

ANALISIS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT SATU FASE KE TANAH PADA SISTEM DISTRIBUSI STANDAR IEEE 13 BUS

Agus Supardi¹, Aris Budiman², Fajar Widiyanto³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura Surakarta
Email : Agus.Supardi@ums.ac.id

Abstrak

Pada operasi sistem tenaga listrik sering terjadi gangguan yang mengakibatkan terganggunya penyaluran tenaga listrik ke konsumen. Jenis gangguan yang sering terjadi pada sistem tenaga listrik adalah hubung singkat satu fase ke tanah. Untuk mengatasi gangguan tersebut, perlu dilakukan suatu analisis hubung singkat sehingga sistem proteksi yang tepat pada sistem tenaga listrik dapat ditentukan. Dalam penelitian ini akan dianalisis gangguan hubung singkat satu fase ke tanah pada sistem distribusi standar IEEE 13 bus. Analisis arus hubung singkat satu fase ke tanah pada sistem distribusi dilakukan dengan bantuan software ETAP Power Station 7.0. Penelitian diawali dengan membuat model sistem distribusi standar 13 bus dengan menggunakan ETAP Power Station 7.0. Data-data sistem yang diperlukan kemudian dimasukkan ke dalam model yang terdiri dari data impedansi saluran distribusi, data kapasitor, data trafo, data beban dan data Distributed Generation (DG). Setelah modelnya lengkap kemudian dilakukan simulasi aliran daya untuk mengetahui apakah model yang dibuat sudah sempurna atau belum. Kemudian ditentukan lokasi yang akan terjadi gangguan hubung singkat. Arus hubung singkat pada bus yang terganggu dihitung setelah 30 siklus (kondisi steady state). Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada saat pada saat sistem distribusi belum dipasang DG maka arus gangguan satu fase ke tanah hanya ditentukan oleh lokasi gangguan saja. Gangguan yang terjadi di dekat power grid akan menghasilkan arus hubung singkat yang lebih besar. Pada saat sistem distribusi dipasang DG maka akan terjadi kenaikan arus khususnya bila lokasi gangguannya di dekat DG. Semakin banyak DG yang terpasang pada suatu bus tertentu maka arus gangguannya akan semakin besar.

Kata kunci: *Hubung singkat 1 fase ke tanah; sistem distribusi standar IEEE 13 bus*

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 (*Distributed Generation*) 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).

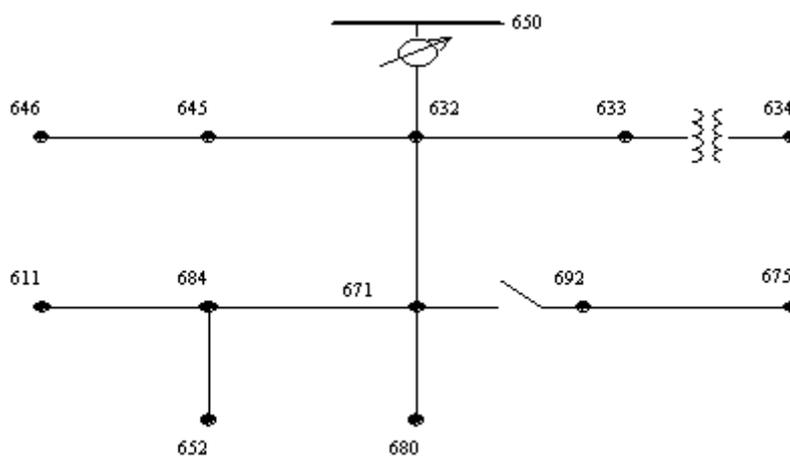
Dalam operasi sistem tenaga listrik seringkali dijumpai gangguan. Suatu gangguan di dalam sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai terjadinya suatu kerusakan di dalam jaringan listrik yang menyebabkan aliran arus listrik tidak melalui saluran yang semestinya. Berdasarkan ANSI/IEEE Std. 100-1992, gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen, atau suatu elemen untuk bekerja sebagaimana mestinya. Jenis gangguan yang sering terjadi adalah gangguan hubung singkat antar fase atau hubung singkat fase ke tanah. 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 penelitian 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). Dalam paper ini akan dipaparkan tentang analisis arus gangguan satu fase ke tanah pada sistem distribusi standar IEEE 13 bus yang dipasang DG pada lokasi tertentu.

Metodologi Penelitian

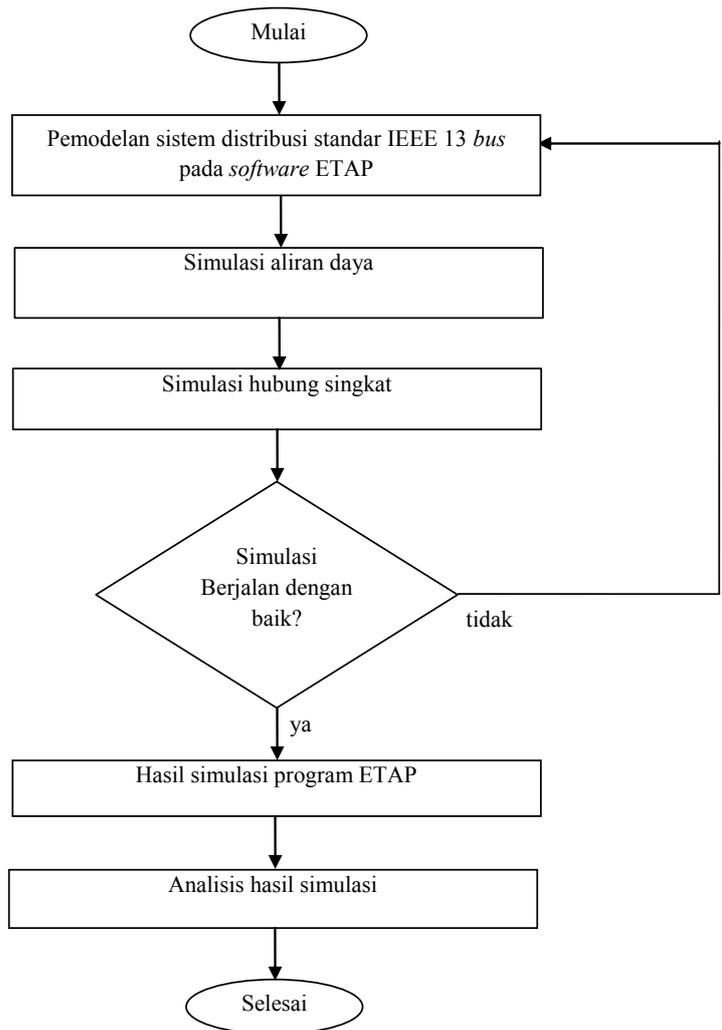
Bahan utama penelitian ini adalah sistem distribusi standar IEEE 13 bus dengan diagram garis tunggal seperti gambar 1. Sistem distribusi standar IEEE 13 bus memiliki 2 kapasitor yang terhubung pada bus 611 dan bus 675 serta memiliki konfigurasi fase yang berbeda-beda pada tiap-tiap busnya. Ada yang menggunakan sistem 3 fase 3 kabel, sistem 3 fase 4 kabel, sistem 1 fase 2 kabel dan sistem 2 fasa 3 kabel. 10 bus terletak pada sistem distribusi 4.16 kV, 2 bus (611 dan 652) terletak pada sisi tegangan 2.4 kV, dan 1 bus (634) pada tegangan 0.48 KV dari trafo gardu induk yang disuplai dari bus 633. Sistem distribusi ini bertipe radial dengan 2 penyulang utama. Beban yang dihubungkan pada sistem distribusi ini juga tidak seimbang. DG yang dipakai dalam simulasi ini adalah turbin mikro 480 V, 250 kW seperti yang digunakan oleh Kirawanich et al (2004). Tegangan keluaran turbin mikro ini tidak sinusoidal murni tetapi terdapat distorsi yang ditunjukkan dengan THD-v (*Total Harmonic Distortion of Volt*) sebesar 5,94%.



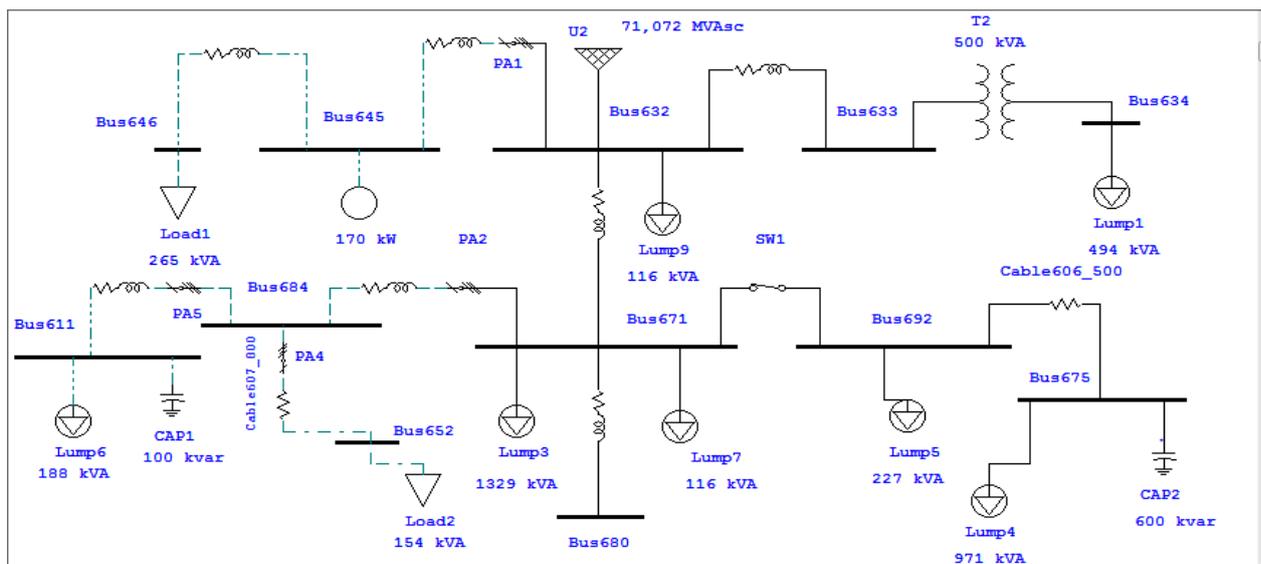
Gambar 1 Diagram garis tunggal sistem distribusi standar IEEE 13 bus

Jalannya penelitian adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dimulai dengan pembuatan model sistem distribusi standar IEEE dengan menggunakan *ETAP Power Station*.
2. Data-data sistem distribusi dimasukkan ke dalam model yang meliputi nilai impedansi saluran distribusi, data kapasitor, data transformator, data bus dan data *power grid*.
3. Simulasi gangguan hubung singkat satu fase ke tanah dilakukan setelah modelnya lengkap. Besarnya arus gangguan yang mengalir pada sistem distribusi dapat diketahui dari hasil simulasi.
4. Simulasi dilanjutkan dengan mengubah lokasi gangguan, menambah DG dan mengubah lokasi pemasangan DG pada sistem distribusi.
5. Setiap langkah simulasi diikuti dengan pencatatan nilai arus gangguan pada sistem. Analisis gangguan dilakukan berdasarkan data – data tersebut.



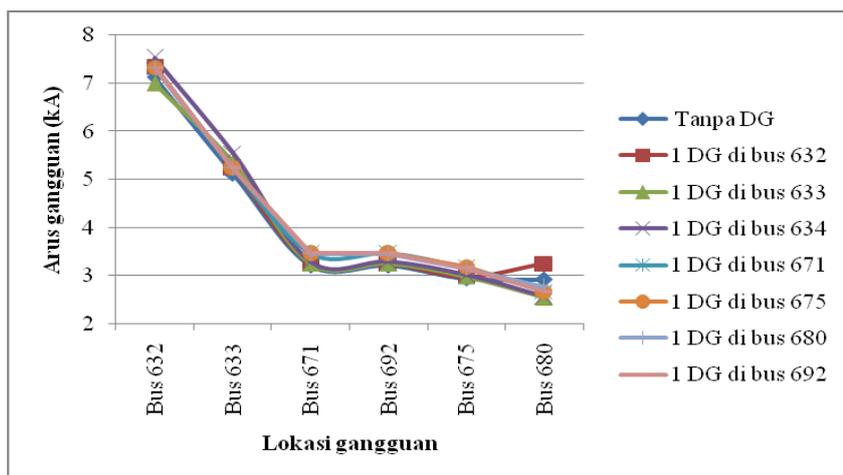
Gambar 2 Diagram alir penelitian



Gambar 3 Model sistem distribusi IEEE 13 dalam ETAP

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

Lokasi Gangguan	Arus gangguan (kA) dengan adanya 1 buah DG di							
	Tanpa DG	Bus 632	bus 633	bus 634	bus 671	bus 675	Bus 680	bus 692
Bus 632	7,12	7,35	6,99	7,53	7,33	7,33	7,33	7,33
Bus 633	5,12	5,24	5,35	5,55	5,23	5,23	5,23	5,23
Bus 634	16,55	16,69	16,82	19,47	16,68	16,68	16,67	16,68
Bus 671	3,21	3,25	3,25	3,29	3,46	3,46	3,45	3,46
Bus 692	3,21	3,25	3,25	3,29	3,46	3,46	3,45	3,46
Bus 675	2,94	2,98	2,98	3,01	3,15	3,19	3,15	3,15
Bus 680	2,92	3,25	2,54	2,56	2,67	2,67	2,77	2,67



Gambar 3 Arus gangguan yang terjadi pada sistem saat tanpa DG dan saat ada 1 buah DG

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. Impedans sistem dianggap seimbang dan metode komponen simetris digunakan untuk perhitungan gangguan tak seimbang.

Besarnya impedansi saluran antar bus pada sistem distribusi standar IEEE 13 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. Dalam penelitian ini simulasi gangguan hanya dilakukan pada sistem distribusi 3 fase.

Pada saat sistem tanpa DG, arus gangguan yang terjadi hanya merupakan 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, dan saluran. Tabel 1 dan gambar 3 menunjukkan magnitude arus gangguan pada saat sistem distribusi tanpa DG. Magnitude arus gangguan akan bervariasi tergantung pada lokasi gangguan. Untuk level tegangan yang sama (4,16 kV) maka arus gangguan yang paling kecil dihasilkan oleh gangguan pada bus no 680 (bus yang terjauh dari *power grid*), sedangkan arus gangguan paling besar dihasilkan oleh gangguan pada bus no 632 (bus yang terdekat dengan *power grid*). Magnitude arus gangguannya, ditentukan oleh impedansi antara *power grid* dengan lokasi terjadinya gangguan. Semakin jauh dari *power grid*, maka impedansi totalnya akan semakin besar sehingga arus gangguannya akan semakin kecil. Untuk keseluruhan sistem, arus gangguan terbesar dihasilkan oleh gangguan pada bus 634. Hal ini disebabkan bus ini dihubungkan dengan terminal sekunder dari transformator *step down* yang mempunyai level tegangan yang lebih kecil dibanding dengan bus lainnya yaitu sebesar 0,48 V. Arus gangguan yang dihasilkan pada

bus 671 sama dengan arus gangguan yang dihasilkan pada bus 692. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa di antara kedua bus ini hanya terdapat sebuah saklar dan tidak terdapat impedansi penghantar.

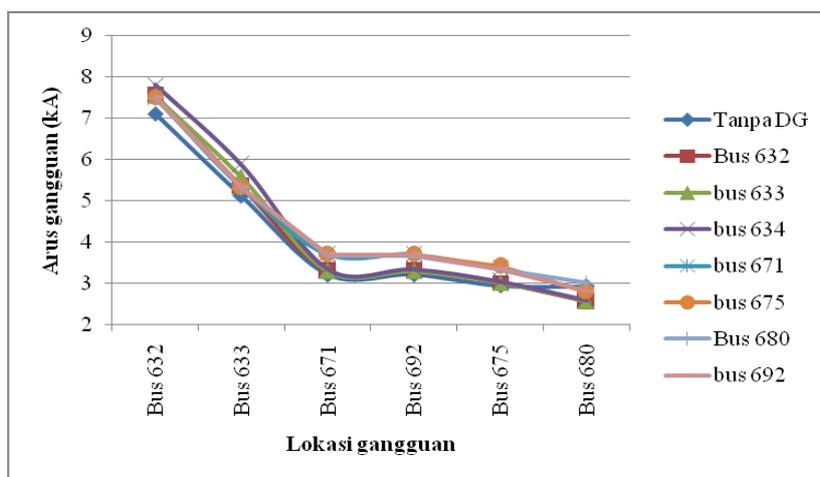
Pada saat sistem distribusi dipasang sebuah DG maka terjadi perubahan nilai arus gangguan. Arus gangguan yang terjadi pada suatu bus merupakan kontribusi dari *power grid* dan DG. Nilai arus gangguannya, ditentukan oleh impedansi antara *power grid* dengan lokasi terjadinya gangguan serta ditentukan oleh impedansi antara DG dengan lokasi terjadinya gangguan. Kontribusi DG terhadap arus gangguan lebih kecil dari kontribusi *power grid*.

Tabel 1 dan gambar 3 juga menunjukkan bahwa pemasangan sebuah DG pada suatu bus tertentu dalam sistem distribusi mengakibatkan kenaikan magnitude arus gangguan. Variasi lokasi pemasangan sebuah DG pada salah bus mengakibatkan perubahan magnitude 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.

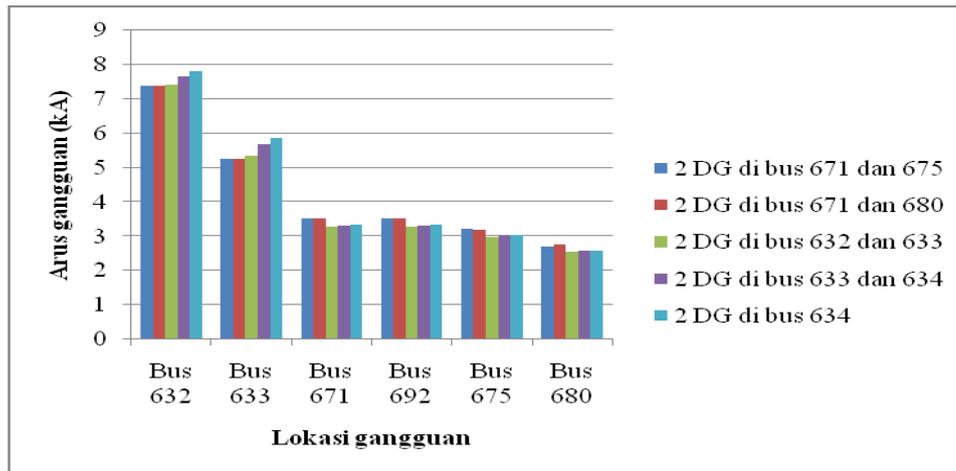
Jumlah DG yang terpasang pada sistem juga berpengaruh terhadap magnitude arus gangguan. Tabel 2 menunjukkan bahwa pemasangan 2 buah DG mengakibatkan arus gangguan di suatu bus menjadi lebih besar dari saat hanya 1 buah DG yang terpasang. Hal ini disebabkan karena arus gangguan yang terjadi merupakan 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 terbesar yang dihasilkan oleh setiap bus terjadi ketika kedua DG dipasang pada bus 633 dan 634. Arus gangguannya akan semakin kecil bila salah satu DG dipasang menjauhi lokasi terjadinya gangguan.

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

Lokasi Gangguan	Arus gangguan (kA) dengan adanya 2 buah DG di							
	Tanpa DG	Bus 632	bus 633	bus 634	bus 671	bus 675	Bus 680	bus 692
Bus 632	7,12	7,56	7,55	7,82	7,51	7,51	7,49	7,51
Bus 633	5,12	5,35	5,57	5,87	5,32	5,32	5,31	5,32
Bus 634	16,55	16,81	17,06	22,11	16,79	16,78	16,77	16,79
Bus 671	3,21	3,29	3,29	3,34	3,7	3,69	3,67	3,7
Bus 692	3,21	3,29	3,29	3,34	3,7	3,69	3,67	3,7
Bus 675	2,94	3,01	3,01	3,05	3,35	3,42	3,33	3,35
Bus 680	2,92	2,57	2,56	2,59	2,81	2,8	3,01	2,81



Gambar 4 Arus gangguan yang terjadi pada sistem dengan adanya 2 buah DG



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

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada saat sistem distribusi belum dipasang DG maka arus gangguan satu fase ke tanah hanya ditentukan oleh lokasi gangguan saja. Gangguan yang terjadi di dekat *power grid* akan menghasilkan arus hubung singkat yang lebih besar.
2. Pada saat sistem distribusi dipasang DG maka akan terjadi kenaikan arus khususnya bila lokasi gangguannya di dekat DG.
3. Semakin banyak DG yang terpasang pada suatu bus tertentu maka arus gangguannya akan semakin besar

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.