3. Konfigurasi jaringan distribusi untuk kasus kajian

Tabel 1. Data saluran dan daya beban

i	L_i (km)	S_i (kVA)
1	30	602,48+ j373,40
2	22	1.363,40+j845,00
3	15	2.979,08+j1.846,35
4	10	3.665,20+j2.271,59
5	15	1.598,68+j990,82
6	20	1.780,24+j1.103,33

Dilokasi kajian terdapat 5 potensi energi terbarukan yang akan dikembangkan sebagai pembangkit tersebar (DG), yang nantinya dapat diintegrasikan ke jaringan distribusi pada 4 lokasi bus (titik beban), yaitu: pada bus ke-3 sebanyak 2 unit dan bus ke-2, 4, dan 5 masing-masing 1 unit. Data kapasitas DG untuk masing-masing unit dimuat dalam Tabel 2. Konfigurasi jaringan distribusi dengan pengintegrasaian DG ditujukkan Gambar 4.



Gambar 4. Konfigurasi jaringan distribusi dengan penetrasi DG untuk kasus kajian ini

Tabel 2. Data DG

DG	P_{DG} (kW)	Bus-Penetrasi
DG_1	3,0	2
DG_2	4,5	3
DG_3	1,4	3
DG_4	1,0	4
DG_5	1,2	5

Kajian yang dilakukan ini menganalisis efek dari rencana penginterasian semua DG pada tabel 2 ke jaringan distribusi. Analisis dilakukan menggunakan program komputer, yang diagram alirnya seperti ditunjukkan Gambar 5. Diagram dapat dibagi 3 langkah. Langkah pertama dilakukan pembacaan data jaringan dan DG. Langkah kedua menentukan kondisi awal tegangan bus, arus injeksi dan arus cabang. Langkah berikutnya menghitung tegangan bus secara iterasi menggunakan persamaan (8) & (9). Proses iterasi akan berakhir jika dicapai nilai $\varepsilon = 0{,}001$.

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

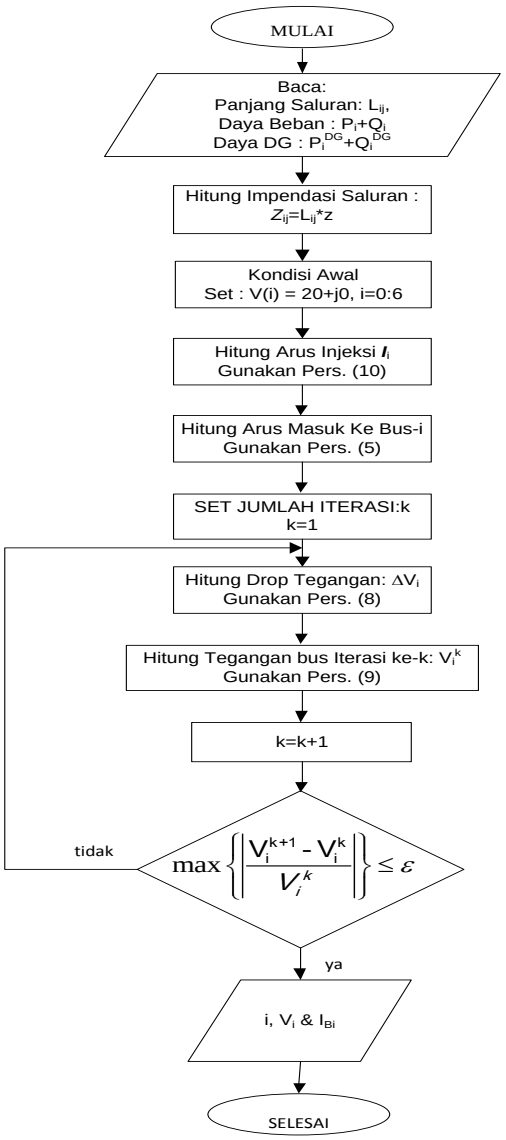
5.1. Tegangan Bus dan Arus Cabang Sebelum Pengintegrasian DG

Hasil analisis dari tegangan bus dan arus cabang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tegangan bus dan arus cabang tanpa pengintegrasian DG.

i	Vll(Bus-i) Volt	Vll(Bus-i) derjat	IB(i) Amper	IB(i) derjat
0	20.000	0.000	-	-
1	17.671	-8.281	299.992	-53.278
2	16.331	-15.437	286.991	-53.888
3	15.683	-20.343	254.501	-54.743
4	15.431	-22.808	180.114	-55.823
5	15.278	-24.648	87.013	-57.135
6	15.183	-25.967	45.982	-57.757

Data dari Tabel 3 terlihat terjadi penurunan tegangan pada masing-masing bus, bus yang tegangannya paling rendah adalah bus yang paling jauh posisi dari bus sumber (bus 6) yaitu 15,183 kV atau terjadi penurunan sebesar 24,085 %. Pada bus 1 telah terjadi penurunan tegangan yang cukup besar yaitu 17,671 kV atau terjadi penurunan sebesar 11,645 %, sementara itu standar maksimum penurunan tegangan jaringan distribusi yang dibolehkan 10 % (18 kV)



Gambar 5. Diagram alir perhitungan efek DG

5.2. Tegangan Bus dan Arus Cabang Setelah Penambahan DG

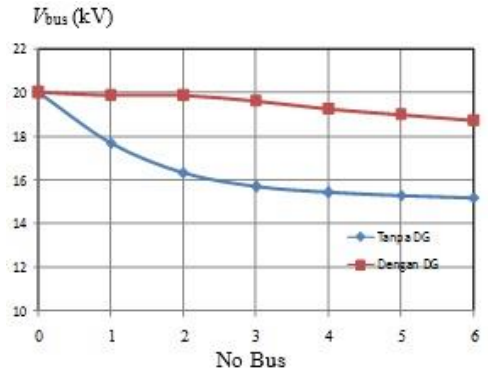
Hasil analisis dari tegangan bus dan arus cabang setelah pengintegrasian DG pada jaringan distribusi diperlihatkan oleh Tabel 3.

Data dari tabel ini menunujukkan bahwa terjadi kenaikan tegangan bus 6 menjadi 18,731 kV atau tereduksinya perosotan tegangan menjadi 6,345 %.

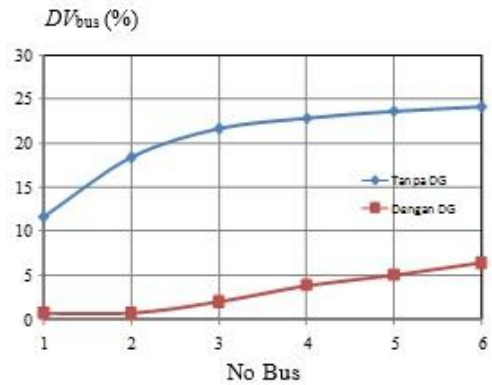
Tabel 4. Tegangan bus dan arus cabang setelah pengintegrasian DG

i	V_{11}(Bus-i)		IB(i)	
	Volt	derjat	Amper	derjat
0	20.000	0.000	-	-
1	19.866	-0.304	14.363	-18.415
2	19.862	-0.403	3.974	26.634
3	19.617	-0.645	43.686	-38.536
4	19.244	-1.104	101.931	-35.040
5	18.999	-1.439	45.509	-33.553
6	18.731	-1.815	37.272	-33.604

5.3. Pembahasan



a. profil tegangan



b. perosotan tegangan bus

Gambar 6. Grafik tegangan bus sebelum dan sesudah pengintegrasian DG

Gambar 6 menunjukan grafik perbandingan tegangan bus antara sebelum dan sesudah pengintegrasian DG pada jaringan distribusi, yang diperoleh dari hasil plot Tabel 3 & 4. Profile tegangan bus sebelum pengintegrasaian DG pada jaringan distribusi semua berada dibawah nilai tegangan yang diizinkan (18 kV), seperti ditunjukkan Gambar 6a. Dari gambar ini juga diperlihatkan bahwa tegangan bus terangkat secara signifikan setelah pengintegrasian DG. Seperti diperlihatkan gambar, setelah pengintegrasian DG semua tegangan pada bus terangkat menelebihi nilai mininum tegangan bus yang diizinkan. Kondisi ini bisa terjadi karena tereduksinya arus cabang pada jaringan distribusi setelah pengintegrasian DG (lihat Tabel 3 & 4). Sejalan dengan profile tegangan, perosotan tegangan bus (*DV* bus) tereduksi secara signifikan dengan pengintegrasian DG pada jaringan distribusi, seperti ditunjukkan oleh Gambar 6b.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

Kajian ini telah berhasil menganalisis efek pengintergarasian beberapa DG pada jaringan distribusi. Untuk kasus yang diberikan, pengintegrasian 5 unit DG dapat memperkecil nilai maksimum perosotan tegangan jaringan distribusi dari 24,085% menjadi 6,345%.

Metoda ini dapat digunakan untuk menganalisis efek pengintegrasian DG secara global dan cepat, namun relatif kurang detail dan akurat. Untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih baik disaran merinci titik-titik beban untuk setiap bus sampai ke pembebanan trafo distribusi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Ackermann Thomas, Andersson Goran, Soder Lennart, "Distributed generation: a definition", Electric Power Systems Research 57 (2001), pp. 195–204.

[2] Rujula Bayod A.A, Armada Mur J, Agustin Bernal J.L, Loyo Justa J.M, Navarro Dominguez, "Definitions for Distributed Generation: a revision" Centro Politécnico Superior, University of Zaragoza C/ María de Luna, April 2004.

[3] Thornton Alexander, Monroy Rodriguez Carlos" Distributed power generation in the United States" Department of

Business Administration, School of lndustrial Engineering, Universidad Politécnica de Madrid, Januari 2005.

[4] Chiradeja Pathomthat," An Approach to Quantify the Technical Benefits of Distributed Generation" IEEE Transactions On Energy Conversion, Vol. 19, NO. 4, Desember 2004.

[5] Hung Quoc Duong, Mithulananthan Nadarajah," Multiple Distributed Generator Placement in Primary Distribution Networks for Loss Reduction" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 60, No.4, April 2013.

[6] Naik S Gopiya, Khatod D.K, and Sharma M.P." Distribusi Generation Impact on Distribution Networks: A Review" International Journal of Electrical and Electronics Engineering (*IJEEE*) ISSN (*PRINT*): 2231 – 5284, Vol-2, Iss-1, 2012.

[7] Fereidauni Reza Ali,Nafisi Hamed, Garmrudi, Dezaki Hashemi Hamed" The Effect of Distributed Generation in Distribution Network on Coordination of Protective Devices" International Review on Modelling and Simulations (I.RE.MO.S.), Vol. 4, No. 4, August 2011.

[8] Nazir Refdinal, Topan Ahmad "Analisis Manfaat Teknis Pengintegrasian PLTM Tersebar pada Sistem Distribusi (Studi kasus pada perencanaan Pembangunan PLTM Muaro Sako di Wilayah Kerja PLN Ranting Balai Selasa, Kabupaten Pesisir Selatan Sumatera Barat)", Proceeding APTECS, Surabaya, 2009.

[9] Mohamed Shaaban dan J. O. Petinrin, "Sizing and siting of distributed generation in distribution systems for voltage improvement and loss reduction", International Journal of Smart Grid and Clean Energy, vol. 2, no. 3, October 2013, pp. 350-356.

[10] Thakur, T. dan Dhiman Jaswanti, "A new Approach to Load Flow Solutions. For Radial Distribution System". IEEE PES Transmission and Distribution Conferense and Exposition Latin America. Venezuela, 2006.

Biodata Penulis

Eka Fitrianto, lahir di Padang tanggal 29 Agustus 1978, mahasiswa Pasca Sarjana Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang, Saat ini berperanan sebagai Fungsional Pranata Laboratorium Pendidikan (PLP) Ahli Muda di Laboratorium Konversi Energi Elektrik Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Andalas.