

## PENGARUH PEMASANGAN DISTRIBUTED GENERATION TERHADAP PROFIL TEGANGAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI

### EFFECT OF APPLYING DISTRIBUTED GENERATION TO VOLTAGE PROFILE AT DISTRIBUTED NETWORK

Fitrizawati <sup>1)</sup>, Suharyanto<sup>2)</sup>, M. Isnaeni BS <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto

<sup>2)</sup> Teknik Elektro dan Teknologi Informatika,  
Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

<sup>1)</sup> [fitrizawati@gmail.com](mailto:fitrizawati@gmail.com) ,

<sup>2)</sup> [suharyanto@te.ugm.ac.id](mailto:suharyanto@te.ugm.ac.id),

<sup>3)</sup> [isnaeni@te.ugm.ac.id](mailto:isnaeni@te.ugm.ac.id)

#### Abstract

*The need for electrical energy is increasing, as more extensive network of electric power due to greater demand, as well as the distance between the centers of power to the load centers will lead to a reduction in power, because in the delivery of power from the generator to the consumer or customers there is a power loss and voltage drop. To overcome this, there is one solution that can be used to install the Distributed Generation (DG) on distribution networks. The focus of research is to see how the influence of DG before installation and after installation of DG on power distribution systems to improve voltage profile and power losses in distribution networks with variable injection and location. DG potential used is 3 pieces of micro power plants. Testing is done by simulation using ETAP Power Station 6.0 software. The simulation results show before the installation of DG voltage at the end of the network having a voltage drop of 7.06%, after the installation of DG with the injection of 85% of total capacity in section 8, the voltage drop to 1.12% successfully repaired.*

*Key words: Distributed Generation, Voltage Profile*

#### 1. Pendahuluan

Pada umumnya energi listrik yang dihasilkan oleh pusat-pusat pembangkit tenaga listrik letaknya jauh dari pusat-pusat beban. Energi listrik yang dihasilkan tersebut akan disalurkan ke pusat-pusat beban melalui jaringan transmisi dan distribusi. Jarak yang cukup jauh tersebut akan menyebabkan pengurangan daya, karena dalam pengiriman daya dari pembangkit sampai ke konsumen atau pelanggan terdapat rugi-rugi daya dan juga penurunan tegangan. Untuk mengatasinya, ada salah satu solusi

yang cukup menjanjikan yakni dengan memasang *distributed generation (DG)* atau pembangkit terdistribusi yang memiliki kapasitas daya yang lebih kecil dari pembangkit utamanya..

*Distributed Generation (DG)* atau pembangkit terdistribusi merupakan gabungan dari pemanfaatan sumber energi fosil dan non fosil. DG menghasilkan daya listrik yang berbeda-beda, karena pembangkit ini disesuaikan dengan potensi yang ada di wilayah sekitarnya. Dekatnya pembangkit dengan pusat beban menyebabkan efisiensi pada distribusi,

jaringan transmisi, biaya operasional dan sedikitnya *losses* yang terjadi.

*Distributed Generation* (DG) adalah pembangkit listrik yang secara langsung dihubungkan dengan jaringan distribusi atau secara langsung terhubung dengan beban. DG ini tidak terpusat pada satu tempat saja seperti halnya *power plant-power plant* yang besar melainkan dapat didistribusikan sepanjang saluran distribusi sesuai dengan potensi yang dimiliki tiap daerah.

Interkoneksi *distributed generation* ke dalam jaringan distribusi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kualitas jaringan distribusi tenaga listrik yang meliputi : aliran daya, perbaikan profil tegangan, peningkatan kehandalan, dan penurunan rugi daya. Sebagian besar jaringan distribusi tenaga listrik dirancang sedemikian rupa sehingga aliran daya mengalir dalam satu arah. Penerapan *distributed generation* memberikan sumber energi listrik tambahan pada suatu jaringan distribusi tenaga listrik.

## 2. Tinjauan Pustaka

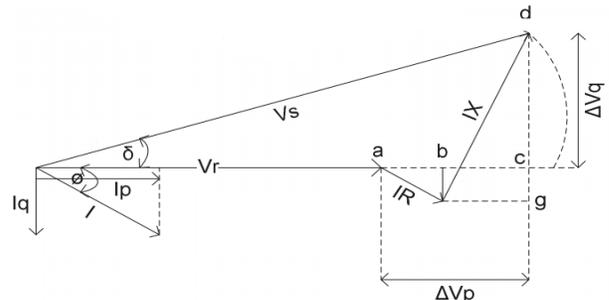
### 2.1. Pengaruh Pemasangan DG Terhadap Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus terhadap panjang saluran dan beban, serta berbanding terbalik terhadap luas penampang penghantar.

Beban sistem sangat bervariasi dan nilainya selalu berubah sepanjang waktu. Bila beban meningkat maka tegangan pada ujung penerima menurun dan sebaliknya bila beban berkurang maka tegangan pada ujung terima akan mengalami kenaikan.

Faktor lain yang ikut mempengaruhi perubahan tegangan sistem adalah rugi-rugi daya yang disebabkan oleh impedansi seri penghantar dan rugi-rugi pada trafo distribusi, rugi daya ini menyebabkan jatuh tegangan. Konsumen yang letaknya jauh dari sumber cenderung menerima tegangan yang relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan konsumen yang letaknya dekat dengan pusat pelayanan atau sumber.

Penurunan persamaan jatuh tegangan dapat ditentukan dari gambar diagram fasor transmisi daya pada gambar 1 dibawah



Gambar 1 Diagram fasor transmisi daya ke beban seri.

Umumnya beban konsumen bersifat resistif-induktif, dimana beban ini akan menyerap daya aktif dan daya reaktif yang dihasilkan oleh generator. Persamaan jatuh tegangan seperti pada persamaan 2.1

$$V_s^2 = (V_r + \Delta V_p)^2 + (\Delta V_q)^2 \quad (1)$$

dimana :

$V_s$  = tegangan ujung kirim

$V_t$  = tegangan ujung terima

$\Delta V_p$  = jatuh tegangan

=  $I.R \cos \theta + I.X \sin \theta$ , dan

$\Delta V_q = I.R \cos \theta - I.X \sin \theta$

Sehingga persamaan tegangan di sisi ujung kirim  $V_s$  menjadi :

$$V_s^2 = (V_r + IR \cos \Theta + IX \sin \Theta)^2 + (IR \cos \Theta - IX \sin \Theta)^2 \quad (2)$$

karena nilai  $\Delta V_q$  sangat kecil, maka nilai tersebut dapat diabaikan, maka persamaan (2) menjadi :

$$V_s^2 = (V_r + IR \cos \Theta + IX \sin \Theta)^2 \quad (3)$$

$$\Delta V_p = IR \cos \Theta + IX \sin \Theta \quad (4)$$

$$\Delta V_p = R \frac{P}{V_r} + X \frac{Q}{V_r} \quad (5)$$

dengan :

R = resistansi saluran

X = reaktansi saluran

P = daya aktif yang dikirim ke beban

Q = daya reaktif yang dikirim ke beban

DG dihubungkan pada titik sebelum tegangan *substation* menengah melalui saluran dengan impedansi

$Z_{ij} = R_{ij} + jX_{ij}$ .  $U_i$  dan  $U_j$  adalah masing-masing tegangan pengirim dan penerima. Besar daya yang diinjeksikan oleh DG adalah :

$$S_i = P_i + jQ_i = (P_{DG} + jQ_{DG}) - (P_{Lj} + jQ_{Lj}) \quad (6)$$

dengan :

$S_i$  = daya yang diinjeksikan DG ke dalam

jaringan

$P_{DG}$  dan  $Q_{DG}$  = daya aktif dan reaktif yang

dibangkitkan DG

$P_{Lj}$  dan  $Q_{Lj}$  = daya aktif dan reaktif

beban

dimana :

$$S_i = U_j I_i^* \quad (7)$$

$$I = \frac{(P_i - jQ_i)}{U_j^*} \quad (8)$$

$$\text{maka : } U_j = U_i + I_i Z_{ij}$$

$$U_j = U_i + \frac{(R_{ij} + jX_{ij})(P_i - jQ_i)}{U_j^*} \quad (9)$$

Ketika sudut fasa ( $\delta$ ) antara  $U_i$  dan  $U_j$  sangat

kecil maka  $\frac{(R_{ij} + jX_{ij})(P_i - jQ_i)}{U_j^*}$

juga akan sangat kecil dan dapat diabaikan, sehingga kenaikan tegangan menjadi :

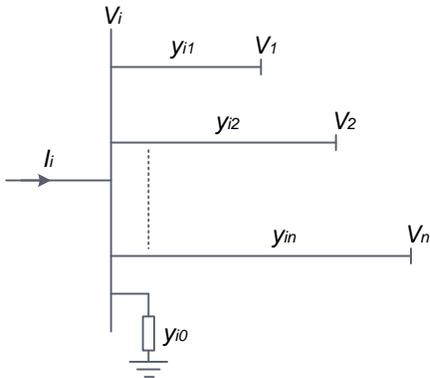
$$\Delta V = \frac{(P_i R_{ij} + Q_i X_{ij})}{U_j^*} \quad (10)$$

$$\Delta V = \frac{(P_{DG} - P_{Lj})R_{ij} + (Q_{DG} - Q_{Lj})X_{ij}}{U_j^*} \quad (11)$$

Interkoneksi DG dalam jaringan tenaga listrik akan mengubah aliran daya aktif dan reaktif, dan karenanya akan mengubah jatuh tegangan sepanjang jaringan. Injeksi daya dari DG ke dalam sistem tenaga akan menggantikan arus beban sehingga dapat mengurangi jatuh tegangan pada setiap komponen. DG dapat menginjeksi daya reaktif kapasitif ke dalam sistem tenaga atau menarik daya reaktif induktif dari sistem tenaga.

## 2.2. Persamaan Aliran Daya

Model sebuah rel dari suatu sistem tenaga listrik seperti diperlihatkan pada gambar 2 berikut ini. Impedansi pada sistem telah dirubah menjadi admitansi perunit (pu).



Gambar 2 Tipikal Bus Dalam Sistem Tenaga

Dari hukum arus Kirchoff diperoleh persamaan :

$$I_1 = y_{10}V_i + y_{11}(V_i - V_1) + y_{12}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \quad (15)$$

atau :

$$I_1 = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad j \neq i \quad (16)$$

Daya aktif dan reaktif pada rel adalah :

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (17)$$

Atau

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (18)$$

Substitusi persamaan (18) kedalam persamaan (16), diperoleh :

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad j \neq i \quad (19)$$

Dari hubungan di atas nampak bahwa perumusan matematis dari masalah aliran daya menghasilkan sistem persamaan aljabar *nonlinier* yang harus dipecahkan dengan teknik iterasi.

### 2.3. Aliran Daya dengan Metode Iterasi Gauss-Seidel

Pada metode Gauss-Seidel persamaan (19) dipecahkan untuk  $V_i$ , sehingga iterasinya menjadi :

$$V_i^{(k+1)} = \frac{\frac{P_i^{sch} - jQ_i^{sch}}{V_i^{*(k)}} + \sum y_{ij}V_j^{(k)}}{\sum y_{ij}} \quad j \neq i \quad (20)$$

Jika persamaan (2.19) dipecahkan untuk  $P_i$  dan  $Q_i$ , diperoleh :

$$P_i^{(k+1)} = \text{Re} \left( V_i^{*(k)} \left[ V_i^{(k)} \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j^{(k)} \right] \right) \quad j \neq i \quad (21)$$

$$Q_i^{(k+1)} = -\text{Im} \left( V_i^{*(k)} \left[ V_i^{(k)} \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j^{(k)} \right] \right) \quad j \neq i \quad (22)$$

Dalam matriks admitansi rel,  $Y_{ij} = -y_{ij}$  dan  $Y_{ii} = \sum y_{ij}$ . Sehingga persamaan (20) menjadi :

$$V_i^{(k+1)} = \frac{\frac{P_i^{sch} - jQ_i^{sch}}{V_i^{*(k)}} + \sum Y_{ij}V_j^{(k)}}{Y_{ii}} \quad j \neq i \quad (23)$$

dan

$$P_i^{(k+1)} = \text{Re} \left( V_i^{*(k)} \left[ V_i^{(k)}Y_{ii} + \sum_{j=1}^n Y_{ij}V_j^{(k)} \right] \right) \quad j \neq i \quad (24)$$

$$Q_i^{(k+1)} = -\text{Im} \left( V_i^{*(k)} \left[ V_i^{(k)}Y_{ii} + \sum_{j=1}^n Y_{ij}V_j^{(k)} \right] \right) \quad j \neq i \quad (25)$$

## 2.4. Aliran dengan Metode Iterasi Newton Raphson

Persamaan arus (16) pada persamaan sebelumnya dapat diubah kedalam Persamaan polar (27).

$$I_1 = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j$$

$$I_1 = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (27)$$

Persamaan (2.27) dapat disubstitusikan kedalam Persamaan daya (2.6) pada Persamaan sebelumnya menjadi Persamaan (2.28).

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_1$$

$$V_i^* = |V_i| \angle -\delta_i \quad V_i^* = \text{conjugate dari } V_i$$

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j$$

$$P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} - \delta_i + \delta_j \quad (28)$$

dimana :

$$e^{j(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j)} \cong \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) + j \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (29)$$

Persamaan (28) dan persamaan (29) dapat diketahui persamaan daya aktif (30) dan persamaan daya reaktif (31).

$$P_i^{(k)} = \sum_{j=1}^n |V_i^{(k)}| |Y_{ij}| |V_j^{(k)}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad (30)$$

$$Q_i^{(k)} = - \sum_{j=1}^n |V_i^{(k)}| |Y_{ij}| |V_j^{(k)}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i^{(k)} + \delta_j^{(k)}) \quad (31)$$

Hasil perhitungan aliran daya menggunakan persamaan (30) dan persamaan (31) dengan nilai  $P_i^{(k)}$  dan  $Q_i^{(k)}$ . Hasil nilai ini digunakan untuk menghitung nilai  $\Delta P_i^{(k)}$  dan  $\Delta Q_i^{(k)}$ .

Menghitung nilai  $\Delta P_i^{(k)}$ , dan  $\Delta Q_i^{(k)}$  menggunakan persamaan (32) dan persamaan (33).

$$\Delta P_i^{(k)} = P_{i,scd} - P_{i,calc}^{(k)} \quad (32)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_{i,scd} - Q_{i,calc}^{(k)} \quad (33)$$

Hasil perhitungan  $\Delta P_i^{(k)}$ , dan  $\Delta Q_i^{(k)}$ , digunakan untuk matriks Jacobian pada persamaan (34) dibawah ini.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_n^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (34)$$

Secara umum persamaan (34) dapat disederhanakan menjadi persamaan (35).

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(k)} \\ \Delta |V^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (35)$$

## 3. Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pemasangan *distributed generation* terhadap profil tegangan pada jaringan distribusi,

dengan menggunakan *software* ETAP 6.0.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah :

1. Studi *literatur*, teori-teori pendukung yang terkait dengan topik yang diteliti, baik dari buku-buku teks, makalah maupun artikel-artikel.
2. Pengumpulan data lapangan, data yang diambil yang terkait dengan judul penelitian seperti sumber energi alternatif yang digunakan sebagai *DG*, data jaringan distribusi yang akan dipasang *DG*.
3. Pembuatan pemodelan jaringan distribusi *feeder* (penyulang) MRA01 GI Mrica Banjarnegara sebelum pemasangan *DG*
4. Pembuatan model jaringan distribusi setelah dipasang *DG*, dengan sembilan skenario, yaitu :
  - a. *DG* dipasang pada bus-bar 20 kV
  - b. *DG* dipasang pada *section* 1
  - c. *DG* dipasang pada *section* 2
  - d. *DG* dipasang pada *section* 3
  - e. *DG* dipasang pada *section* 4
  - f. *DG* dipasang pada *section* 5
  - g. *DG* dipasang pada *section* 6
  - h. *DG* dipasang pada *section* 7
  - i. *DG* dipasang pada *section* 8
5. Menentukan kapasitas dan lokasi *DG* yang terhubung ke jaringan sesuai skenario point 4 dengan tingkat injeksi menggunakan persamaan :

$$\% DG \text{ level} = \frac{P_{DG}}{P_{Load}} \times 100 \% \quad (36)$$

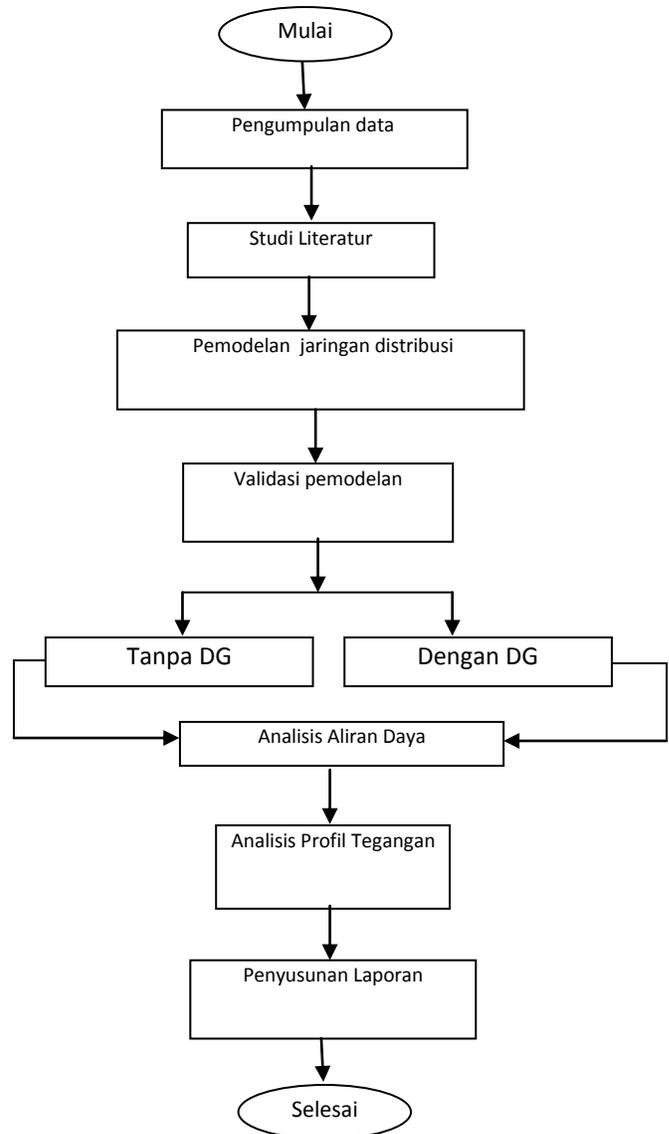
dimana :

% *DG* = tingkat injeksi (penetrasi)

$P_{DG}$  = daya injeksi *DG*

$P_{Load}$  = daya total beban

6. Simulasi dengan menggunakan *software* ETAP 6.0, simulasi yang pertama tanpa memasang *DG*, dan simulasi yang kedua dengan memasang *DG* dengan beberapa skenario.
7. Analisis data
8. Pembuatan laporan

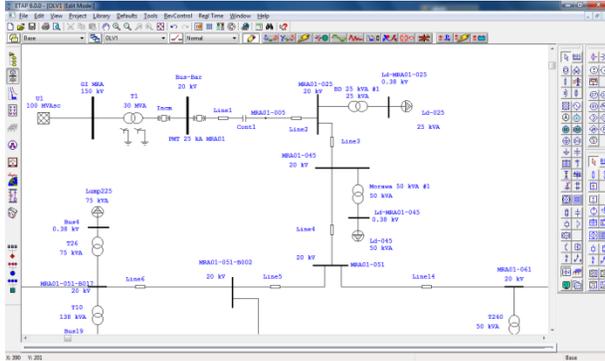


**Gambar 3. Diagram alir penelitian**

#### 4. Hasil dan Pembahasan

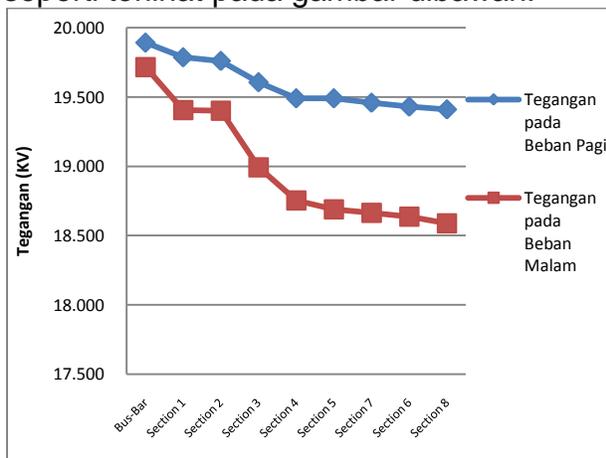
Fokus penelitian adalah dengan melakukan simulasi dengan bantuan *software* ETAP 6.0.

##### 4.1. Profil Tegangan tanpa DG



Gambar 4. Penyulang radial tanpa DG

Sebelum pemasangan *Distributed Generation* (DG) tegangan pada ujung penyulang utama sebesar 92,94% atau terjadi jatuh tegangan sebesar 7,06%. Hal ini disebabkan karena beban pada section 8 ini lebih besar dibandingkan pada section lainnya, selain itu section 8 berada pada ujung penyulang utama. Jadi pembagian beban yang tidak seimbang juga turut mempengaruhi profil tegangan Gambar hasil simulasi seperti terlihat pada gambar dibawah.



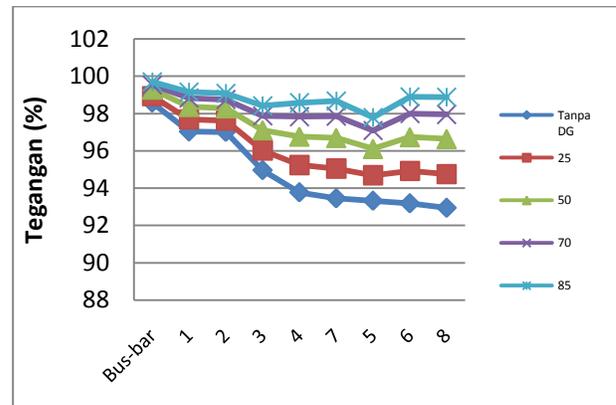
Gambar 5. Profil tegangan tanpa DG

##### 4.2. Profil Tegangan dengan Pemasangan Distributed Generation

Untuk memperbaiki profil tegangan dipasang DG dengan variabel lokasi dan injeksi. Skenario pertama dengan memasang DG pada bus-bar dengan injeksi diberikan sebesar 25%, 50%, 70%, dan 85%, terjadi perbaikan profil tegangan, setiap penambahan nilai injeksi perbaikan profil tegangan cenderung naik.

Dari Sembilan skenario yang dilakukan hasil perbaikan profil tegangan yang signifikan terjadi pada saat DG dipasang pada ujung penyulang utama (section 8) dengan nilai injeksi diberikan sebesar 85% dari kapasitas DG berhasil memperbaiki profil tegangan, menjadi 98,88% atau hanya mengalami jatuh tegangan sebesar 1,12%.

Jadi lokasi dan besarnya injeksi yang diberikan sangat mempengaruhi profil tegangan. Hasil simulasi dengan pemasangan DG pada ujung penyulang utama seperti terlihat pada gambar 6.



Gambar 6. Profil tegangan dengan pemasangan DG

## 5. Kesimpulan

Dari simulasi dan analisis hasil penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan, sebagai berikut :

1. Sebelum pemasangan *distributed generation* (DG) pada penyulang MRA-01 terjadi penurunan tegangan pada setiap section, terutama tegangan diujung penyulang utama sebesar 7,06%, setelah dipasang DG pada section 8, dengan injeksi sebesar 85% dari kapasitas terpasang, profil tegangan berhasil diperbaiki, sehingga jatuh tegangan pada ujung penyulang turun menjadi 1,12%.
2. Lokasi dan besarnya injeksi yang diberikan oleh DG memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap perbaikan profil tegangan.

## 6. Daftar Pustaka

- [1]. Angelopoulos, Konstantinos, 2004, "Integration of Distributed Generation in Low Voltage Networks : Power Quality and Economics", University of Strathclyde in Glasgow Departement of Mechanical Engineering Glasgow.
- [2]. Barker, P.P., and De Mello, R.W., 2000, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power System : Part 1-Radial Distribution Systems"
- [3]. Borges C.L.T, Falco. D.M, "Impact of Distributed Generation Allocation and Sizing on Realibility, Lossses and Voltage Profile", Power tech Conference

Proceeding, vol. 2, Bologna, Italy, June 23-26, 2003

- [4]. Chiradeja. P, and Ramakumar. R., A "Probabilistic Approach to The Analysis of Voltage Profile Improvement with Distributed Wind Electric Generation", in Proc.32<sup>nd</sup> Annual Frontiers of Power Conf, Stillwater, UK, pp. XII 1-10, October 2001.
- [5]. Daly, P.A. Morrison. J., 'Understanding The Potential Benefits of Distributed Generation on Power Delivery Systems', Rural Electric Power Conference, 2001, vol., No., pp. A2/1-A213, 2001
- [6]. Gonen. T., 1986," Electric Power Distribution System Engineering", McGraw-Hill New York.
- [7]. Hansen,J.C.,Bower,J.,2003, "An Economic Evaluation of Small-Scale Distributed Electricity Generation Technologies", Oxford Institute for Energy Studies EL 05, Oxford.
- [8]. IEEE, 2003., "Standard For Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems", 1547 IEEE.
- [9]. Jaganathan, R.K., Saha, T.K., 2004, "Voltage Stability Analysis of Grid Connected Embedded Generators", Australian Universities Power Engineering Conference, Australia.
- [10].W.D. Stevenson, Jr., 1985, " Elements of Power System Analysis", 4<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill International Book Company.