

ANALISIS PENGARUH PENEMPATAN PEMBANGKITAN TERDISTRIBUSI TERHADAP KESTABILAN TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI

Pradana Putradewa Jayawardana^{*)}, Hermawan, and Susatyo Handoko

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Suedarto, S.H. Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}Email : Pradana.jayawardana@gmail.com

Abstrak

Sistem tenaga listrik konvensional dirancang untuk menyalurkan daya listrik dalam jumlah besar dari unit generator terpusat melalui saluran transmisi dan sistem distribusi menuju pelanggan. Pembangkitan terdistribusi (DG) didefinisikan sebagai sumber tenaga listrik yang terhubung secara langsung pada jaringan distribusi atau pada sisi pelanggan. Tugas Akhir ini mempelajari efek pemasangan pembangkitan terdistribusi terhadap kestabilan sistem distribusi. Kestabilan sistem dievaluasi dari indeks kestabilan tegangan dari sistem distribusi. Kasus yang pertama menggunakan sistem distribusi 69 bus, dan kasus kedua menggunakan Mrica 05 di Banjarnegara. Besar indeks kestabilan tegangan rata-rata pada kasus I dengan kondisi tanpa DG adalah 0,8036; 3 DG adalah 0,9514; 5 DG adalah 1,0722; 7 DG adalah 1,1107; dan kondisi 9 DG adalah 1,1408. Sedangkan dalam kasus II, besar indeks kestabilan tegangan rata-rata kondisi sebelum pemasangan DG, kondisi DG existing, dan kondisi DG di masa dengan adalah 0,9388; 0,952; dan 0,9758. Dalam kedua kasus di atas, pemasangan pembangkitan terdistribusi mengakibatkan indeks kestabilan tegangan sepanjang penyulang lebih besar daripada tanpa pemasangan. Namun demikian, pemasangan DG harus tetap memperhatikan batas maksimum tegangan operasi untuk mencegah terjadinya tegangan lebih ketika indeks kestabilan tegangan tinggi.

Kata Kunci : sistem aktif, distributed generation, sistem distribusi, kestabilan sistem, indeks kestabilan tegangan

Abstract

Electric power system is conventionally designed to transport bulk amount of electric power from centralized generation unit through the transmission line and distribution network to customers. Pembangkitan terdistribusi described as an electric power source that directly connected to the distribution network or on the customer site of the meter. This Final Project studied the effect of allocation of pembangkitan terdistribusi on distribution system stability. The system stability evaluated from voltage stability index of the distribution system. First case used the 69 bus distribution systems, and the second case used Mrica 05 feeder in Banjarnegara. The mean of voltage stability index on case I without DG installed was 1,0722; 3 DG was 0,9514; 5 DG was 1,0722; 7 DG was 1,1107; and in 9 DG condition was 1,1408. Whereas in case II, the mean of voltage stability index without DG installed; DG existing condition; and future DG condition were 0,9388, 0,9523, and 0,9758 consecutively. In both case, the allocation of pembangkitan terdistribusi gave the better voltage stability index across feeder than before installation. However, the installation of DG had to consider the maximum operated voltage to prevent over voltage on the system when voltage stability index was high.

Keyword : pembangkitan terdistribusi, sistem distribusi, kestabilan sistem, profil tegangan, indeks kestabilan tegangan

1. Pendahuluan

Sistem tenaga listrik yang handal, berkualitas, dan mampu selalu memenuhi kebutuhan permintaan pelanggan merupakan tujuan dari penyediaan energi listrik. Di Indonesia, Perusahaan Listrik Negara (PLN) adalah perusahaan listrik satu-satunya yang memegang peranan

menjaga daya listrik agar selalu memenuhi kriteria teknis (berupa nilai tegangan yang stabil, kualitas daya yang sesuai standar, dan sebagainya) dan kriteria ekonomis (harga listrik yang dibangkitkan seminimal mungkin) dalam kondisi permintaan energi listrik yang selalumeningkat.

Dalam RUPTL PT PLN (Persero) 2011-2020^[16], PLN membuat rancangan pengadaan energy listrik yang salah satunya adalah dengan pembangunan pembangkit listrik skala kecil oleh pihak swasta maupun masyarakat untuk kemudian energy listrik yang di hasilkan akan di sambungkan dengan system kelistrikan PLN. Pembangkit listrik skala kecil tersebut dapat berupa pembangkit listrik dengan energy baru dan terbarukan atau berupa pembangkit listrik dengan bahan bakar fosil (minyak, gas, ataubatubara).

Berdasarkan kondisi geografis dan demografis di Indonesia, maka program pemanfaatan pembangkit listrik skala kecil atau yang kerap disebut pembangkitan terdistribusi (DG) merupakan salah satu solusi untuk membantu krisis listrik di beberapa daerah di Indonesia^[18]. Selainitu, potensi energy baru dan terbarukan skala kecil yang banyakterdapat di Indonesia juga mendorong partisipasi berbagai kalangan untuk memanfaatkan potensi tersebut melalui penggunaan DG^[16].

Seiring semakin bertambahnya pemanfaatan DG, maka studi untuk menganalisis dampak pemasangan DG pun semakin banyak. Penelitian oleh Barker dan de Mello menunjukkan bahwa DG dapat meningkatkan performa sistem. Akan tetapi, ada beberapa hal yang harus diperhatikan seperti harmonisa, profil tegangan, hingga penyetulan system proteksi agar pemasangan DG tidak akan menurunkan ke andalan, kualitas, dan ke amanan dari system distribusi^[3]. Hemdan dan Kurrat^[9] menyimpulkan bahwa lokasi pemasangan DG lebih menentukan terhadap kestabilan tegangan system daripada besar kapasitasnya, sehingga apabila di mungkinkan, pemasangan DG tidak diletakkan pada satu bus tetapi disebar di berbagai lokasi penyulang. Tingkat penetrasi DG pada system tidak hanya berimbas pada system distribusi, tapi juga dapat berimbas pada stabilitas transien dari system transmisi^[19].

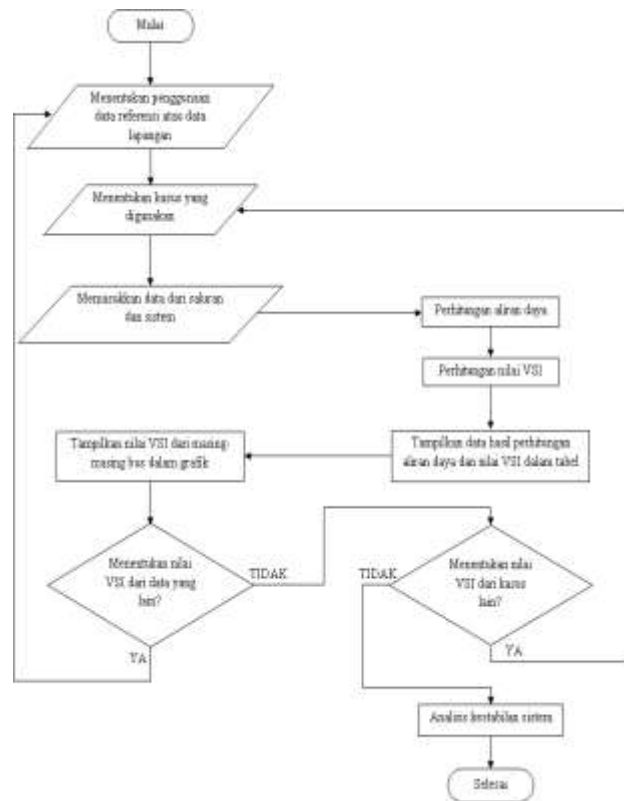
Dengan latar belakang tersebut, maka penulis mencoba melakukan analisis pemasangan DG terhadap kestabilan tegangan system distribusi. Data yang digunakan sebagai referensi adalah system distribusi 69 bus^[9], sedangkan data lapangan yang digunakan adalah system *existing* yang ada milik PT. PLN (Persero) Rayon Banjarnegara. Metode aliran daya yang digunakan dalam perhitungan adalah metode Newton-Raphson. Alat bantu perhitungan dan analisis yang digunakan adalah perangkat lunak Matlab 7.6.

2. Metode

2.1 Perancangan Simulasi Sistem

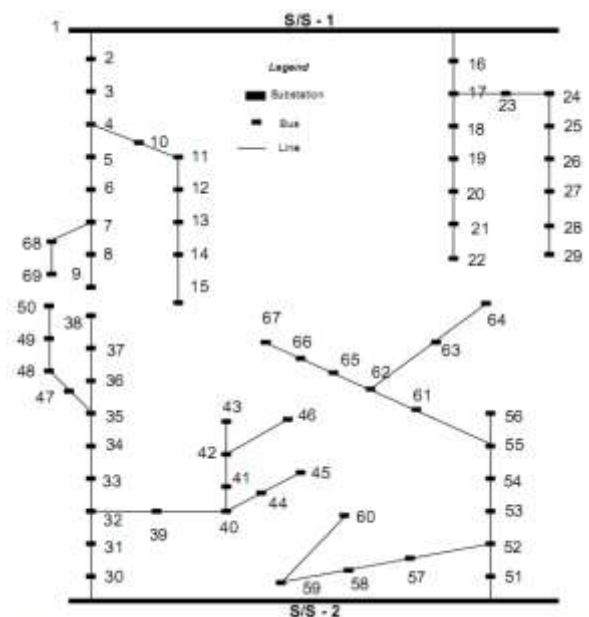
Diagram alir perancangan dan pembuatan program Analisis Pengaruh Penempatan Pembangkitan

terdistribusi terhadap Kestabilan Tegangan pada Sistem Distribusi ditunjukkan pada Gambar1 sebagai berikut :



Gambar1 Blok Diagram Alir Tahap Pembuatan Simulasi Sistem

Simulasi menggunakan program Matlab 7.6 dengan menggunakan data system untuk studi kasus 1 sebagai berikut:



Gambar 2 Sistemdistribusi 69 bus^[8]

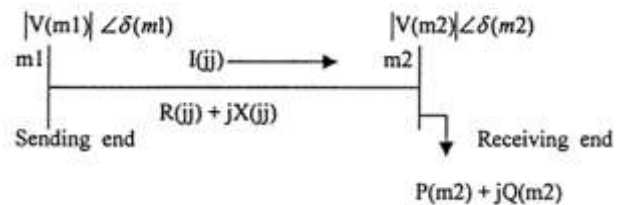
Tabel 1 Kapasitas dan penempatan optimal pembangkitan terdistribusi pada data referensi^[8]

Bus	Kapasitas yang ditambahkan (MW)			
	3 DG	5 DG	7 DG	9 DG
8	-	1,769	-	-
9	-	-	1,672	1,648
17	-	0,041	0,055	-
18	2,634	-	-	-
19	-	2,885	-	-
20	-	-	-	2,402
22	-	-	1,801	-
26	-	-	-	0,101
28	-	-	-	0,103
29	-	-	0,216	0,119
38	0,424	1,823	1,867	1,884
40	-	-	0,059	-
42	-	-	-	0,060
52	4,028	-	-	-
55	-	-	-	1,001
64	-	0,862	1,725	1,155
Total	7,087	7,379	7,394	8,472

Tabel 2 Kapasitas dan penempatan pembangkitan terdistribusi pada studi kasus 2

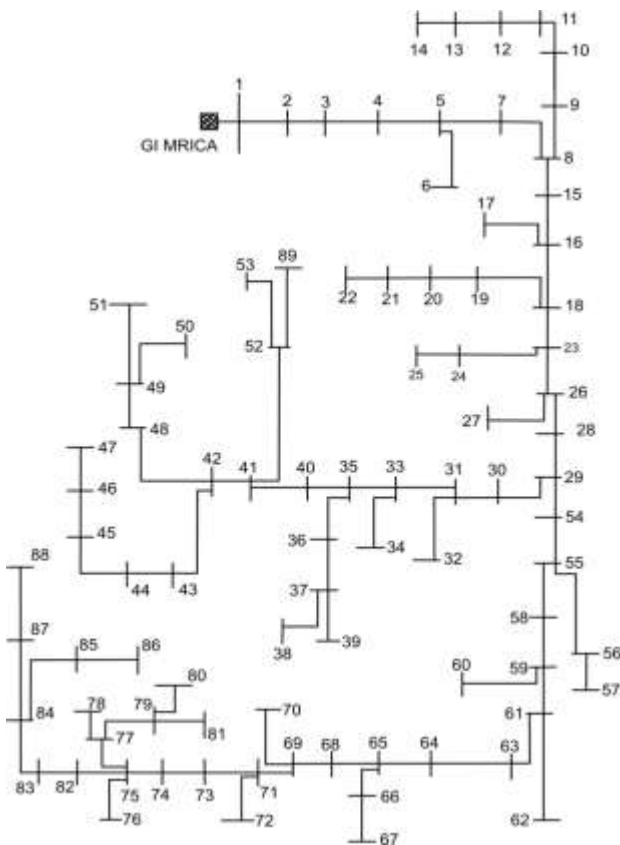
Bus	Kapasitas DG (kVA)	
	Existing	Pengembangan
13	500	500
22	-	500
47	-	500
67	500	500
81	-	500

Untuk menganalisis pengaruh penempatan pembangkitan terdistribusi terhadap kestabilan sistem, digunakan indeks skestabilan tegangan yang didapatkan dari Gambar 4 berikut:



Gambar 4 Sistem dua bus sederhana^[4]

Sedangkan data penyulang Mrica 05 PLN Rayon Banjarnegara untuk studi kasus 2 ditunjukkan pada Gambar 3 dan Tabel 2. Beban-beban satu fasa pada beberapa titik dikumpulkan dalam satu titik dan dimodelkan dalam beban tiga fasa seimbang.



Gambar 3 Diagram satu garis penyulang Mrica 05

Dari Gambar 4, didapatkan;

$$SI(m2) = |V(m1)|^4 - 4.0\{P(m2)x(jj) - Q(m2)r(jj)\}^2 - 4.0\{P(m2)r(jj) + Q(m2)x(jj)\}|V(m1)|^2$$

Dengan

SI(m2) adalah Indeks KestabilanTegangan (SI) padatitik(m2 = 2, 3, ..., NB)

jj adalah nomor saluran,

m1 adalah ujung sisi kirim,

m2 adalah ujung sisi terima,

r(jj) adalah resistansi pada saluran jj,

x(jj) adalah reaktansi pada saluran jj,

V(m1) adalah tegangan pada titik m1,

P(m2) adalah total daya aktif beban pada titik m2 dan setelahnya,

Q(m2) adalah total daya reaktif beban pada titik m2 dan setelahnya,

Untuk operasi yang stabil dari system distribusi radial, kondisi $SI(m2) \geq 0$ untuk $m2 = 2, 3, \dots, NB$ harus terpenuhi.

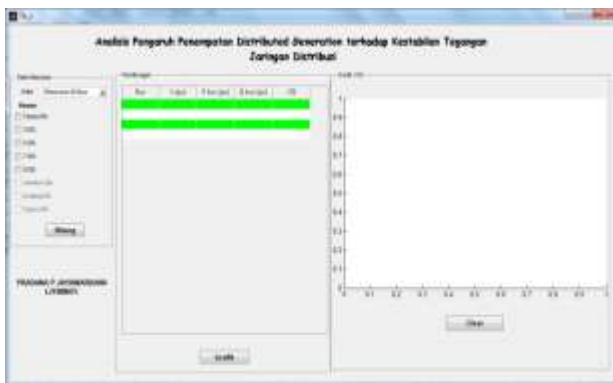
Dengan menggunakan indek skestabilan tegangan, dapat diukur level kestabilan dari system distribusi radial. Titik yang memiliki nilai SI terendah, maka lebih sensitive terhadap jatuh tegangan. Dengan demikian, langkah yang sesuai dapat diambil jika dari indeks menunjukkan level stabilitas yang rendah^[4].

2.2 Pengoperasian Program

Tampilan awal program simulasi tampak pada Gambar 5 dan tampilan utama program simulasi tampak pada Gambar 6 berikut:



Gambar 5 Tampilan awal program simulasi



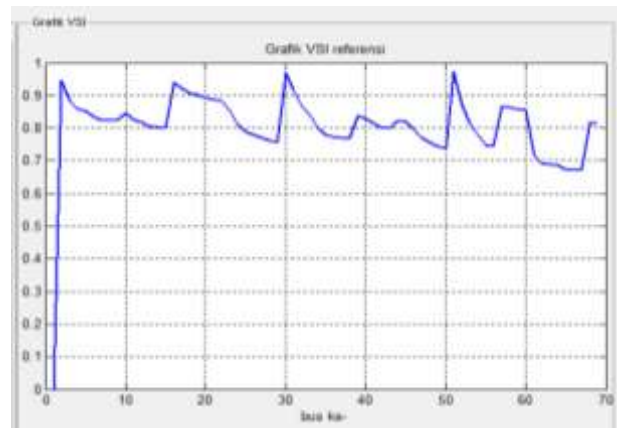
Gambar 6 Tampilan utama program simulasi

3. Hasil dan Analisis

Dalam penelitian ini, analisis pemasangan pembangkitan terdistribusi terhadap kestabilan tegangan system diuji dengan dua studi kasus. Studi kasus I menggunakan system distribusi 69 bus, sedangkan studi kasus II menggunakan system distribusi penyulang Mrica 05 milik PLN Rayon Banjarnegara.

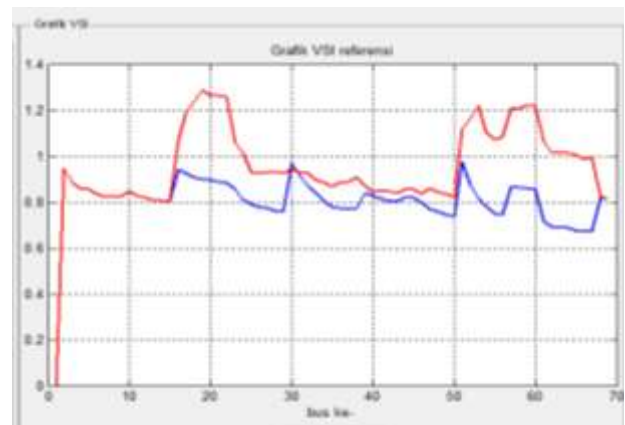
3.1 Studi Kasus I (Sistem Distribusi 69 Bus)^[9]

Pada studi kasus I, digunakan lima variasi kondisi system sesuai dengan jumlah unit pembangkitan terdistribusi yang terpasang, yaitu tanpa DG; 3 DG, 5DG; 7 DG; dan 9DG^[9].



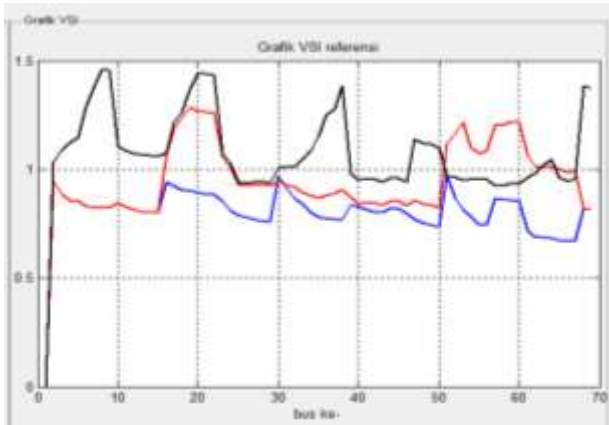
Gambar 7 Tampilan program pada studi kasus I dengan kondisi sebelum pemasangan DG

Dari Gambar 7, tampak bahwa nilai indeks kestabilan tegangan (SI) pada bus yang terletak dekat dengan sumber bernilai lebih besar dibandingkan dengan bus yang terletak jauh dari sumber. Hal ini menunjukkan bahwa bus yang terletak jauh dari sumber memiliki kerentanan terhadap jatuh tegangan lebih besar dibandingkan dengan bus yang terletak dekat dengan sumber.



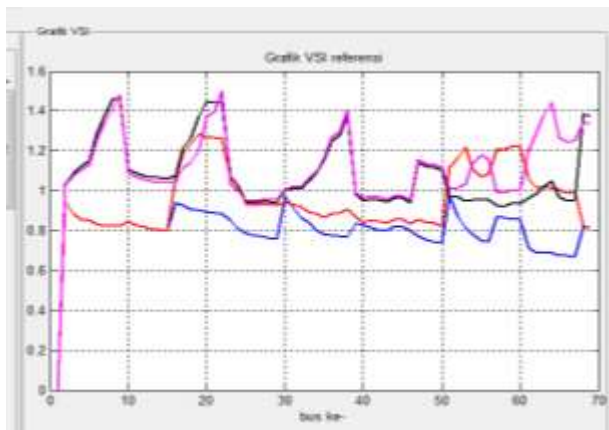
Gambar 8 Tampilan program pada studi kasus I dengan kondisi pemasangan 3 DG

Dari Gambar 4.2 tampak bahwa di titik pemasangan DG, indeks ke stabilan tegangan (SI) dari system akan bernilai lebih tinggi daripada sebelum pemasangan DG. Kenaikan nilai SI tidak hanya pada lokasi tempat DG terpasang, tetapi juga menaikkan nilai SI di sekitar tempat DG terpasang. Pada lokasi dengan kapasitas DG terpasang yang besar (bus 18 dengan 2,634 MW dan bus 52 dengan 4,028 MW), selisih nilai SI antara sebelum dan setelah pemasangan DG lebih besar daripada pada lokasi dengan kapasitas DG terpasang yang lebih kecil (bus 38 dengan 0,424 MW).



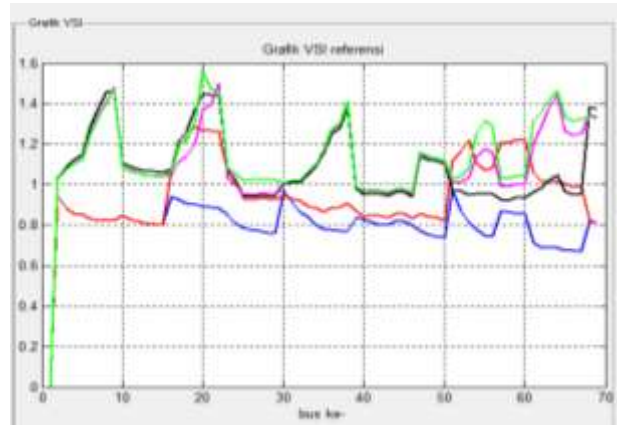
Gambar9 Tampilan program pada studi kasus I dengan kondisi pemasangan 5 DG

Dari Gambar 9, tampak bahwa pemasangan DG pada 5 lokasi yang berbeda akan menyebabkan kenaikan indeks kestabilan tegangan (SI) pada kelima lokasi yang berbeda pula. Pada kondisi 5 DG terpasang, nilai SI pada bus 18 bernilai lebih tinggi daripada kondisi 3 DG terpasang walaupun pada kasus 5 DG tidak ada unit DG yang terpasang di bus 18 melainkan terpasang pada bus 17 dan bus 19. Hal ini menunjukkan bahwa nilai SI di daerah yang masih berada dalam satu saluran sekitar pemasangan DG juga akan naik dan dapat bernilai lebih tinggi dibandingkan dengan saat ada unit DG yang terpasang pada bus tersebut.



Gambar 10 Tampilan program pada studi kasus I dengan pemasangan 7 DG

Pada kondisi pemasangan 7 unit DG, nilai daya terpasang pada bus 17 dan 38 relatif sama dibandingkan dengan kondisi pemasangan 5 unit DG. Sehingga, nilai indeks kestabilan tegangan (SI) pada bus-bus tersebut juga relatif sama. Sedangkan pada bus 64, kapasitas DG terpasang pada kondisi 7 DG lebih besar akibatnya nilai SI pada kondisi 7 DG terpasang lebih besar daripada kasus 5 DG terpasang.



Gambar 11 Tampilan program pada studi kasus I dengan pemasangan 9 DG

Dari Gambar 11, tampak bahwa kondisi pemasangan 9 unit DG secara umum tidak memiliki perbedaan dibandingkan dengan kondisi pemasangan 7 unit DG dan 5 unit DG. Perbedaan terjadi pada bus 55 karena pada bus tersebut terpasang DG saat kondisi pemasangan 9 unit DG sedangkan pada kondisi pemasangan 5 DG dan 7 DG tidak terpasang.

Perbandingan nilai SI di lokasi-lokasi DG terpasang pada studi kasus I ditunjukkan pada Tabel 3.

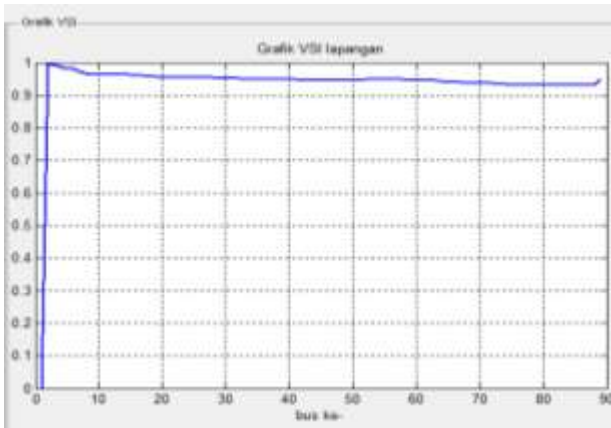
Tabel3 Nilai SI di lokasi-lokasi terpasang pembangkitan terdistribusi pada studi kasus I

Bus	SI				
	Tanpa DG	3 DG	5 DG	7 DG	9 DG
8	0.8234	0.8234	1.4581	1.4125	1.4035
9	0.8228	0.8228	1.4589	1.4828	1.4726
17	0.9238	1.1893	1.2159	1.1145	1.1951
18	0.9093	1.2348	1.2595	1.1421	1.2213
19	0.9010	1.2858	1.3731	1.2022	1.3102
20	0.8943	1.2652	1.4431	1.3702	1.5586
22	0.8854	1.2602	1.4378	1.5019	1.4677
26	0.7787	0.9248	0.9384	0.9477	1.0222
28	0.7614	0.9324	0.9460	0.9551	1.0250
29	0.7567	0.9243	0.9378	0.9569	1.0246
38	0.7686	0.9064	1.3835	1.4055	1.4117
40	0.8280	0.8424	0.9494	0.9648	0.9663
42	0.8014	0.8473	0.9546	0.9672	0.9729
52	0.8701	1.1661	0.9657	1.0153	1.0440
55	0.7471	1.0716	0.9595	1.1774	1.3167
64	0.6863	1.0133	1.0490	1.4433	1.4631

Dari Tabel 3, secara umum tampak bahwa dengan pemasangan DG, nilai SI di titik terpasang menjadi lebih tinggi daripada kondisi tanpa pemasangan DG.

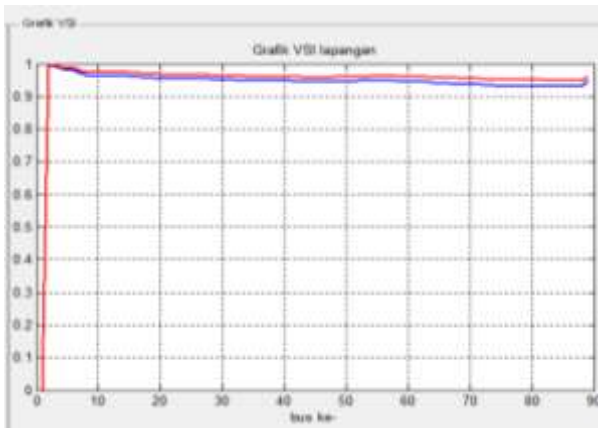
3.2 Studi Kasus II (Penyulang Mrica 05 Rayon Banjarnegara)

Pada studi kasus II, ada tiga kondisi sistem yaitu; sebelum pemasangan DG, pemasangan 2 DG (PLTM Rakit dan PLTM Sigebang); serta perkiraan pemasangan 5 DG di masa depan.



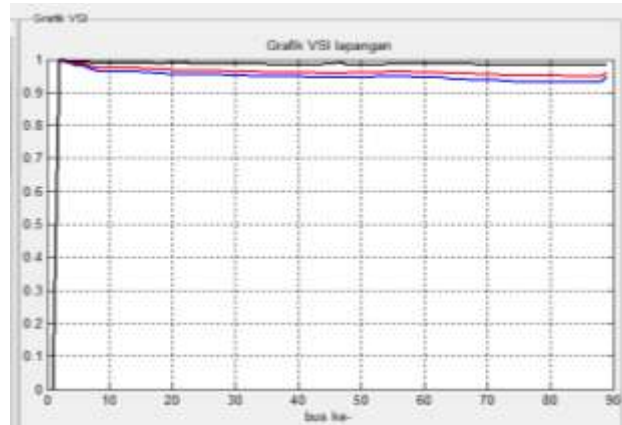
Gambar 12 Tampilan program pada studi kasus II dengan kondisi sebelum pemasangan DG

Pada kondisi sebelum pemasangan DG, nilai SI pada seluruh sistem cenderung bernilai lebih tinggi pada ujung sisi kirim dan menurun seiring jarak dari sumber. Hal ini diakibatkan tidak adanya bus di tengah-tengah sistem yang terhubung ke sumber seperti pada studi kasus I.



Gambar 13 Tampilan program pada studi kasus II dengan kondisi pemasangan 2 DG existing

Setelah PLTM Rakit dan PLTM Sigebang terpasang pada penyulang Mrica 05, terlihat nilai indeks kestabilan tegangan (SI) sistem secara umum meningkat. Peningkatan nilai SI tidak terlalu besar karena kapasitas DG yang terpasang relatif kecil jika dibandingkan dengan beban sistem secara keseluruhan.



Gambar 14 Tampilan program pada studi kasus II dengan kondisi pemasangan 5 DG di masa mendatang

Berdasarkan Gambar 14, terlihat bahwa dengan pemasangan 3 unit DG tambahan di masa mendatang akan meningkatkan nilai indeks kestabilan tegangan sistem secara keseluruhan. Dengan meningkatnya SI, maka sistem distribusi sepanjang penyulang Mrica 05 akan memiliki sensitivitas terhadap jatuh tegangan yang lebih baik.

Perbandingan nilai SI di lokasi-lokasi DG terpasang pada studi kasus I ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai SI di lokasi-lokasi terpasang pembangkitan terdistribusi pada studi kasus II

Bus	SI		
	Tanpa DG	2 DG Existing	Pengembangan
13	0.9642	0.9761	0.9913
22	0.9558	0.9675	0.9925
47	0.9449	0.9576	0.9899
67	0.9394	0.9594	0.9874
81	0.9322	0.9507	0.9854

Berdasarkan Tabel 4, nilai SI setelah pemasangan DG tampak lebih tinggi dibandingkan dengan sebelum pemasangan DG. Namun, penambahan nilai SI tidak tampak signifikan karena kapasitas DG yang terpasang di sistem relatif kecil jika dibandingkan dengan beban total sistem.

4. Kesimpulan

1. Besar indeks kestabilan tegangan rata-rata pada studi kasus I kondisi tanpa DG adalah 0,8036; 3 DG adalah 0,9514; 5 DG adalah 1,0722; 7 DG adalah 1,1107; dan kondisi 9 DG adalah 1,1408
2. Semakin besar kapasitas pembangkitan terdistribusi yang terpasang di satu titik, maka semakin besar pula nilai indeks kestabilan tegangannya
3. Penempatan beberapa pembangkitan terdistribusi di beberapa titik sepanjang penyulang akan

mengakibatkan kenaikan indeks kestabilan system secara keseluruhan

4. Pemasangan pembangkitan terdistribusi pada studi kasus II berimbang pada kenaikan indeks kestabilan tegangan sepanjang penyulang Mrica 05
5. Dalam studi kasus II, besar indeks kestabilan tegangan rata-rata kondisi sebelum pemasangan DG adalah 0,9388; kondisi DG existing adalah 0,9523; dan kondisi DG di masa dengan adalah 0,9758; sehingga semakin banyak pembangkitan terdistribusi yang terpasang, indeks kestabilan tegangan system lebih besar

Referensi

- [1] Ackermann, T., G. Andersson, dan L. Söder, "Distributed Generation: a Definition", *Electric Power System Research*, 57, 195–204, 2000.
- [2] Baggini, Angelo B., *Handbook of Power Quality*, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England, 2008.
- [3] Barker, P. P. dan R.W. de Mello, "Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 1 - Radial Distribution Systems", *IEEE PES Summer Meeting*, 3, 1645-1656, 2000.
- [4] Chakravorty, M. dan D. Das, "Voltage Stability Analysis of Radial Distribution Networks", *Electric Power & Energy Systems*, 23, 129-135, 2001.
- [5] Das, D., D.P. Kothari, dan A. Kalam, "Simple and Efficient Method for Load Flow Solution of Radial Distribution Networks", *Electrical Power & Energy Systems*, vol. 17 no. 5, 335-346, 1995.
- [6] Grigsby, Leonard L., *Power System Stability and Control*, CRC Press, Florida, 2007.
- [7] Gonen, Turan, *Electric Power Distribution System Engineering*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1986.
- [8] Harrison, G.P., A. Piccolo, P. Siano, A.R. Wallace, "Distributed Generation and Capacity Evaluation Using Combined Genetic Algorithm and OPF", *Intl. Journal of emerging Electric Power Systems*, vol.8 issue 2, 2007.
- [9] Hemdan, N.G.A. dan M. Kurrat, "Distributed Generation Location and Capacity Effect on Voltage Stability of Distribution Networks", *Annual IEEE Student Paper Conference*, 2008.
- [10] IEEE-CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, "Definition and Classification of Power System Stability", *IEEE Transactions on Power Systems*, 19, 1387–1401, 2004.
- [11] International Energy Agency, *Distributed Generation in Liberalised Electricity Market*, <http://gasunie.eldoc.ub.rug.nl/FILES/root/2002/3125958/3125958.pdf>, September 2012.
- [12] Jahromi, M.J., E. Farjah, dan M. Zolghadri, "Mitigating Voltage Sag by Optimal Allocation of Distributed Generation Using Genetic Algorithm", *9th Int. Conf. Electrical Power Quality & Utilisation*, 2007.
- [13] Kadir, Abdul, *DistribusidanUtilisasiTenagaListrik*, UI-Press, Jakarta, 2006.
- [14] Kundur, Prabha, *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, New York, 1994.
- [15] Pansini, Anthony J., *Electrical Distribution Engineering 3rd Edition*, The Fairmont Press, Inc., Georgia, USA, 2007.
- [16] Pepermans, G., J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, W. D'haeseleer, "Distributed Generation: Definition, Benefits and Issues", *Energy Policy*, 33, 787-798, 2003.
- [17] PT PLN (Persero), *Rencana Usaha PenyediaanTenagaListrik 2011-2020*, <http://www.pln.co.id/dataweb/RUPTL/RUPTL%202011-2020-2.pdf>, September 2012.
- [18] Purchala, K., R. Belmans, L. Exarchakos, dan A.D. Hawkes, *Distributed Generation and the Grid Integration Issues*, http://eusustel.be/public/documents_public/WP/WP3/WP%203.4.1%20Distributed%20generation%20and%20grid%20integration%20issues.pdf, September 2012.
- [19] Reza, M., D. Hamdani, N. Hariyanto, dan M. Nurdin, "Distributed Generation Potential in Indonesia", *Proc. Of Intl. Conf. on Electrical Eng. and Informatics ITB*, 42-45, 2007.
- [20] Reza, Muhamad, *Stability Analysis of Transmission Systems with High Penetration of Distributed Generation*, Disertasi-S3, TechnischeUniversiteit Delft, Delft, Belanda, 2006.
- [21] Saadat, Hadi, *Power System Analysis*, WCB/McGraw-Hill, Singapore, 1999.
- [22] Sulasno, *TeknikdanSistemDistribusiTenagaListrik*, BP Undip, Semarang, 2004.
- [23] Thong, V.V., J. Driesen, dan R. Belmans, *Improving Voltage Stability with the Connection of Distributed Generation*, http://www.esat.kuleuven.be/electa/publications/fulltexts/pub_1110.pdf, Oktober 2012.
- [24] _____, "Power Quality and Voltage Stability of Distribution System with Distributed Energy Resources", *Int. Journal of Distributed Energy Resources*, vol. 1 no. 3, 227-240, 2005.
- [25] U.S.-Canada Power System Outage Task Force, *Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations*, <http://certs.lbl.gov/pdf/b-f-web-part1.pdf>, Oktober 2012.
- [26] ---, *SPLN 1 : 1995, Tegangan-teganganStandar*, PT. PLN (Persero), Jakarta, 1995.