

PENGARUH PEMASANGAN DISTRIBUTED GENERATION (DG) TERHADAP RESPON GANGGUAN PADA SISTEM DISTRIBUSI

Agus Supardi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Abstrak

Pembangkit listrik skala kecil tersebar (Distributed Generation, DG) menjadi suatu pilihan baru dalam penyediaan tenaga listrik. Pembangkit ini tidak hanya ekonomis tetapi keberadaannya di dekat pelanggan juga menurunkan biaya transmisi dan distribusinya. Secara konvensional, dianggap bahwa daya listrik pada sistem distribusi selalu mengalir dari gardu induk ke ujung penyulang. Pengoperasian DG mengakibatkan aliran daya terbalik. Dengan demikian, kondisi sistem tenaga menjadi lebih rumit untuk dipahami termasuk di dalamnya pemahaman terhadap respon gangguan. Makalah ini memaparkan tentang pengaruh pemasangan DG terhadap arus yang mengalir ke suatu bus ketika terjadi gangguan fase ke tanah. Penelitian diawali dengan memodelkan sistem distribusi standar IEEE 18 bus dan DG ke dalam ETAP Power Station. Setelah modelnya lengkap, dilakukan simulasi gangguan fase ke tanah dengan berbagai kondisi. Bus yang mengalami gangguan divariasi lokasinya. Jumlah dan lokasi pemasangan DG juga divariasi. Pada setiap simulasi, dilakukan pencatatan nilai arus gangguan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan adanya DG dalam sistem, arus gangguannya akan naik khususnya ketika gangguannya terjadi di dekat DG. Jumlah dan lokasi pemasangan DG juga berpengaruh terhadap magnitude arus gangguan.

Kata kunci: *Distributed generation (DG), gangguan fase ke tanah, sistem distribusi*

Pendahuluan

Energi listrik merupakan sumber energi utama dunia. Tenaga listrik dibangkitkan di stasiun pembangkit dan disalurkan ke konsumen yang membutuhkan melalui saluran transmisi dan saluran distribusi. Pertimbangan ekonomi dan masalah lingkungan mengakibatkan fasilitas pembangkitan berkapasitas besar biasanya diletakkan di daerah pinggiran yang jauh dari pusat beban. Dengan demikian, diperlukan banyak komponen sistem tenaga untuk menyalurkan energi listrik.

Pembangkit listrik yang beroperasi menggunakan batubara atau nuklir menimbulkan permasalahan polusi terhadap lingkungan. Energi yang tersedia dari matahari, air dan angin merupakan energi yang bersih, tidak mengotori lingkungan, dan gratis. Energi ini dapat diubah menjadi listrik dengan menggunakan sel surya, pembangkit listrik mikrohidro dan turbin angin. Di sisi lain, peningkatan permintaan energi listrik tidak dapat dipenuhi oleh pembangkit berkapasitas besar karena adanya keterbatasan saluran transmisi. Oleh karena diperlukan pembangkit yang efisien seperti jenis pembangkit listrik tersebar. Isu lain yang mendorong pengembangan DG adalah tingginya biaya transmisi dan distribusi (Willis and Scott, 2000). Pembangunan saluran transmisi baru membutuhkan biaya investasi yang besar. Dengan demikian diperlukan suatu pembangkit yang bisa dipasang di dekat beban seperti DG. DG dengan kapasitas daya yang kecil dapat digunakan untuk melayani beban puncak yang hanya terjadi pada jam-jam tertentu tiap harinya (Delfino, 2002).

Fenomena gangguan dalam sistem tenaga listrik merupakan fenomena yang menarik bagi banyak peneliti. Crossley and Crossley (2003) memaparkan pengaruh impedansi gangguan terhadap operasi peralatan proteksi dengan menggunakan bantuan PSCAD. Heine and Lehton (2003) memaparkan pengaruh gangguan terhadap tegangan pada berbagai lokasi di saluran distribusi. Suatu model matematis dari sistem dibuat dan *voltage sag* pada berbagai tingkat gangguan diamati. Kondisi jaringan tegangan rendah pada saat terjadi gangguan terjadi di beberapa lokasi di jaringan tegangan tinggi juga diamati. Celi and Pilo (2001) memaparkan pengaruh DG terhadap sistem tenaga. Dengan menggunakan algoritma genetik, dibuat suatu software yang dapat menentukan alokasi pembangkitan optimal dengan memperhatikan kekangan teknis, seperti kapasitas saluran, profil tegangan dan arus hubung singkat 3 fase pada saluran tenaga.

Dengan adanya DG ini, kondisi sistem tenaga menjadi lebih rumit untuk dipahami. Oleh karena itu, sangat diperlukan untuk mengetahui pengaruh pemasangan DG terhadap perubahan apapun di dalam sistem. Secara konvensional, dianggap bahwa tenaga listrik pada sistem distribusi selalu mengalir dari gardu induk ke ujung penyulang baik dalam operasi dan perencanaannya. Pengoperasian DG mengakibatkan aliran daya terbalik dan profil tegangan yang kompleks pada sistem distribusi. Kesulitan yang muncul dalam sistem tergantung pada strategi penempatan DG. Berkaitan dengan sistem proteksi biasanya didesain dengan menganggap sistemnya adalah radial.

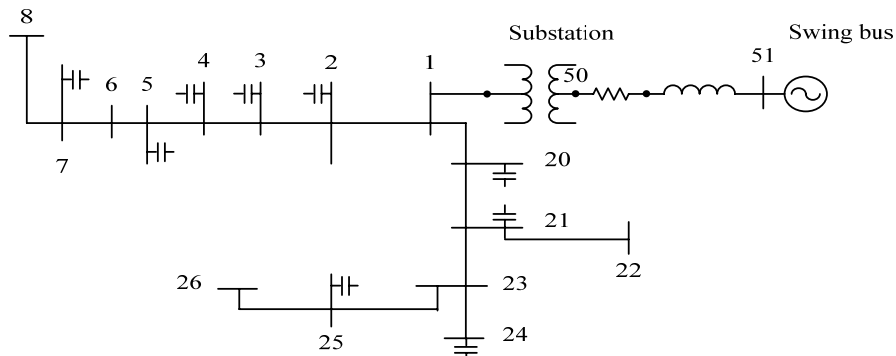
Dengan adanya pengoperasian DG, sebagian sistem tenaga berubah menjadi tidak radial lagi, yang berarti koordinasi antar peralatan proteksinya berubah (Girgis and Brahma, 2001). Pengaruh DG pada koordinasi proteksi dipengaruhi oleh ukuran, jenis dan lokasi penempatan DG.

Metodologi Penelitian

Bahan utama penelitian ini adalah sistem distribusi *standard IEEE* 18 bus seperti yang digunakan oleh Grady et al (1992) dengan diagram garis tunggal seperti gambar 1. Jalannya penelitian diuraikan sebagai berikut:

1. Penelitian dimulai dengan membuat model sistem distribusi dan DG dengan menggunakan *ETAP Power Station* dan memasukkan data-data sistem yang diperlukan.
2. Setelah modelnya lengkap dilakukan simulasi gangguan hubung singkat satu fase ke tanah. Mula-mula dilakukan simulasi gangguan tanpa adanya DG dalam sistem, setelah itu dilakukan simulasi gangguan dengan adanya DG. Besarnya arus gangguan yang mengalir pada sistem distribusi dapat diketahui dari hasil simulasi.
3. Simulasi dilakukan dengan memvariasi lokasi gangguan, jumlah DG, lokasi pemasangan DG.
4. Setiap langkah simulasi diikuti dengan pencatatan nilai arus gangguan pada sistem.

Gambar 1 menunjukkan sistem distribusi *standard IEEE* 18 bus. 16 bus terletak pada sistem distribusi 12,5 kV dan 2 bus (50 dan 51) terletak pada sisi 138 kV dari trafo gardu induk yang disuplai dari sebuah *swing bus*. Sistem distribusinya bertipe radial dengan 2 penyulang utama. Penyulang pertama terdiri dari 8 bus (bus no.1 – 8) dan penyulang kedua terdiri dari 7 bus (bus no. 20 – 26). Pada sistem distribusi 12,5 kV terpasang kapasitor di 9 busnya. Sistem ini sama dengan yang digunakan oleh Grady et al (1992). DG yang dipakai dalam simulasi ini adalah turbin mikro 480 V, 250 kW seperti yang digunakan oleh Kirawanich et al (2004).



Gambar 1 Diagram garis tunggal sistem distribusi standard IEEE 18 bus

Tabel 1 Data beban

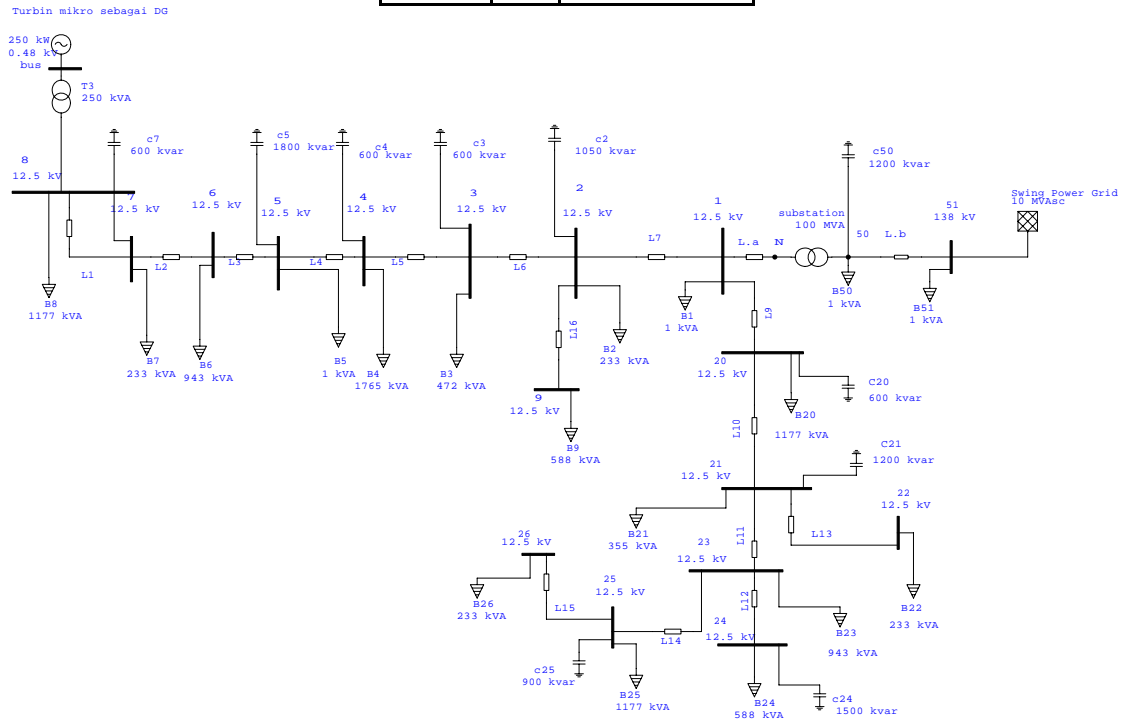
Bus	Beban	
	Aktif (kW)	Reaktif (kVAr)
1	1	0
2	200	120
3	400	250
4	1500	930
5	1	0
6	800	500
7	200	120
8	1000	620
9	500	310
20	1000	620
21	300	190
22	200	120
23	800	500
24	500	310
25	1000	620
26	200	120
50	1	0
51	1	0

Tabel 2 Impedansi saluran distribusi

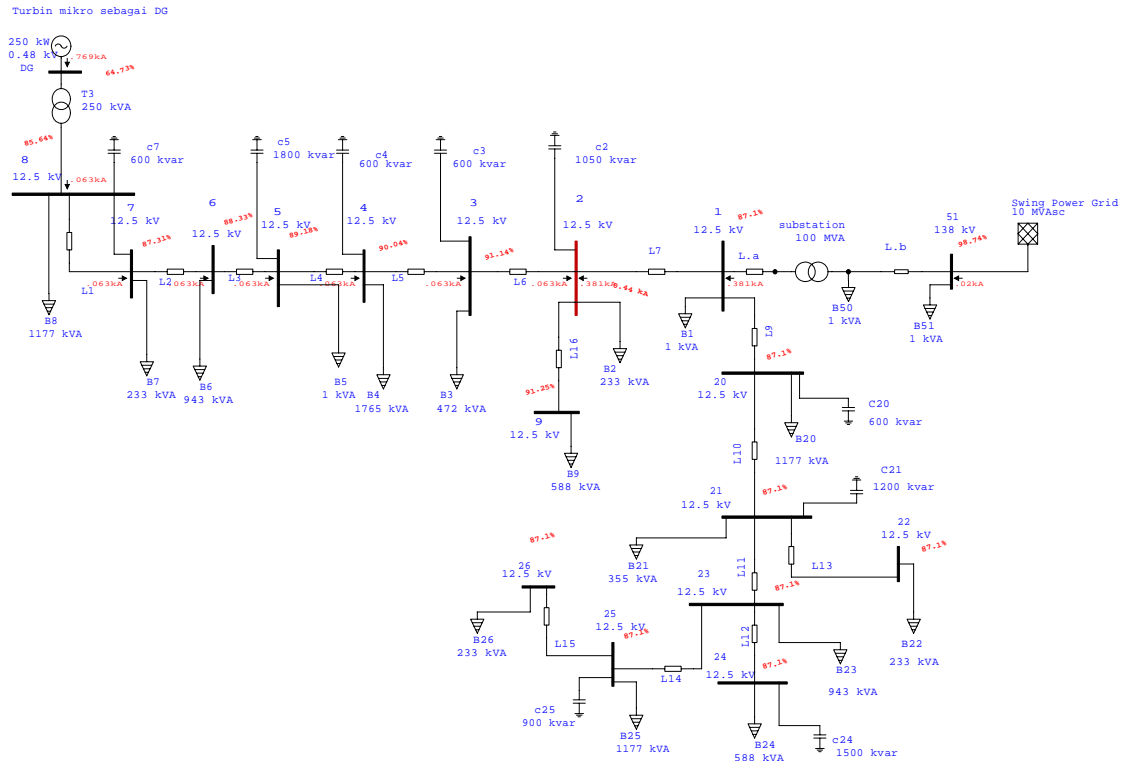
Dari Bus	Ke Bus	Resistansi (Ohm)	Reaktansi (Ohm)
1	2	0.0673	0.1881
2	3	0.0939	0.2620
3	4	0.0494	0.1378
4	5	0.1400	0.3909
5	6	0.0461	0.1288
6	7	0.2688	0.3313
7	8	0.6359	0.4770
2	9	0.2666	0.3452
20	21	0.3472	0.4495
21	22	0.7505	0.9716
21	23	0.6227	0.8063
23	24	0.4547	0.5888
23	25	0.5823	0.7177
25	26	0.3450	0.4250
50	1	0.0488	0.0552
50	51	0.0078	0.0538

Tabel 3 Data Kapasitor yang terpasang

Nama	Bus	Daya Reaktif (kVAr)
C1	2	1050
C2	3	600
C3	4	600
C4	5	1800
C5	7	600
C6	20	600
C7	21	1200
C8	24	1500
C9	25	900
C10	50	1200



Gambar 2 Model sistem distribusi standard IEEE 18 bus dalam ETAP



Gambar 3 Salah satu hasil simulasi gangguan yang terjadi pada bus 2 dengan adanya DG di bus 8

Hasil Dan Pembahasan

Program analisis hubung singkat dalam ETAP dapat menganalisis gangguan 3 fase, gangguan saluran ke tanah, gangguan saluran ke saluran, dan gangguan saluran ganda ke tanah pada sistem distribusi. Program akan menghitung arus hubung singkat kontribusi dari motor, generator dan sistem *utility*. Analisis hubung singkat yang dilakukan pada penelitian ini adalah gangguan hubung singkat satu fase ke tanah. Arus hubung singkat pada bus yang terganggu dihitung setelah 30 siklus (kondisi *steady state*). Generator dan saluran dimodelkan dengan reaktansi urutan positif, negatif dan urutan nol. Pentanahan generator dan transformator, dan hubungan belitan transformator juga dimasukkan pada saat membangun jaringan urutan positif, urutan negatif dan urutan nolnya. Perhitungan arus hubung singkatnya menggunakan standar ANSI/IEEE, dimana sumber tegangan ekuivalen pada lokasi gangguan, yang sama dengan tegangan sebelum terjadi gangguan, menggantikan semua sumber tegangan eksternal dan sumber tegangan internal mesin. Dianggap bahwa tidak terjadi busur api pada tempat terjadinya hubung singkat sehingga resistans busur api tidak diperhitungkan. Impedansi sistem dianggap seimbang dan metode komponen simetris digunakan untuk perhitungan gangguan tak seimbang.

Besarnya impedansi saluran antar bus pada sistem distribusi standar IEEE 18 bus berbeda-beda nilainya. Impedansi totalnya akan semakin besar bila jaraknya semakin jauh dari *power grid*. Adanya gangguan tak simetris pada sistem distribusi yang berupa gangguan satu fase ke tanah mengakibatkan terjadinya perubahan aliran daya. Arus yang semula mengalir menuju masing-masing bus, berubah arah dan magnitudenya menuju ke bus yang terganggu.

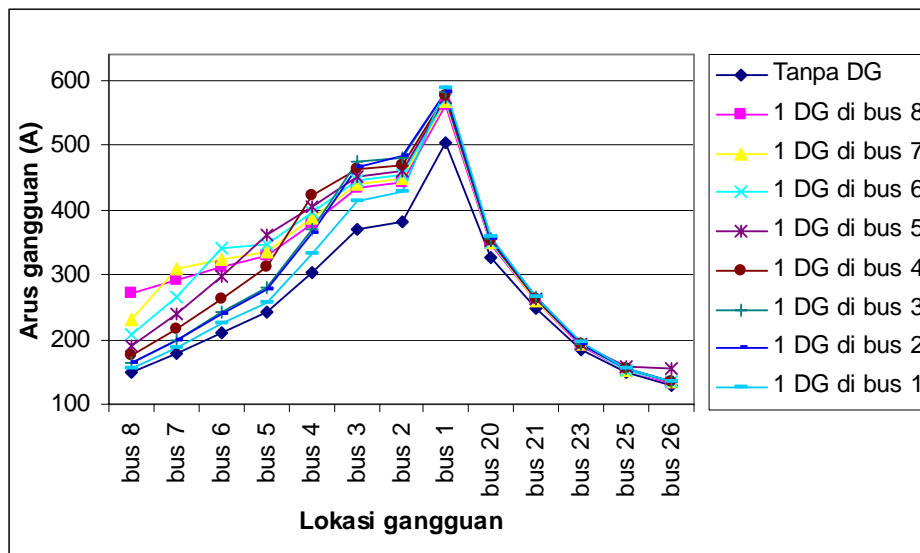
Pada saat sistem tanpa DG, arus gangguan yang terjadi hanya kontribusi dari *power grid* saja. Magnitude arus gangguannya ditentukan oleh impedansi antara *power grid* dengan lokasi terjadinya gangguan. Impedansi ini meliputi impedansi urutan positif, urutan negatif dan urutan nol dari *power grid*, transformator gardu induk, dan saluran. Tabel 4 dan gambar 4 menunjukkan magnitude arus gangguan saat sistem distribusi tanpa DG bervariasi nilainya tergantung pada lokasi gangguan. Pada penyulang pertama, arus gangguan yang paling kecil dihasilkan oleh gangguan pada bus no 8 (bus yang terjauh dari *power grid*), sedangkan arus gangguan paling besar dihasilkan oleh gangguan pada bus no 2 (bus yang terdekat dengan *power grid*). Pada penyulang kedua, arus gangguan yang paling kecil dihasilkan oleh gangguan pada bus no 26 (bus yang terjauh dari *power grid*), sedangkan arus gangguan yang paling besar dihasilkan oleh gangguan pada bus no 20 (bus yang terdekat dengan *power grid*). Semakin jauh bus tersebut dari *power grid*, maka impedansi salurannya akan semakin besar. Semakin besar impedansi salurannya maka arus gangguannya akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya.

Pemasangan sebuah DG pada sistem distribusi mengakibatkan perubahan arus gangguan. Arus gangguan yang terjadi pada suatu bus merupakan kontribusi dari *power grid* dan DG. Magnitude arus gangguannya,

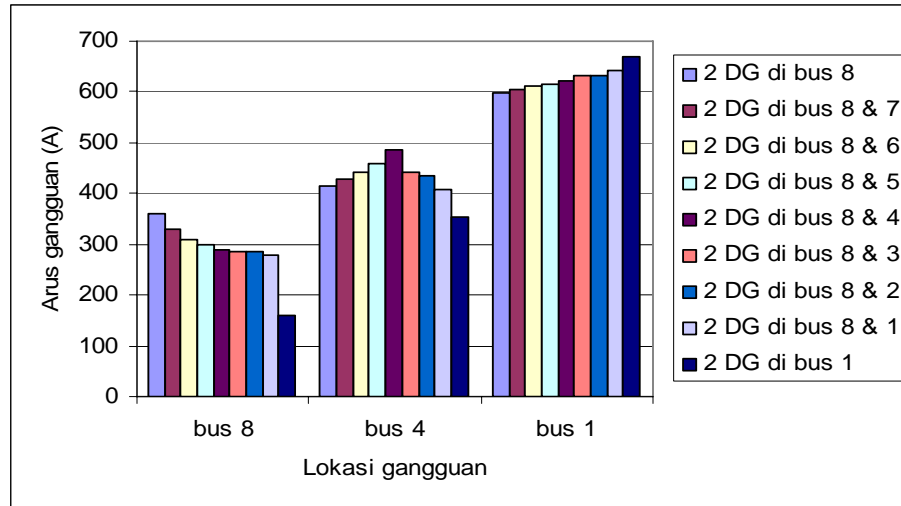
ditentukan oleh impedansi antara power grid dengan lokasi terjadinya gangguan serta ditentukan oleh impedansi antara DG dengan lokasi terjadinya gangguan. Kontribusi DG terhadap arus gangguan lebih kecil dibandingkan dengan kontribusi power grid. Tabel 4 dan gambar 4 menunjukkan pemasangan sebuah DG pada suatu bus tertentu dalam sistem distribusi mengakibatkan kenaikan magnitudo arus gangguan. Variasi lokasi pemasangan sebuah DG pada salah bus di penyulang pertama mengakibatkan perubahan magnitudo arus gangguan. Semakin dekat lokasi pemasangan DG dengan lokasi terjadinya gangguan maka arus gangguannya akan semakin besar. Hal ini disebabkan semakin dekat dengan DG, maka impedansi salurannya akan semakin kecil sehingga kontribusi DG terhadap arus gangguan juga akan semakin besar. Secara keseluruhan terlihat bahwa kontribusi DG terhadap arus gangguan pada penyulang pertama adalah lebih besar dari penyulang kedua. Hal ini terlihat dari variasi arus gangguan yang lebih besar pada penyulang pertama. Sebagian besar arus gangguan yang terjadi pada penyulang kedua adalah kontribusi dari *power grid*.

Tabel 4 Arus gangguan pada sistem pada saat 1 buah DG dipasang pada bus tertentu

Lokasi Gangguan	Arus gangguan (A) dengan adanya 1 buah DG di								
	Tanpa DG	Bus 8	bus 7	bus 6	bus 5	bus 4	Bus 3	bus 2	bus 1
Bus 8	150	271	232	207	190	175	164	163	156
Bus 7	179	292	309	266	239	215	200	199	188
Bus 6	211	311	324	341	298	263	241	239	224
Bus 5	241	328	336	348	362	311	281	278	258
Bus 4	303	379	386	396	406	422	369	365	331
Bus 3	371	435	440	446	452	462	474	466	414
Bus 2	381	444	449	455	461	470	481	482	427
Bus 1	505	562	566	569	572	576	581	581	588
Bus 20	326	348	350	351	352	354	356	356	358
Bus 21	248	260	261	262	262	263	264	264	266
Bus 23	185	191	192	192	192	193	194	194	194
Bus 25	149	153	153	154	158	154	155	155	155
Bus 26	130	133	134	134	154	134	134	134	135



Gambar 4 Arus gangguan yang terjadi pada sistem saat tanpa DG dan saat ada 1 buah DG



Gambar 5 Arus gangguan yang terjadi pada sistem dengan adanya 2 buah DG

Tabel 5 Arus gangguan yang terjadi pada sistem saat 2 buah DG dipasang pada 1 bus tertentu

Lokasi gangguan	Arus gangguan (A) dengan adanya 2 DG di							
	Bus 8	Bus 7	Bus 6	Bus 5	Bus 4	Bus 3	Bus 2	Bus 1
Bus 1	597	607	615	621	633	645	647	668
Bus 2	477	489	501	514	537	568	572	467
Bus 3	468	480	493	507	531	564	550	452
Bus 4	415	431	451	476	519	422	414	355
Bus 5	370	392	419	458	361	311	306	273
Bus 6	364	395	437	360	297	262	259	234
Bus 7	359	402	322	278	238	215	213	196
Bus 8	359	282	239	213	189	174	173	161

Jumlah DG yang terpasang pada sistem juga berpengaruh terhadap magnitudo arus gangguan. Tabel 5 menunjukkan bahwa pemasangan 2 buah DG mengakibatkan arus gangguan di suatu bus menjadi lebih besar dari saat hanya 1 buah DG terpasang. Hal ini disebabkan karena arus gangguan yang terjadi merupakan kontribusi dari 3 buah sumber yaitu dari *power grid* dan 2 buah DG. Kedua DG yang dipasang pada sebuah bus dalam sistem tersebut mempunyai kapasitas sama sehingga kontribusinya terhadap arus gangguan adalah sama besar. Impedansi urutan dari kedua DG adalah konstan walaupun lokasi terjadi gangguannya berubah-ubah. Dengan demikian, impedansi saluranlah yang akan menentukan kontribusi dari masing-masing DG. Pada saat kedua DG dipasang pada bus yang berbeda, juga mengakibatkan kenaikan arus gangguan seperti ditunjukkan pada gambar 5. Kontribusi masing-masing DG terhadap arus gangguan menjadi tidak sama. Kontribusinya juga ditentukan oleh besarnya impedansi antara DG tersebut dengan lokasi terjadinya gangguan. Semakin dekat DG dengan lokasi terjadinya gangguan maka kontribusinya akan semakin besar. Berdasarkan gambar 5, arus gangguan di bus 8 paling besar terjadi ketika kedua DG dipasang pada bus 8 itu sendiri. Arus gangguan di bus 1 paling besar terjadi ketika kedua DG dipasang pada bus 1. Arus gangguannya akan semakin kecil bila salah satu DG dipasang menjauhi lokasi terjadinya gangguan. Kondisi ini jelas terlihat ketika gangguannya terjadi pada bus 4.

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada saat sistem belum terpasang DG, arus gangguan hanya ditentukan oleh lokasi terjadinya gangguan saja. Semakin dekat lokasi gangguan dengan *power grid*, maka arus gangguannya akan semakin besar.
2. Pemasangan DG pada sistem mengakibatkan kenaikan arus gangguan khususnya ketika gangguannya terjadi di dekat lokasi pemasangan DG.
3. Jumlah dan lokasi DG juga berpengaruh terhadap magnitudo arus gangguan.

Daftar Pustaka

- Celli G. and Pilo, F., (2001), "Optimal distributed generation allocation in MV distribution networks", *Proceedings of the 2001 IEEE/PES Conference on Power Industry Computer Application*, pp. 81 – 86
- Delfino, B., (2002), "Modeling of the integration of distributed generation into the electrical system", *Proceedings of the 2002 IEEE Power Engineering Society Summer Meeting*, Volume 1, pp. 170 – 175
- Erezzaghi, M. E. and Crossley, P. A., (2003), "The effect of high resistance faults on a distance relay", *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting*, Volume 4, 13-17 July 2003, pp. 2133
- Girgis A. and Brahma, S., (2001), "Effect of distributed generation on protective device coordination in distribution system", *Proceedings of the 2001 Large Engineering Systems Conference*, pp. 115 – 119
- Grady, W.M., Samotyj, M.J., and Noyola, A.H, (1992), "The application of network objective functions for minimizing the impact of voltage harmonics in power systems, in *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol.7. no.3, pp. 1379 – 1385
- Heine P. and Lehtonen, M., (2003), "Voltage sag distributions caused by power system faults", *IEEE Transactions on Power Systems*, Volume 18, Issue: 4, pp. 1367 – 1373
- Kirawanich, P., O'Connell, R.M., and Brownfield, G., (2004), "Microturbine harmonic impact study using ATP-EMTP", in *2004 11th International Conf. on Harmonics and Quality of Power*, pp. 117 – 122
- Willis, H. L. and Scott, W. G., (2000), "*Distributed Power Generation Planning and Evaluation*, Marcel Dekker, Inc.