

## ANALISIS HUBUNG SINGKAT 3 FASA PADA SISTEM DISTRIBUSI STANDAR IEEE 18 BUS DENGAN ADANYA PEMASANGAN *DISTRIBUTED GENERATION* (DG)

Agus Supardi<sup>1</sup>, Tulus Wahyu Wibowo<sup>2</sup>, Supriyadi<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417  
Email : agsums@gmail.com

### 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 listrik juga menurunkan biaya transmisi dan distribusinya. Berkaitan dengan arus hubung singkat, salah satu faktor yang berpengaruh adalah impedansi sumber dan impedansi saluran. Dengan adanya pemasangan DG di dekat pelanggan listrik, maka juga akan berpengaruh terhadap impedansi total sistem sehingga akan berpengaruh terhadap arus hubung singkatnya. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis arus hubung singkat 3 fasa pada sistem distribusi standar IEEE 18 bus dengan adanya pemasangan DG. Penelitian dimulai dengan membuat model sistem distribusi dan DG dengan menggunakan ETAP Power Station. Data-data sistem yang diperlukan kemudian dimasukkan ke dalam model tersebut. Setelah modelnya lengkap kemudian dilakukan simulasi aliran daya untuk mengetahui apakah model yang dibuat sudah sempurna atau belum. Jika modelnya belum sempurna, maka dilakukan perbaikan model lagi. Setelah itu dilakukan simulasi hubung singkat 3 fasa dengan terlebih dulu menetapkan lokasi hubung singkatnya. Setelah itu simulasi dilakukan dengan memvariasi lokasi hubung singkat dan lokasi pemasangan DG-nya. Hasil simulasi arus hubung singkat 3 fasa diamati dan data-datanya kemudian dianalisis. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan adanya DG dalam sistem distribusi maka arus hubung singkat 3 fasanya akan naik. Jumlah dan lokasi pemasangan DG juga berpengaruh terhadap magnitude arus hubung singkat 3 fasanya.*

**Kata kunci :** *distributed generation (DG); hubung singkat 3 fasa; sistem distribusi*

### Pendahuluan

Kehidupan masyarakat modern saat ini dari tahun ke tahun sangat bergantung pada energi listrik. Hal itu disebabkan tenaga listrik bersifat fleksibel, artinya energi dalam bentuk listrik lebih mudah dikonversikan menjadi energi lainnya. Energi listrik dapat dipakai untuk penerangan, penggerak mekanis di industri, rangkaian elektronika, dan lain-lain.

DG mulai banyak diaplikasikan dalam sistem tenaga listrik seiring meningkatnya permintaan energi listrik. DG dapat digunakan untuk menghilangkan biaya-biaya transmisi dan distribusi yang tidak perlu (slootweg, 2002). Pemasangan DG di beberapa lokasi dapat menjaga kestabilan tegangan dan memperbaiki profil tegangan sistem distribusi (Waseem, 2008). Menurut Raj et all (2008) pemasangan DG pada sistem distribusi standar IEEE 30 bus dapat mengurangi rugi-rugi transmisi dan distribusi serta memperbaiki profil tegangan.

Biasanya DG menggunakan generator yang berkapasitas lebih kecil bila dibandingkan dengan stasiun pembangkitan terpusat. DG akan mendistribusikan daya listrik di dekat beban sehingga tidak memerlukan pembangunan saluran transmisi yang baru. Kapasitas DG biasanya kurang dari 10 MW. Sumber energi untuk pembangkitan skala kecil (DG) antara lain dapat diperoleh dari sel surya, energi angin, pembangkit listrik tenaga mikrohidro, pembangkit listrik tenaga panas bumi, dan pembangkit listrik tenaga biomassa.

Fenomena hubung singkat dalam sistem tenaga listrik merupakan fenomena yang menarik bagi banyak peneliti. Erezzaghi and Crossley (2003) memaparkan pengaruh impedansi gangguan hubung singkat terhadap operasi peralatan proteksi dengan menggunakan bantuan PSCAD. Heine and Lehton (2003) memaparkan pengaruh gangguan hubung singkat terhadap profil 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. Celli 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.

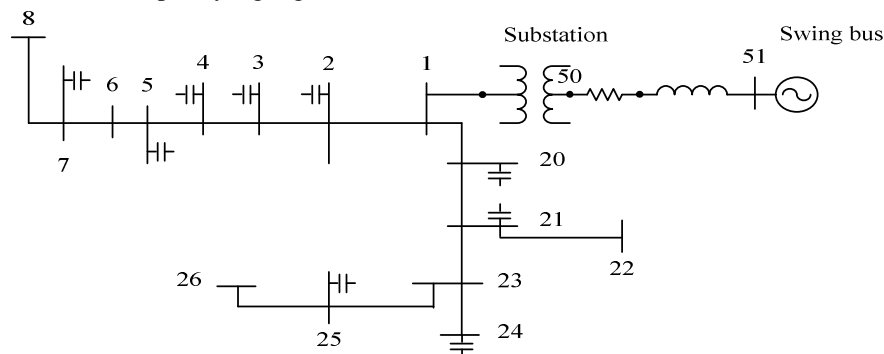
Berkaitan dengan arus hubung singkat, salah satu faktor yang berpengaruh adalah impedansi sumber dan impedansi saluran. Impedansi saluran ditentukan oleh panjang saluran, sedangkan arus hubung singkat ditentukan oleh impedansi hubung singkatnya. Dengan adanya pemasangan DG di dekat beban, maka juga akan berpengaruh terhadap impedansi total sistem sehingga juga akan berpengaruh terhadap arus hubung singkatnya. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis arus hubung singkat pada sistem distribusi standard IEEE 18 bus dengan adanya pemasangan 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*
2. Data-data sistem yang diperlukan dimasukkan ke dalam model tersebut.
3. Setelah modelnya lengkap dilakukan simulasi aliran daya untuk mengetahui apakah model yang dibuat sudah sempurna. Jika belum sempurna, maka dilakukan perbaikan model lagi.
4. Simulasi hubung singkat 3 fasa dijalankan dengan terlebih dulu menetapkan lokasi gangguannya
5. Hasil simulasi arus hubung singkatnya dicatat dan data-data hasil simulasi tersebut kemudian dianalisis
6. Simulasi dilakukan dengan memvariasi lokasi gangguan, lokasi pemasangan DG dan jumlah DG yang terpasang

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

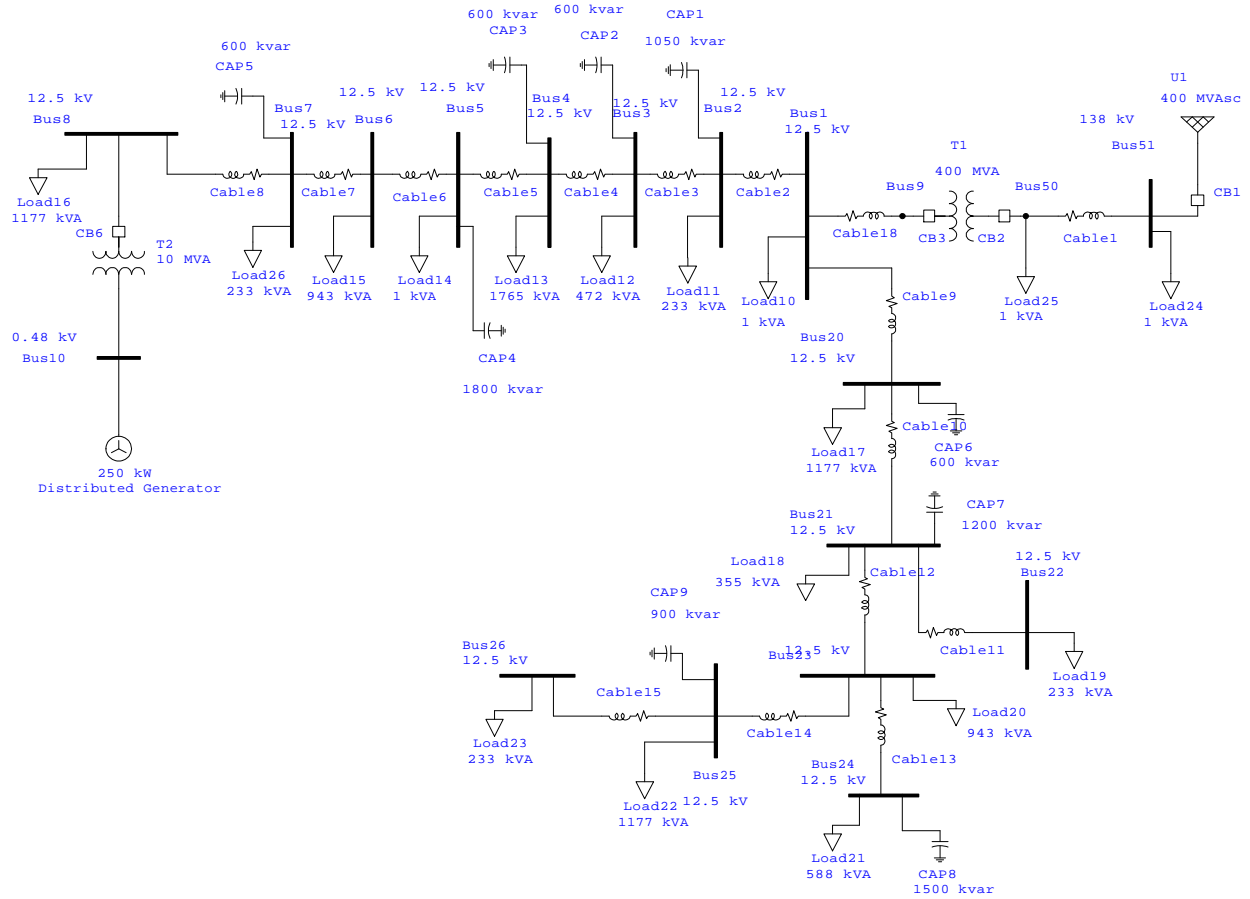
Bus	Beban	
	Aktif ( kW )	Reaktif ( kVAr)
1	1	0
2	200	120
3	400	250
4	1500	930
5	1	0
6	800	500
7	200	120
8	1000	620
9	500	310
20	1000	620
21	300	190
22	200	120
23	800	500
24	500	310
25	1000	620
26	200	120
50	1	0
51	1	0

Tabel 2 Impedansi saluran distribusi

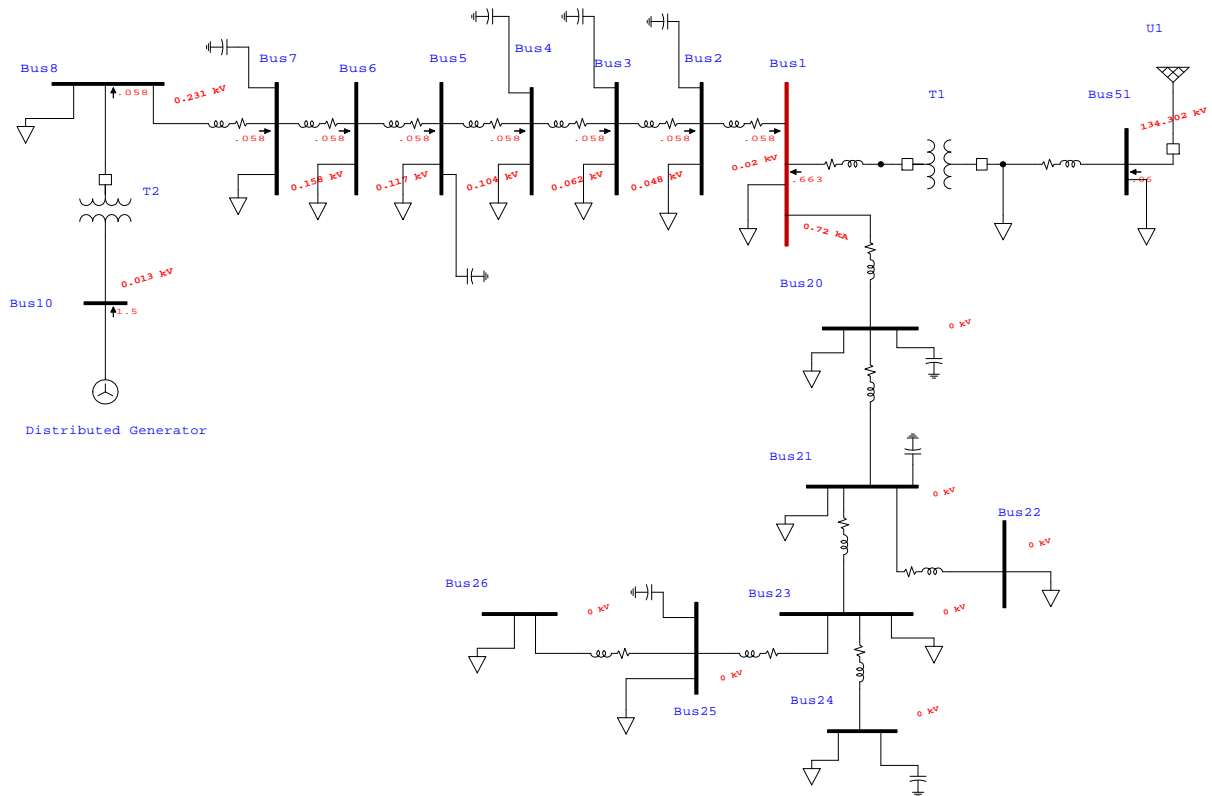
Dari Bus	Ke Bus	Resistansi (Ohm)	Reaktansi (Ohm)
1	2	0.0673	0.1881
2	3	0.0939	0.2620
3	4	0.0494	0.1378
4	5	0.1400	0.3909
5	6	0.0461	0.1288
6	7	0.2688	0.3313
7	8	0.6359	0.4770
2	9	0.2666	0.3452
20	21	0.3472	0.4495
21	22	0.7505	0.9716
21	23	0.6227	0.8063
23	24	0.4547	0.5888
23	25	0.5823	0.7177
25	26	0.3450	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 Hasil simulasi hubung singkat 3 fasa yang terjadi pada bus 1 dengan adanya 1 DG di bus 8

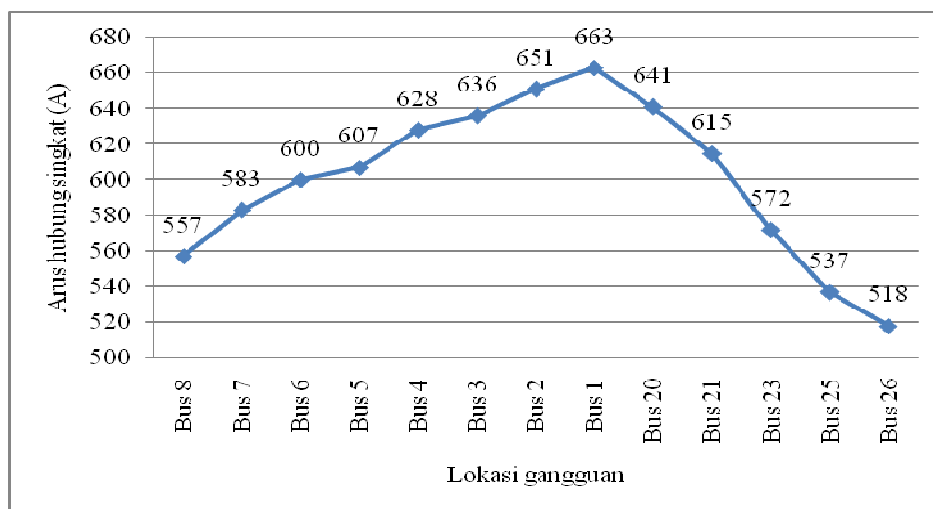
## Hasil Dan Pembahasan

Program analisis hubung singkat dalam ETAP dapat menganalisis hubung singkat 3 fase, hubung singkat saluran ke tanah, hubung singkat saluran ke saluran, dan hubung singkat saluran ganda ke tanah pada sistem distribusi. Program akan menghitung arus hubung singkat berdasarkan kontribusi dari motor, generator dan sistem *utility*. Analisis hubung singkat yang dilakukan pada penelitian ini adalah gangguan hubung singkat tiga fasa. Arus hubung singkat pada bus yang terganggu dihitung setelah 30 siklus (kondisi *steady state*). Semua mesin listrik direpresentasikan dengan impedansi internalnya. Kapasitansi saluran dan beban statis diabaikan. Sadapan transformator dapat diset pada posisi normal atau pada posisi sadapan untuk memperbaiki impedansi transformator dan tegangan sistem. Dianggap bahwa hubung singkat tidak menimbulkan percikan api sehingga resistansi busur apinya tidak diperhitungkan. Impedansi sistem dianggap seimbang dan metode komponen simetris digunakan untuk perhitungan gangguan tak seimbang. Dalam penelitian ini digunakan standar ANSI/IEEE untuk menghitung arus hubung singkat, dimana sumber tegangan ekuivalen pada lokasi gangguan, yang sama dengan tegangan sebelum terjadi gangguan, menggantikan semua sumber tegangan eksternal dan sumber tegangan internal mesin.

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 hubung singkat 3 fasa pada salah satu bus akan mengakibatkan terjadinya perubahan aliran daya. Arus yang semula mengalir menuju masing-masing bus, berubah arah dan magnitudenya menuju ke bus yang terganggu. Pada saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa, maka juga diikuti dengan perubahan tegangan sistem.

Pada saat sistem tanpa DG, arus hubung singkat tiga fasa yang terjadi hanya merupakan kontribusi dari *power grid* saja. Magnitude arus hubung singkatnya ditentukan oleh impedansi total antara *power grid* dengan lokasi gangguan. Impedansi ini meliputi impedansi urutan positif dari *power grid*, transformator gardu induk, dan saluran. Gambar 4 menunjukkan variasi arus hubung singkat tiga fasa pada saat sistem distribusi tidak dihubungkan dengan DG. Variasi nilai tersebut tergantung dari lokasi gangguan. Pada penyulang pertama (bus 8 – bus 1), arus hubung singkat tiga fasa yang paling kecil dihasilkan oleh gangguan yang terjadi pada bus no 8 (bus yang terjauh dari *power grid*), sedangkan arus hubung singkat yang paling besar dihasilkan oleh gangguan yang terjadi pada bus no 1 (bus yang terdekat dengan *power grid*). Pada penyulang kedua (bus 20 – bus 26), arus hubung singkat tiga fasa yang paling kecil dihasilkan oleh gangguan yang terjadi pada bus no 26 (bus yang terjauh dari *power grid*), sedangkan arus hubung singkat tiga fasa yang paling besar dihasilkan oleh gangguan yang terjadi pada bus no 20 (bus yang terdekat dengan *power grid*). Hasil ini sesuai dengan teori perhitungan arus hubung singkat tiga fasa yang menyatakan bahwa arus hubung singkat ditentukan oleh impedansi sistem. Semakin jauh bus tersebut dari *power grid*, maka impedansi salurannya akan semakin besar. Semakin besar impedansi salurannya maka arus hubung singkat tiga fasanya akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya.

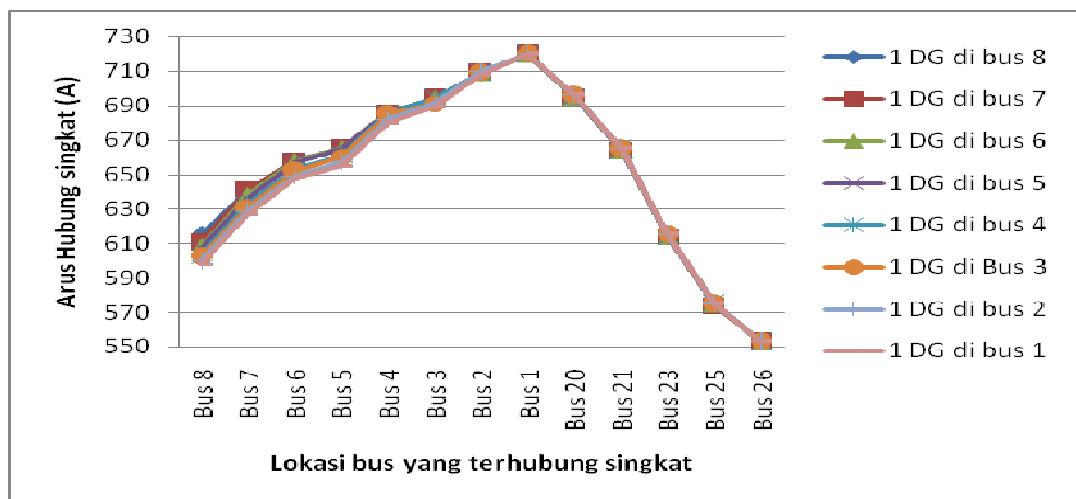
Pemasangan sebuah DG pada sistem distribusi akan mengakibatkan perubahan impedansi urutan positif dari sistem sehingga akan berpengaruh terhadap arus hubung singkat tiga fasa. Magnitude arus hubung singkat ditentukan oleh impedansi antara *power grid* sampai lokasi gangguan, impedansi antara DG sampai lokasi gangguan, dan impedansi transformator gardu induk. Tabel 4 menunjukkan pemasangan sebuah DG pada suatu bus dalam sistem distribusi mengakibatkan kenaikan magnitude arus hubung singkat 3 fasa. Hal ini disebabkan karena dengan terpasangnya DG maka jumlah sumber listriknya menjadi bertambah sehingga aliran daya listriknya juga menjadi berubah. Beban yang semula disuplai dari *power grid*, dengan adanya DG maka beban tersebut akan disuplai dari DG tersebut. Dampak selanjutnya adalah terjadinya penurunan impedansi saluran. Sesuai dengan Hukum Ohm, semakin kecil impedansi maka arusnya akan semakin besar.



Gambar 4 Arus hubung singkat tiga fasa saat 1 buah DG dihubungkan pada bus 8

Tabel 4 Arus hubung singkat tiga fasa yang terjadi pada saat 1 buah DG dipasang pada bus tertentu

Lokasi Gangguan	Arus hubung singkat tiga fasa (A) dengan adanya 1 buah DG di							
	Bus 8	bus 7	bus 6	bus 5	bus 4	Bus 3	bus 2	bus 1
Bus 8	615	611	608	607	603	602	600	598
Bus 7	641	641	638	636	633	631	629	627
Bus 6	658	658	658	657	653	652	649	648
Bus 5	665	665	665	665	661	660	657	655
Bus 4	686	686	686	686	686	685	682	680
Bus 3	693	694	694	694	694	691	691	689
Bus 2	709	709	709	709	709	709	710	708
Bus 1	720	720	720	720	720	720	720	720
Bus 20	695	695	695	695	695	696	696	696
Bus 21	664	664	664	664	665	665	665	665
Bus 23	614	614	614	614	614	615	615	615
Bus 25	574	574	575	575	575	575	575	575
Bus 26	553	553	553	553	553	553	553	553

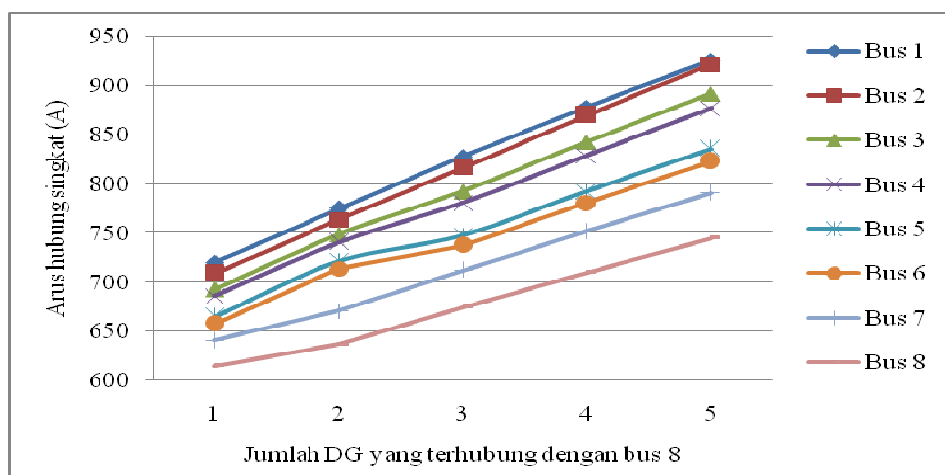


Gambar 5 Arus hubung singkat tiga fasa yang terjadi pada saat 1 buah DG dipasang pada bus tertentu

Tabel 4 dan gambar 5 menunjukkan pengaruh variasi lokasi pemasangan DG terhadap arus hubung singkat tiga fasa. Variasi lokasi pemasangan sebuah DG di penyulang pertama mengakibatkan perubahan magnitude arus hubung singkat. Semakin dekat lokasi pemasangan DG dengan lokasi gangguan maka arus hubung singkatnya akan semakin besar, walaupun perubahannya tidak terlalu besar. Hal ini disebabkan semakin dekat dengan DG, maka impedansi salurannya akan semakin kecil sehingga kontribusi DG terhadap arus hubung singkat juga akan semakin besar. Secara keseluruhan terlihat bahwa kontribusi DG terhadap arus hubung singkat pada penyulang pertama adalah lebih besar daripada penyulang kedua. Hal ini dapat dilihat dari variasi arus hubung singkat yang lebih besar pada penyulang pertama daripada variasi arus hubung singkat pada penyulang kedua. Kondisi ini menunjukkan bahwa pemasangan DG di penyulang pertama tidak terlalu berpengaruh pada penyulang kedua. Sebagian besar arus hubung singkat yang terjadi pada penyulang kedua adalah kontribusi dari *power grid*. Tabel 4 dan gambar 5 juga menunjukkan bahwa ketika DG dipasang lokasi yang tetap tetapi lokasi gangguannya berubah, maka juga akan mengakibatkan perubahan arus hubung singkat tiga fasa. Pada penyulang pertama (bus 8 – bus 1), arus hubung singkat terkecil dihasilkan oleh gangguan yang terjadi pada bus 8 dan arus hubung singkat terbesar dihasilkan oleh gangguan yang terjadi pada bus 1. Semakin mendekati *power grid*, maka arus hubung singkatnya akan semakin membesar. Kondisi yang sama juga terjadi pada penyulang kedua. Arus hubung singkat terkecil dihasilkan oleh gangguan yang terjadi pada bus 26 dan arus hubung singkat terbesar dihasilkan oleh gangguan yang terjadi pada bus 20.

Tabel 5 Arus hubung singkat tiga fasa yang terjadi pada saat beberapa DG dihubungkan pada bus 8

Lokasi gangguan	Arus hubung singkat tiga fasa (A) dengan adanya DG pada bus 8 sebanyak				
	1	2	3	4	5
Bus 1	720	775	828	878	926
Bus 2	709	764	817	870	922
Bus 3	693	749	793	843	892
Bus 4	686	741	781	829	877
Bus 5	665	721	748	793	836
Bus 6	658	714	738	781	823
Bus 7	641	671	712	752	791
Bus 8	615	637	675	710	745



Gambar 6 Arus hubung singkat tiga fasa yang terjadi pada saat beberapa DG dihubungkan pada bus 8

Jumlah DG yang terpasang pada sistem juga berpengaruh terhadap magnitudo arus hubung singkat tiga fasa. Tabel 5 dan gambar 6 menunjukkan bahwa semakin banyak DG yang terpasang pada bus 8, maka arus hubung singkat 3 fasanya akan semakin membesar. Hal ini disebabkan karena arus hubung singkat yang terjadi merupakan kontribusi dari beberapa buah sumber yaitu dari *power grid* dan beberapa buah DG. DG yang dipasang pada sebuah bus dalam sistem tersebut mempunyai kapasitas sama sehingga kontribusinya terhadap arus hubung singkat adalah sama besar. Impedansi urutan positif DG adalah konstan walaupun lokasi terjadi gangguannya berubah-ubah. Dengan demikian, impedansi saluranlah yang akan menentukan kontribusi dari masing-masing DG.

### Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada saat sistem belum terpasang DG, arus hubung singkat 3 fasa hanya ditentukan oleh lokasi gangguan saja. Semakin dekat lokasi gangguan dengan *power grid*, maka arus hubung singkat 3 fasanya akan semakin besar.
2. Pemasangan DG pada sistem mengakibatkan kenaikan arus hubung singkat 3 fasa.
3. Jumlah dan lokasi DG juga berpengaruh terhadap magnitudo arus hubung singkat 3 fasa.

### 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
- 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
- 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 11<sup>th</sup> International Conf. on Harmonics and Quality of Power*, pp. 117 - 122
- Raj Vimal D Ajay P et al, (2008), "*Optimization of Distributed Generation Capacity for Line Loss Reduction and Voltage Profile Improvement Using PSO*", Faculty of Electrical Engineering Universiti Teknologi Malaysia
- Waseem Irfan et al, (2008), "*Impacts of Distributed Generation on the Residential Distribution Network Operation*", Virginia Polytechnic Institute and State University
- Willis, H. L. and Scott, W. G., (2000), "*Distributed Power Generation Planning and Evaluation*, Marcel Dekker, Inc.