

# DESAIN KAPASITAS *DISTRIBUTED GENERATION* PADA SISTEM DISTRIBUSI RADIAL GUNA MENGURANGI RUGI DAYA DAN RUGI TEGANGAN

Soedibyo<sup>1</sup>, Sjamsjul Anam<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Surabaya, Indonesia  
dibyoosoe@gmail.com<sup>1</sup>, anam@ee.its.ac.id<sup>2</sup>

**Abstrak**—Keandalan sistem tenaga listrik dan kualitas daya merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam sistem tenaga. Kualitas daya listrik diartikan sebagai kualitas aliran daya pada suatu sistem. Untuk menentukan kualitas daya listrik terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan, diantaranya adalah nilai jatuh tegangan, nilai rugi - rugi daya, nilai harmonisa, kestabilan frekuensi dan kontinuitas penyaluran daya listrik. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperbaiki kualitas daya adalah dengan penggunaan *distributed generation* atau DG pada sistem tenaga listrik. Penggunaan *distributed generation* dapat mengurangi nilai jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik sehingga nilai rugi - rugi daya juga akan menurun. Secara khusus, pada penelitian akan dibahas bagaimana mendesain kapasitas *distributed generation* yang sesuai kebutuhan sistem serta membahas mengenai pengaruh penempatan *distributed generation* terhadap rugi - rugi daya serta tegangan pada sistem distribusi radial. Langkah pertama yang harus dilakukan adalah analisis aliran daya (*load flow*). Setelah hal tersebut selesai maka akan direncanakan penempatan *distributed generation* pada beberapa bus untuk membandingkan tingkat kualitas daya yang terbaik serta nilai amplitudo tegangan pada sistem setelah terhubung dengan DG.

**Kata Kunci** — *Distributed Generation; Rugi Daya; Rugi Tegangan; Power Factor Correction.*

## I. PENDAHULUAN

Pada umumnya energi listrik yang dihasilkan oleh pusat-pusat pembangkit tenaga listrik terletak sangat jauh dengan beban. Hal tersebut akan menyebabkan pengurangan daya yang dikirim, karena dalam pengiriman daya dari pembangkit sampai ke konsumen terdapat rugi daya dan juga penurunan tegangan. Untuk mengatasinya, salah satu solusi yang bisa digunakan adalah dengan memasang *distributed generation* (DG) atau pembangkit terdistribusi yang memiliki kapasitas daya yang lebih kecil dari pembangkit utamanya.

*Distributed Generation* (DG) merupakan gabungan dari pemanfaatan sumber energi fosil dan non fosil. *Distributed generation* menghasilkan daya listrik yang berbeda-beda, karena pembangkit ini disesuaikan dengan potensi yang ada pada wilayah tersebut. Letak pembangkit yang dekat dengan pusat beban menyebabkan efisien pada jaringan distribusi dan biaya

operasional rendah karena sedikit rugi - rugi (*losses*) dan peralatan instalasi yang sederhana. Letak *distributed generation* ini tidak hanya terpusat pada satu tempat saja seperti halnya *power plant* yang besar, melainkan dapat didistribusikan sepanjang saluran sesuai dengan potensi yang dimiliki setiap 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.

Tujuan dari penelitian ini adalah ;

1. Mendapatkan nilai kapasitas *Distributed generation* (DG) yang paling optimal untuk perbaikan kualitas daya listrik.
2. Mengetahui titik penempatan *Distributed generation* (DG) yang paling optimal menggunakan metode tertentu, pada sistem distribusi 20 kV.
3. Mengetahui pengaruh penempatan *Distributed generation* (DG) khususnya terhadap nilai kualitas daya dan perubahan amplitudo tegangan.

## II. KUALITAS DAYA LISTRIK

### A. Kualitas Daya Listrik

Kualitas Daya Listrik (Power Quality) adalah ukuran, analisis, dan peningkatan tegangan bus, biasanya adalah tegangan bus beban untuk menjaga tegangan tetap sinusoidal pada tegangan dan frekuensi fundamental. Berikut adalah beberapa alasan mengapa kita harus memperhatikan kualitas daya listrik:

1. Peralatan beban generasi baru dengan kontrol berbasis mikroprocessor dan alat-alat elektronika daya sangat mempengaruhi variasi kualitas daya daripada peralatan yang digunakan sebelumnya.

2. Peningkatan akan pentingnya efisiensi sistem secara menyeluruh mengakibatkan munculnya aplikasi peralatan yang berefisiensi tinggi, pengendali motor dengan kecepatan yang dapat diatur (*adjustable-speed*) dan kapasitor shunt untuk koreksi faktor daya. Alat-alat tersebut mengakibatkan meningkatnya level harmonik pada sistem tenaga.
3. Terdapat banyak gangguan pada sistem tenaga seperti *sags*, dan *switching transient*.

Kualitas daya listrik ini terdiri dari tiga komponen utama :

1. Kontinuitas ( keadaan tanpa gangguan )
2. Tingkat tegangan
3. Efisiensi

#### B. Parameter Kualitas Daya

Untuk mengetahui kualitas daya listrik suatu sistem tenaga dapat menggunakan beberapa parameter berikut ini:

1. *Transient*, adalah perubahan / variasi yang tidak diinginkan pada bentuk gelombang yang terjadi secara tiba-tiba dan hanya dalam waktu yang singkat.
2. *Short Duration Variation*, Gangguan ini dapat disebabkan oleh gangguan, pembebanan dengan arus start yang tinggi, atau *intermittent lose connection* pada sistem tenaga. Tergantung pada lokasi gangguan dan kondisi dari sistem, fault dapat mengakibatkan penurunan tegangan secara sementara (*sags*), kenaikan tegangan secara sementara (*swell*) ataupun pemadaman (*interruption*).
3. *Long Duration Variation*, fenomena-fenomena pada durasi ini biasanya tidak disebabkan oleh gangguan pada sistem tenaga Listrik, tetapi disebabkan oleh perubahan beban pada sistem atau operasi *switching*.
4. *Distorsi Bentuk Gelombang (Waveform Distortion)*, didefinisikan sebagai deviasi steady state dari gelombang sinus ideal yang mempunyai frekuensi dasar (50 Hz). Ada 5 jenis distorsi bentuk gelombang, yaitu *DC offset*, harmonisa, *interharmonics*, *notching* dan *noise*.
5. *Variasi Frekuensi Daya*, adalah deviasi frekuensi dasar sistem tenaga dari harga nominalnya (50 Hz). Variasi frekuensi diluar batas yang diijinkan pada operasi normal steady state disebabkan oleh gangguan pada sistem transmisi, lepasnya beban dalam jumlah besar atau generator kapasitas besar keluar dari sistem.

#### C. Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan adalah selisih antara tegangan ujung pengiriman dan tegangan ujung penerimaan. Jatuh tegangan disebabkan oleh hambatan dan arus. Pada saluran bolak-balik besarnya tergantung dari impedansi dan admintansi saluran serta pada beban dan faktor daya . Rugi tegangan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini:

$$\Delta V = I_s x (R_s + jX_s) = I x Z \quad (1)$$

$$\Delta V = V_s - V_r \quad (2)$$

Dimana:  $I$  = Arus (A)

$Z$  = Impedansi ( $\Omega$ )

$\Delta V$  = drop tegangan (Volt)

$V_s$  = tegangan kirim (Volt)

$V_r$  = tegangan terima (Volt)

Maka besar nilai persentase (%) rugi tegangan adalah:

$$\Delta V (\%) = \frac{V \Delta V}{V} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana:  $\Delta V$  (%) = Rugi Tegangan dalam %

$V$  = Tegangan kerja (Volt)

Penurunan tegangan maksimum pada beban penuh yang dibolehkan dibebberapa titik pada jaringan distribusi adalah (berdasar SPLN 72 :1987) :

- a. SUTM = 5 % dari tegangan kerja bagi sistem radial
- b. SKTM = 2 % dari tegangan kerja pada sistem spindle.
- c. Trafo distribusi = 3 % dari tegangan kerja.
- d. Saluran tegangan rendah = 4 % dari tegangan kerja tergantung kepadatan beban.
- e. Sambungan rumah = 1 % dari tegangan nominal.

#### D. Ketidakseimbangan Tegangan (Voltage Unbalance)

Ketidak seimbangan tegangan didefinisikan sebagai deviasi maksimum dari rata-rata tegangan atau arus 3 fasa dibagi dengan rata-rata tegangan atau arus 3 fasa dinyatakan dalam persen (%). Ketidakseimbangan juga didefinisikan sebagai rasio dari komponen urutan nol atau negatif terhadap komponen urutan positif dinyatakan dalam persen (%). Penyebab utamanya adalah pembebanan yang tidak seimbang pada masing-masing fasanya.

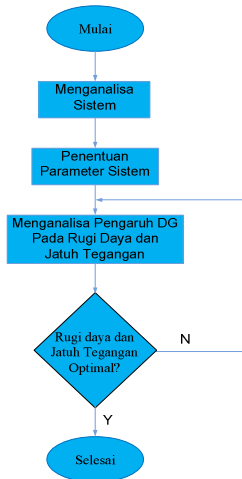
#### E. Fluktuasi Tegangan (Voltage Flicker)

Adalah gangguan berupa variasi dari *voltage envelope* atau perubahan tegangan secara acak dan berurutan/kontinyu, dimana magnitudonya tidak melebihi batasan yang diijinkan (0.9-1.1 pu). Beban yang dapat menyebabkan perubahan arus yang kontinyu dan cepat dapat mengakibatkan variasi tegangan (*voltage fluctuation*) atau yang biasa disebut *voltage flicker*. *Voltage flicker* diukur terhadap sensitivitas mata manusia, biasanya magnitudonya sebesar 0.5 % (terhadap tegangan dasar) dengan frekuensi 6-8 Hz dapat menyebabkan kedip pada lampu yang dapat tdlihat oleh mata.

### III. PENGARUH DISTRIBUTED GENERATOR PADA RUGI DAYADAN JATUH TEGANGAN

#### A. Data Awal

Dalam melakukan analisa pengaruh *distributed generation* pada perbaikan faktor daya dan jatuh tegangan diperlukan langkah penyelesaian seperti berikut :



**Gambar 3.** Diagram alir penelitian

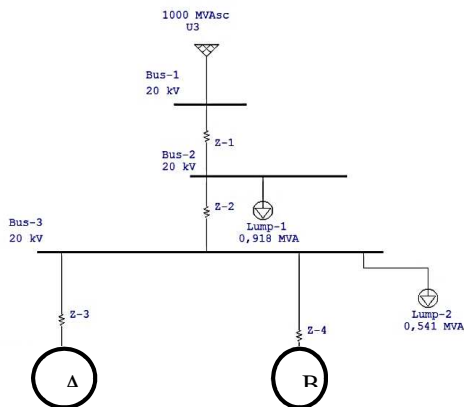
Sistem yang dianalisa adalah sistem 20 KV pada jaringan distribusi di salah satu Penyulang GI Sempang, yang kemudian diambil secara tipikal pada Gambar 4.

Dalam jaringan utama komponen yang terdiri adalah :

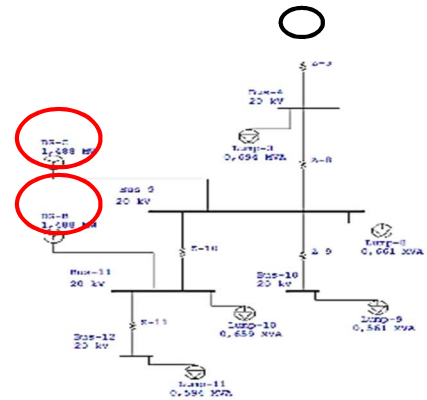
- Sumber Grid : 1000 MVA<sub>sc</sub> , 20 KV
- Bus : 20 KV
- Trafo : 0.918 MVA

Dalam jaringan tingkat 2 komponen terdiri dari :

- Bus : 20 KV
- DG : 2 x 1.488 MW (additional)
- Bus : 20 KV
- Lump 3 : 0.694 MVA
- Lump 8 : 0.661 MVA
- Lump 9 : 0.561 MVA
- Lump 10 : 0.659 MVA
- Lump 11 : 0.594 MVA



**Gambar 4.** Jaringan Tingkat 1



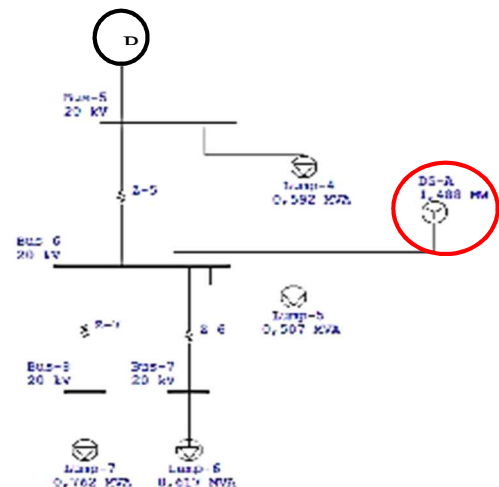
**Gambar 5.** Jaringan Tingkat 2

Dalam jaringan utama komponen yang terdiri adalah :

- Sumber Grid : 1000 MVA<sub>sc</sub> , 20 KV
- Bus : 20 KV
- Trafo : 0.918 MVA

Dalam jaringan tingkat 2 komponen terdiri dari :

- Bus : 20 KV
- DG : 2 x 1.488 MW (additional)
- Bus : 20 KV
- Lump 3 : 0.694 MVA
- Lump 8 : 0.661 MVA
- Lump 9 : 0.561 MVA
- Lump 10 : 0.659 MVA
- Lump 11 : 0.594 MVA



**Gambar 6.** Jaringan Tingkat 2(2)

Dalam jaringan tingkat 2(2) komponen terdiri dari :

- Bus : 20 KV
- DG : 1.488 MW (additional)
- Bus : 20 KV
- Lump 2 : 0.541 MVA
- Lump 4 : 0.592 MVA
- Lump 5 : 0.507 MVA
- Lump 6 : 0.617 MVA
- Lump 7 : 0.762 MVA

Sebelum dilakukan analisa lanjutan, sistem awal pada plant akan diamati nilai rugi daya dan jatuh tegangannya.

Tabel 1. Sistem sebelum diberikan penambahan DG

CKT/Branch ID	Losses		Bus Voltage	
	kW	kvar	From	To
Z-1	11.9	6.1	100	99.8
Z-2	48.7	24.8	99.8	99
Z-3	9.5	4.8	99	98.6
Z-4	6.1	3.1	99	98.7
Z-5	16.4	11.8	98.6	97.9
Z-6	7.6	6.5	98.7	98.2
Z-7	0.2	0.6	98.2	98.1
Z-8	1.1	0.4	98.2	98
Z-9	0.9	0.6	97.9	97.7
Z-10	0.8	0.3	97.9	97.8
Z-11	0.3	0.1	97.8	97.7
	103.5	59.1		

Data diatas akan dibandingkan dengan hasil-hasil penunjukan nilai losses dan rugi tegangan setelah penambahan DG menggunakan 2 (dua) metode.

### B. Selecting a Template (Heading 2)

Data Losses dan Magnitude Tegangan setelah penambahan satu unit DG secara *trial and error* pada bus 20 KV dengan rating berdasar *rule of thumb* yaitu  $2/3 \times 6.7$  MW (total beban), yaitu:

Tabel 2. Losses dan Tegangan setelah penambahan 1 DG sebesar 4.5MW

CKT/Branch ID	Losses		Bus Voltage	
	kW	kvar	From	To
Z-1	2.7	1.4	100	99.8
Z-2	48.6	24.8	99.8	99
Z-3	9.5	4.8	99	98.6
Z-4	6.0	3.1	99	98.7
Z-5	16.4	11.7	98.6	97.9
Z-6	7.5	6.5	98.7	98.2
Z-7	0.2	0.6	98.2	98.1
Z-8	1.1	0.4	98.2	98
Z-9	0.9	0.6	97.9	97.7
Z-10	0.8	0.3	97.9	97.8
Z-11	0.3	0.1	97.8	97.7
	94.0	54.3		

Analisa berikutnya masih menggunakan metode *trial and error* dengan penambahan 2 unit DG sebesar masing-masing 2.25 MW yang diambil tetap dengan dasar nilai dari *rule of thumb*, hanya saja kali ini menggunakan 2 unit DG sehingga nilai 4.5MW akan dibagi secara merata ke 2 unit DG tersebut, sehingga didapatkanlah nilai 2.25 MW.

Kemudian data Losses dan Magnitude Tegangan setelah penambahan tiga unit DG secara *trial and error* pada bus 20 KV dengan rating berdasar pembagian kapasitas 3 unit secara merata *rule of thumb* yaitu 1.5 MW.

Percobaan *trial and error* ini akan diakhiri pada penambahan 3 (tiga) unit DG karena nilai optimal suatu plant yang akan dibenahi dengan penambahan DG pada umumnya sampai dengan 3 unit DG terinstal. DG yang ditambahkan melebihi 3

unit biasanya akan mengalami perubahan tegangan hingga *overvoltage*. Data-data setelah penambahan 3 unit DG 1.5 MW berdasarkan *trial and error* maksimal:

Tabel 3. Losses dan Tegangan setelah dipasang DG 1.5 MW

CKT/Branch ID	Losses		Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	kW	kvar	From	To	
Z-1	2.6	1.3	100	99.9	0.08
Z-2	7.9	4.0	99.9	99.6	0.30
Z-3	1.0	0.5	99.6	99.6	0.05
Z-4	6.0	3.0	99.6	99.4	0.27
Z-5	2.6	1.8	99.6	99.6	0.02
Z-6	7.5	6.4	99.4	98.9	0.49
Z-7	0.2	0.6	98.9	98.8	0.06
Z-8	1.1	0.3	98.9	98.7	0.14
Z-9	0.8	0.6	99.6	99.4	0.18
Z-10	0.1	0.0	99.6	99.6	0.01
Z-11	0.3	0.1	99.6	99.5	0.06
	30.1	18.9			

### C. Metoda Genetic Algorithm (GA)

Setelah dilakukan analisa berdasarkan *trial and error*, dilakukan analisa menggunakan metode lainnya yang jauh lebih mampu untuk mengoptimalkan perhitungan kapasitas sampai titik penempatan DG.

Metode yang akan digunakan berikutnya adalah metode GA (Genetic Algorithm). GA adalah teknik pencarian dalam bidang komputasi untuk menemukan solusi benar atau pendekatan untuk permasalahan optimasi dan pencarian. Teknik dalam GA didasarkan pada biologi evolusioner seperti pewarisan, mutasi, seleksi dan *crossover*.

Berikut data keluaran kalkulasi yang dihasilkan oleh *genetic algorithm* terkait dengan penempatan DG pada sebuah plant:

```

-----
Letak DG pada bus = 9.000000
Kapasitas DG = 1.488000 MW
Letak DG pada bus = 6.000000
Kapasitas DG = 1.488000 MW
Letak DG pada bus = 11.000000
Kapasitas DG = 1.488000 MW
-----
Total Rugi daya minimal= 19.215448 KW
Fitness terbaik= 84.238509

```

Gambar 7. Parameter Sistem

Tabel 4. Hasil losses dan tegangan setelah pemasangan DG dengan metode GA

Losses		% Bus Voltage	
kW	kvar	From	To
2.6	1.3	100.0	99.9
7.9	4.0	99.9	99.6
1.0	0.5	99.6	99.6
1.5	0.7	99.6	99.5
2.6	1.8	99.6	99.6
1.2	1.0	99.5	99.3
0.2	0.6	99.3	99.3
1.0	0.3	99.3	99.2
0.8	0.6	99.6	99.4
0.1	0.0	99.6	99.6
0.3	0.1	99.6	99.5
19.2	11.1		

Dari penentuan kapasitas DG menggunakan metode GA, maka didapat hasil seperti pada Tabel 4. Dari hasil tersebut, didapatkan losses total dari plant sebesar 19,2 kW dan 11,1 kVAR serta data perbaikan tegangan pada tiap bus. Dimana data ini merupakan hasil paling optimal dibandingkan dengan hasil dari trial and error sebelumnya.

#### D. Selecting a Template (Heading 2)

Dari data murni plant yang dianalisa sebelum ditambahkannya unit *distributed generator*, nilai rugi daya (losses) yang ada pada jaringan distribusi tersebut menunjukkan nilai rugi daya yang cukup besar, yaitu mencapai 103.5 MW dan 59.1 KVAR.

Pengolahan data yang dilakukan dengan metode *trial and error* dengan base berdasar acuan teori bahwa penentuan kapasitas DG adalah sebesar 2/3 atau 0,667 dari nilai total beban. Maka diperoleh nilai 4.5 MW untuk kapasitas total DG yang kemudian akan ditempatkan pada bus 20 KV.

*Trial and error* yang pertama menggunakan penambahan 1 (satu) unit DG yang akan ditempatkan pada titik bus 20 KV secara acak. Kemudian akan kembali dianalisa nilai rugi daya dan jatuh tegangan pada plant, dan didapatkan hasil perhitungan rugi daya yang cenderung membaik, yaitu 94.0 MW dan 54.3 MVAR. Rugi daya dalam (MW) turun hingga 9.5 MW.

Berikutnya metode kedua dilakukan dengan menggunakan 2 (dua) unit penambahan DG yang kembali akan ditempatkan secara acak pada bus 20 KV. Nilai kapasitas total DG berdasar perhitungan *rule of thumb* sebesar 4.5 MW ini akan dibagi secara merata untuk mewakili tiap tiap unit DG yang akan dipasang, sehingga didapatkan nilai 2.25 MW. Kemudian setelah dilakukan analisa aliran daya untuk mengetahui nilai rugi dayanya, didapatkan perubahan yang cukup signifikan, nilai rugi daya pada sistem turun hingga 69.8 MW dari nilai rugi daya pada plant sebelum dipasang DG. Nilai rugi daya yang dihasilkan setelah penambahan dua unit DG ini adalah sebesar 33.7 MW dan 21.3 KVAR.

Metode *trial and error* terakhir adalah menggunakan 3 (tiga) unit DG sekaligus yang akan dipasang pada sistem. Maka dari

itu masing masing DG akan mendapatkan kapasitas suplai sebesar 1,5 MW. Setelah dilakukan *running* program, didapatkan nilai yang lebih baik lagi, yaitu sebesar 30.1 MW dan 18.9 KVAR.

Analisa yang dilakukan dengan metode *trial and error* tidak memastikan sebuah hasil yang valid, terlebih dalam sebuah analisa krusial mengenai plant jaringan kelistrikan. Hasil *trial and error* merupakan hasil yang belum optimal. Maka dari itu analisa berikutnya dilakukan dengan menggunakan metode kalkulasi tingkat tinggi secara algoritma terstruktur, yaitu menggunakan *genetic algorithm*. Hasil analisa menggunakan metode ini menghasilkan nilai rugi daya yang sangat kecil. Hasil penempatan tiga unit DG berdasar analisa dengan *genetic algorithm* memiliki rugi daya 19.2 MW dan 11.1 KVAR.

Hal ini membuktikan bahwa dengan hanya menginputkan parameter parameter suatu plant yang meliputi data saluran hingga data bus dengan bantuan *genetic algorithm*, didapatkan nilai yang sangat optimal, nilai rugi daya sebesar 19.2 MW adalah nilai terkecil selama percobaan dengan dua metode yang telah dikukan.

Jika dipersentasikan, maka hasil dari penambahan DG menggunakan metode GA memperoleh perbaikan sebesar 81,45% dari losses awal, hasil ini didapatkan dari :

$$\frac{\text{totallossesawal} - \text{totallossesakhir}}{\text{totallossesawal}} \times 100\%$$

$$\frac{103,5 \text{ kW} - 19,2 \text{ kW}}{103,5 \text{ kW}} \times 100\% = 81,45\%$$

#### IV. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan DG (*Distributed Generation*) dalam metode perbaikan nilai rugi daya dan jatuh tegangan merupakan metode yang sangat tepat, karena DG mampu memberikan suplai nilai daya riil (kW) yang dibutuhkan oleh sistem.
2. Kalkulasi kasar untuk penentuan kapasitas dari unit DG yang paling mudah adalah menggunakan metode dasar *rule of thumb*, yaitu sebesar 2/3 dari total beban yang diampu oleh sistem.

*Genetic algorithm* adalah metode kalkulasi paling sesuai dalam analisa penentuan penempatan DG, karena GA mampu menentukan berapa kapasitas optimal serta titik penempatan DG yang paling tepat untuk sistem yang dianalisa.

#### REFERENCES

- [1] Rao, P.V.V.R., and S. Sivanagaraju, 2010, "Radial Distribution Network Reconfiguration for Loss Reduction and Load Balancing using Plant Growth Simulation Algorithm", International Journal on Electrical Engineering and Informatics - Volume 2, Number 4, 2010.
- [2] Sarfi, R.J., M.M.A. Salama and A.Y. Chikhani, 1996, "Distribution System Reconfiguration for Loss Reduction: An Algorithm Based on Partitioning Theory," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 11, No. 1, February 1996, pp 504-510.
- [3] Sivanagaraju, S., J.V. Rao and P.S. Raju, 2008, "Discrete Particle Swarm Optimization to Network Reconfiguration for Loss Reduction and Load

- Balancing,*” Electric Power Components and Systems, Vol. 36, No. 5, May 2008, pp. 513–524.
- [4] Alexander Thornton, Carlos Rodriguez Monroy. *Distributed power generation in the United States*
- [5] Andreas Poullikkas. *Implementation of distributed generation technologies in isolated power system.*