

ANALISIS PENAMBAHAN DISTRIBUTED GENERATION (DG) DENGAN METODE BACKWARD FORWARD SWEEP PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL TERHADAP RUGI DAYA DAN PROFIL TEGANGAN (STUDI KASUS PADA PENYULANG WATU ULO JEMBER)

(ANALYSIS OF ADDITIONAL DISTRIBUTED GENERATION (DG) USING BACKWARD FORWARD SWEEP METHOD IN RADIAL DISTRIBUTION SYSTEM WITH IMPACT OF POWER LOSS AND VOLTAGE PROFILE (CASE STUDY ON FEEDERS WATU ULO JEMBER))

Singgih Adhiyatma, Azmi Saleh, Supriyadi Prasetyono
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember (UNEJ)
Jln. Kartini 4/2 Rambipuji, Jember 68152
E-mail: sadhiyatma@gmail.com

Abstrak

Restrukturalisasi pasar listrik, perbaikan dalam teknologi produksi energi dan krisis energi telah membuka jalan untuk instalasi pembangkit distribusi tersebar atau sering dinamakan Distributed Generation (DG). Instalasi unit DG memiliki dampak positif diantaranya perbaikan profil tegangan, penurunan rugi-rugi daya dan dampak negatif seperti peningkatan tingkat terjadinya arus pendek. Dampak-dampak ini tergantung pada jenis, kapasitas dan penempatan sumber daya tersebut. Sehingga pada tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis aliran daya sebelum dan sesudah penempatan DG serta melihat dampaknya terutama pada perubahan profil tegangan serta rugi daya. Analisa dan evaluasi aliran daya sangatlah penting untuk diteliti. Begitu pula pada jaringan distribusi radial. Dalam sistem distribusi radial ini banyak permasalahan yang terjadi salah satunya adalah ketidakstabilan beban. Pada tugas akhir ini, beban mengalami perubahan sehingga diperlukan metode aliran daya yang sesuai dengan adanya perubahan tegangan. Sudah banyak algoritma aliran daya yang dipakai seperti metode gauss siedel, metode newton raphson maupun metode fast decoupled. Manum metode-metode tersebut tidak selalu dapat dipakai terutama pada sistem distribusi radial yang memiliki perbandingan R/X yang tinggi serta memiliki perubahan beban yang tinggi. Sehingga metode Backward Forward Sweep sangatlah cocok untuk menganalisa perubahan beban yang setiap saat berubah.

Kata Kunci: *Distributed Generation, Backward Forward Sweep, aliran daya, beban sensitif, system distribusi radial.*

Abstract

The restructuring electricity market, improvements in the technology of energy production and energy crisis has paved the way for the installation of dispersed generation or distribution is often called the Distributed Generation (DG). Installation of DG units have such a positive impact improved voltage profile, reduction in power losses and negative impacts such as increased levels of short circuit. These effects depend on the type, capacity and placement of such resources. So at this thesis aims to analyze the power flow before and after placement of DG and see its effects mainly on changes in the voltage profile and power losses. Analysis and evaluation of power flow is very important to study. Similarly, the radial distribution network. In radial distribution system, many problems occurred one of which is the instability of the load. In this thesis, the burden of the necessary changes so that the power flow method in accordance with the change in voltage. There have been many power load flow algorithm is used as siedel Gauss method, Newton Raphson method and Fast Decoupled methods. Manum these methods can not always be used especially on radial distribution system which has a ratio R / X high and has a high load changes. So the Backward Forward Sweep method is suitable for analyzing the load change at any time change.

Keywords: *Distributed Generation, Backward Forward Sweep, power flow, sensitive load, radial distribution system .*

PENDAHULUAN

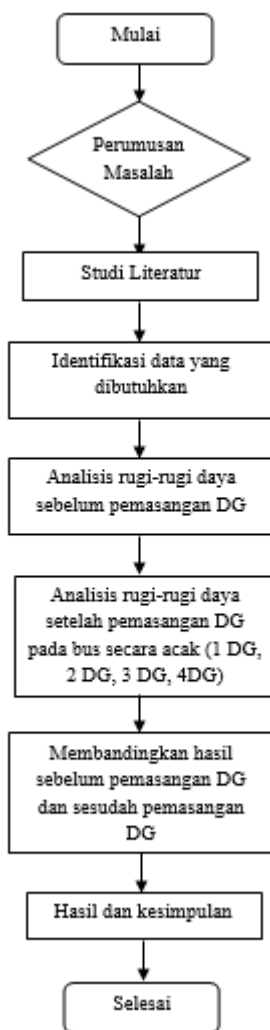
Restrukturalisasi pasar listrik, perbaikan dalam teknologi produksi energi dan krisis energi telah membuka jalan untuk instalasi pembangkit distribusi tersebar atau sering dinamakan Distributed Generation (DG) [1]. Instalasi unit DG memiliki dampak positif diantaranya perbaikan profil tegangan, penurunan rugi-rugi daya dan dampak negatif

seperti peningkatan tingkat terjadinya arus pendek. Dampak-dampak ini tergantung pada jenis, kapasitas dan penempatan sumber daya tersebut [2]. Sehingga pada tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis aliran daya sebelum dan sesudah penempatan DG serta melihat dampaknya terutama pada perubahan profil tegangan serta rugi daya. Analisa dan evaluasi aliran daya sangatlah penting untuk diteliti [3].

Begitu pula pada jaringan distribusi radial. Dalam sistem distribusi radial ini banyak permasalahan yang terjadi salah satunya adalah ketidakstabilan beban. Pada tugas akhir ini, beban mengalami perubahan sehingga diperlukan metode aliran daya yang sesuai dengan adanya perubahan tegangan. Sudah banyak algoritma aliran daya yang dipakai seperti metode gauss siedel, metode newton raphson maupun metode fast decoupled. Manum metode-metode tersebut tidak selalu dapat dipakai terutama pada sistem distribusi radial yang memiliki perbandingan R/X yang tinggi serta memiliki perubahan beban yang tinggi. Sehingga metode Backward Forward Sweep sangatlah cocok untuk menganalisa perubahan beban yang setiap saat berubah [4].

METODE PENELITIAN

Pada metode penelitian kali ini disajikan *flowchart* diagram sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada Gambar 1 metodologi penelitian yang dilakukan ialah menganalisis aliran daya sebelum penambahan DG dengan menggunakan metode *Backward Forward Sweep* sebagai berikut :

Untuk menghitung arus cabang didapatkan dari hubungan

daya kompleks dan tegangan pada setiap bus, seperti persamaan dibawah ini :

$$I_i(k) = conj \frac{P_i + jQ_i}{V_i(k)}$$

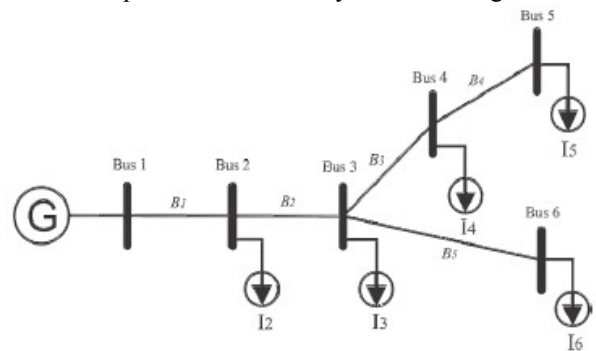
Dimana :

$I_i(k)$ = arus pada bus i saat iterasi ke-k

$V_i(k)$ = tegangan pada bus i saat iterasi ke-k

Sebelum mengimplementasikan metode forward backward sweep diperlukan memodifikasi perhitungan untuk memudahkan dalam membentuk persamaan dan proses iterasi. Salah satunya adalah dengan membentuk matrik BIBC (Bus Injection to Branch Current). Matrik BIBC (Bus Injection to Branch Current) adalah matrik hubungan antara arus dan saluran pada sistem distribusi [5].

Contoh gambar single line diagram untuk pembentukan matrik untuk persamaan aliran daya adalah sebagai berikut :



Gambar 2. Single Line Diagram Sistem 6 Bus

Dari gambar *single line diagram* diatas didapatkan persamaan untuk membentuk matrik BIBC, dengan menggunakan hukum *Kirchoff* untuk arus (*Kirchoff Current Law*). Arus cabang I terhadap bus/saluran B. Maka persamaan yang didapat adalah seperti berikut :

$$\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{bmatrix}$$

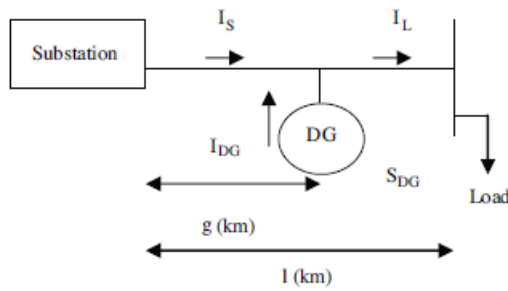
Kemudian didapatkan persamaan untuk drop tegangan pada setiap bus adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} V_1 - V_2 \\ V_1 - V_3 \\ V_1 - V_4 \\ V_1 - V_5 \\ V_1 - V_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & 0 & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & Z_{34} & Z_{45} & 0 \\ Z_{12} & Z_{23} & 0 & 0 & Z_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \end{bmatrix}$$

Dengan didapatkan matrik BIBC, BCBV dan ΔV kita dapat menghitung nilai tegangan pada setiap bus. Persamaan untuk menghitung nilai tegangan pada setiap bus adalah sebagai berikut :

$$[V_i] = [V_i] - [\Delta V]$$

Metode Backward Forward Sweep digunakan untuk menganalisis aliran daya sebelum penambahan DG, setelah DG mulai ditambahkan maka akan terjadi perubahan pada sistem seperti pada gambar berikut :



Gambar 3. Sistem Setelah Penambahan DG

Sehingga akan terjadi perubahan pada sistem, dari gambar tersebut dapat diperoleh persamaan rugi dayanya sebagai berikut [6].

$$\Delta P_{loss} = \frac{rg \cdot (|S_L^* \cdot V_{DG}^* - S_{DG}^* \cdot V_L^*|^2 - |S_L^* \cdot V_{DG}^*|^2)}{3(|V_L^*| \cdot |V_{DG}^*|)^2}$$

Dimana :

- r = resistansi per saluran (ohm)
- g = panjang saluran (km)
- S_L = Daya nyata beban (VA)
- S_{DG} = Daya Nyata DG (VA)

Untuk persamaan profil tegangannya adalah sebagai berikut :

$$|\Delta V_L| = \frac{\sqrt{r^2 + x^2} \cdot g \cdot |S_{DG}|}{3|V_{DG}|}$$

Dimana :

- r = resistansi per saluran (ohm)
- g = panjang saluran (km)
- x = reaktansi per saluran
- S_{DG} = Daya Nyata DG (VA)

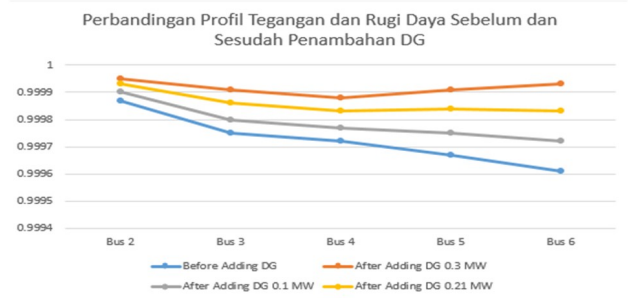
HASIL PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan disajikan data-data sebelum penambahan DG dengan sistem 6 dan sistem 75 bus kemudian setelah penambahan DG akan dibagi lagi menjadi 3 bagian yaitu yang pertama penambahan DG dengan daya aktif yang melebihi daya aktif beban, yang kedua adalah penambahan DG dengan daya aktif kurang dari daya aktif beban dan yang ketiga adalah penambahan DG dengan daya aktif sama dengan daya aktif beban. Lalu daridata-data yang diperoleh akan dibandingkan kondisi sebelum dan sesudah penambahan DG dalam bentuk grafik.

Tabel 1. Data sebelum dan setelah penambahan DG

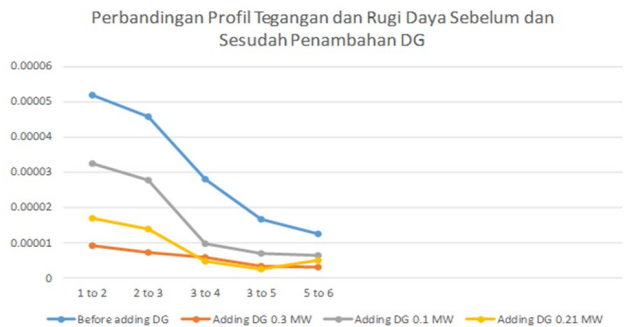
Kasus	Bus x ke Bus y	PLoss (MW)	QLoss (MVar)	Tegangan (V)
Sebelum Penambahan DG	1 ke 2	0.0000518	0.00002540	0.99987
	2 ke 3	0.0000459	0.00002251	0.99975
	3 ke 4	0.0000028	0.00000135	0.99972

DG 0.3 MW	3 ke 5	0.0000167	0.00000822	0.99967
	5 ke 6	0.0000125	0.00000615	0.99961
	1 ke 2	0.0000091	0.0000045	0.99995
	2 ke 3	0.0000071	0.0000035	0.99991
	3 ke 4	0.0000028	0.0000014	0.99988
	3 ke 5	0.0000167	0.0000017	0.99991
DG 0.1 MW	5 ke 6	0.0000167	0.0000017	0.99991
	1 ke 2	0.00003235	0.00001587	0.99990
	2 ke 3	0.00002777	0.00001362	0.99980
	3 ke 4	0.00000281	0.00000138	0.99977
	3 ke 5	0.00000698	0.00000343	0.99975
	5 ke 6	0.00000405	0.00000199	0.99972
DG 0.21 MW	1 ke 2	0.0000518	0.00002540	0.99987
	2 ke 3	0.0000459	0.00002251	0.99975
	3 ke 4	0.0000028	0.00000135	0.99972
	3 ke 5	0.0000167	0.00000822	0.99967
	5 ke 6	0.0000125	0.00000615	0.99961



Gambar 4. Grafik Perbandingan Profil Tegangan

Selanjutnya akan disajikan grafik hubungan antara rugi daya sebelum dan setelah penambahan DG.

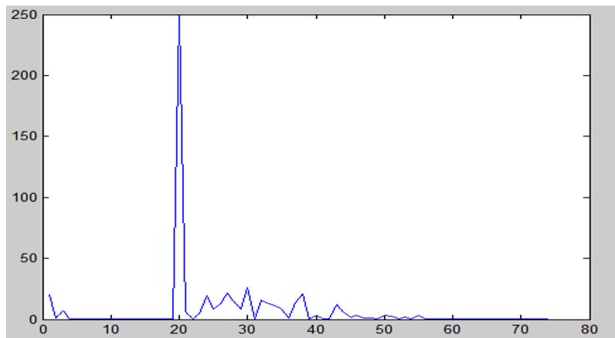


Gambar 5. Grafik Rugi Daya sebelum dan sesudah penambahan DG

Analisis Sistem 75 Bus Sebelum Penambahan DG Menggunakan MATLAB

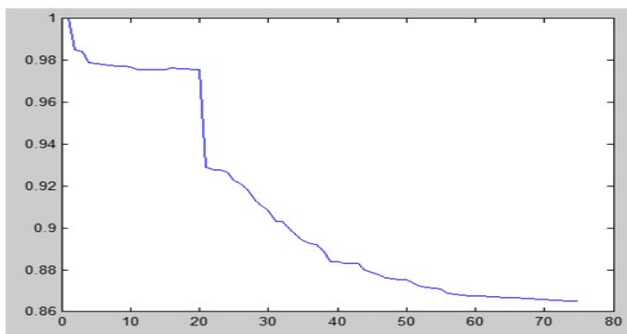
Setelah dilakukan run program dari MATLAB didapatkan total *power losses* pada daya aktif (P) pada system 75 bus sebesar 529.3289 kW sedangkan total *power losses* pada daya reaktif (Q) sebesar 534.4494 kVar. Dari hasil *losses* daya aktif dan daya reaktif didapatkan bahwa nilai rugi daya terbesar terletak pada bus 20 dengan rugi

daya mencapai 249.2220 kW dan 227.8950 kVar, nilai rugi daya terbesar pada bus 20 disebabkan karena impedansi dan reaktansi terbesar terletak pada bus 20 terutama pada bus 1 ke bus 21 yaitu dengan resistansi sebesar 0.9781 pu dan reaktansi sebesar 0.8944. Jika kita menghitung secara manual maka total power losses pada daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) didapatkan perubahan rugi daya yang disajikan pula dalam bentuk grafik pada workspace MATLAB berikut:



Gambar 6. Perubahan rugi daya aktif (P losses) dengan sistem 75 bus

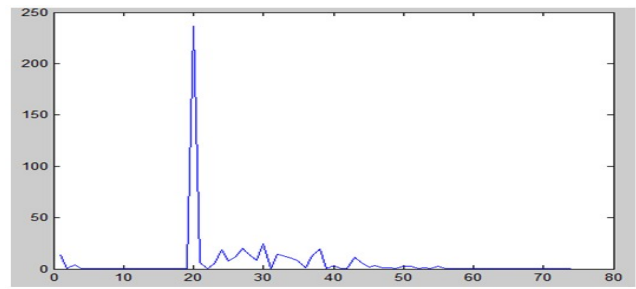
Dari hasil run program MATLAB di atas didapatkan bahwa untuk mendapatkan profil tegangan digunakan *elapsed time* sebesar 0.207704 detik dengan iterasi sebanyak 4 kali dan *power mismatch* sebesar 0.0001. Hasil dari perubahan profil tegangan disajikan pula dalam bentuk grafik *workspace* MATLAB sebagai berikut :



Gambar 7. Perubahan profil tegangan pada sistem 75 bus

Analisis Sistem 75 Bus Setelah Penambahan DG Menggunakan MATLAB

Setelah dilakukan run program dari MATLAB pada didapatkan total *power losses* pada daya aktif (P) pada system 75 bus sebesar 489.2468 kW sedangkan total power losses pada daya reaktif (Q) sebesar 496.6131 kVar. Dari hasil losses daya aktif dan daya reaktif didapatkan bahwa nilai rugi daya terbesar terletak pada bus 20 dengan rugi daya mencapai 236.2678 kW dan 216.2835 kVar, nilai rugi daya terbesar pada bus 20 disebabkan karena impedansi dan reaktansi terbesar terletak pada bus 20 terutama pada bus 1 ke bus 21 yaitu dengan resistansi sebesar 0.9781 pu dan reaktansi sebesar 0.8944. Jika kita menghitung secara manual maka total power losses pada daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Untuk hasil perubahan rugi disajikan pula dalam bentuk grafik pada workspace MATLAB berikut :



Gambar 8. Perubahan rugi daya aktif (P losses) dengan sistem 75 bus setelah penambahan DG

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh beberapa kesimpulan Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *backward forward sweep* dapat digunakan untuk menganalisis aliran daya pada sistem distribusi dengan beban sensitif tegangan maupun rugi-ruginnya. Pengujian validasi antara MATLAB dengan metode *backward forward* simulasi *Powersim* didapatkan hasil dengan tujuan yang sama yaitu terjadinya penurunan *losses* dan peningkatan profil tegangan. Dengan Penambahan DG dengan daya 0.3 MW mengalami penurunan rugi daya terbesar dan mengalami kenaikan profil tegangan yang lebih bagus daripada DG dengan daya 0.21 MW maupun 0.1 MW. Sedangkan dengan menggunakan metode *backward forward sweep* pada MATLAB, terdapat 2 bus yang mengalami rugi daya terbesar dikarenakan impedansi antar saluran yang tinggi yaitu antara bus 1-2 dengan nilai rugi daya mencapai 20.3308 kW 18.6238 kVar dengan nilai impedansi antar saluran mencapai $0.9826 + i0.9001$ pu dan yang kedua adalah antar saluran bus 1-21 dengan nilai rugi daya mencapai 249.220 kW 227.8950 kVar dengan nilai impedansi saluran mencapai $0.9781 + i0.8944$ pu. Penurunan rugi daya terkecil dan kenaikan profil tegangan terkecil terjadi pada saat penambahan DG dengan kapasitas kurang dari daya aktif beban yaitu 0.1 MW. Semakin besar kapasitas DG yang ditambahkan maka akan semakin bagus pula peningkatan profil tegangannya dan memperkecil rugi daya akan tetapi kapasitas DG yang ditambahkan pada penelitian ini dibatasi hanya sampai 1 MW. Model sistem setelah penambahan DG yang telah disimulasikan melalui Powesim, menempatkan DG pada ujung bus yaitu pada bus 6, sehingga dengan penambahan DG pada ujung bus akan terlihat perubahan arus, tegangan maupun rugi dayanya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Coster, E.J., 2010, "Distribution Grid Operation Including Distributed Generation", Eindhoven University of Technology.
- [2] Martinez, L., Gallery, T., Klopotan, D., "Impact of Distributed Generation on Distribution Network Protection", ESBI Engineering and Faculty Management, Ireland.
- [3] Ahmad Memaripour, "Power Flow in Distribution System with Consideration of Distributed Generation"
- [4] Paulo M. De Oliveira-De Jesus, Member IEEE. "The Standart Backward / Forward Sweep Power Flow"

- [5] Sivkumar Mishra, "A Simple Algorithm For Unbalanced Radial Distribution System Load Flow"
- [6] P.P. Barker, R.W. de Mello, Determining the impact of distributed generation on power systems. Part 1. Radial distribution systems, in: IEEE PES Summer Meeting, vol. 3, 2000, pp. 1645–1656