

ITEKS**Intuisi Teknologi Dan Seni**

Desain Pemasangan *Distributed Generation* Terpusat Untuk Perbaikan Tegangan Dengan Algoritma Genetika

Hartono¹, Muhamad Haddin², Sri Artini Dwi P.³

¹ Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknik Wiworotomo Purwokerto

^{2,3} Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Agung Semarang

email: hartono.sttw@gmail.com

Abstrak

Paper ini menyajikan tentang pemasangan *Distributed Generation* (DG) pada jaringan distribusi. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh sebelum pemasangan DG dan setelah pemasangan DG pada sistem distribusi tenaga listrik terhadap perbaikan profil tegangan dalam jaringan distribusi dengan variabel injeksi dan lokasi. Potensi DG yang digunakan adalah 3 buah PLTM. Pengujian dilakukan dengan cara simulasi menggunakan software ETAP Power Station dan Matlab untuk aplikasi Algoritma Genetika. Hasil simulasi dengan ETAP menunjukkan sebelum pemasangan DG tegangan pada ujung jaringan mengalami jatuh tegangan ujung terima (V_r) sebesar 20,04% dan setelah pemasangan DG dengan injeksi 85% dari kapasitas total pada section 10, jatuh tegangan berhasil diperbaiki menjadi 6,10%. Hasil simulasi dengan Algoritma Genetika jatuh tegangan (ΔV_p) sebelum penempatan DG pada beban pagi 2.176 volt. Setelah penempatan satu DG terpusat jatuh tegangan beban pagi menjadi 622 volt atau perbaikan jatuh tegangan 71,42%. Jatuh tegangan (ΔV_p) sebelum penempatan DG pada beban malam 4.336 volt. Setelah penempatan satu DG terpusat jatuh tegangan beban pagi menjadi 1.338 volt atau perbaikan jatuh tegangan 69,14%.

Kata kunci : *Distributed Generation*, Profil Tegangan, Lokasi, ETAP, Algoritma Genetik

1. Pendahuluan

Untuk memperluas sistem jaringan distribusi, salah satu kriteria yang perlu dipenuhi adalah efisiensi yang besar, tanpa mengabaikan aspek ekonomi. Efisiensi yang baik akan dicapai bila susut tegangan dapat ditekan sekecil mungkin. Susut tegangan pada sistem jaringan distribusi menjadi salah satu pertimbangan, baik dalam perencanaan maupun pengoperasian, karena mempengaruhi biaya investasi. Pada umumnya, susut tegangan yang diizinkan pada jaringan distribusi adalah minimum -10% dan maksimum +5% terhadap tegangan nominal^[1]. Biasanya perhitungan susut tegangan pada sistem jaringan distribusi dilakukan dengan menggunakan selisih tegangan ujung kirim dengan tegangan ujung terima^{[1] [2]}. Dengan semakin luasnya jaringan tenaga listrik akibat permintaan listrik yang semakin besar, menyebabkan adanya jarak yang cukup jauh antara pusat-pusat pembangkit dengan pusat-pusat beban. Jarak yang cukup jauh tersebut akan menyebabkan pengurangan daya, karena dalam pengiriman daya dari pembangkit sampai ke konsumen atau pelanggan terdapat rugi-rugi daya dan penurunan tegangan yang disebabkan oleh panjang konduktor^[3]. Untuk mengatasinya ada salah satu solusi yang cukup menjanjikan yakni dengan memasang *distributed generation* (DG) atau pembangkit terdistribusi yang memiliki kapasitas daya yang lebih kecil dari pembangkit utamanya^{[4] [5]}. DG yang biasa digunakan antara lain pembangkit tenaga angin, mikrohidro atau pikohidro, pembangkit tenaga surya, *combined heat and power* (CHP)^[6]. Jatuh tegangan dipengaruhi oleh panjangnya jaringan distribusi radial yang melayani beban yang besar^{[6] [7]}. Rugi daya berhubungan dengan tingkat efisiensi pengiriman daya ke konsumen, semakin tinggi losses maka efisiensi akan semakin menurun dan sebaliknya. Hal ini juga senada dilakukan peneliti lain, yang menyatakan bahwa penempatan DG pada sistem distribusi akan mengakibatkan pengurangan rugi-rugi daya nyata (*real power*)^[8].

Pembangkit listrik terdistribusi dapat memperbaiki kemampuan sistem distribusi untuk melayani beban puncak pada sebuah penyulang. DG terdiri dari generator-generator kecil dengan kapasitas antara 15 – 10.000 kW yang dihubungkan ke sistem distribusi^{[2] [9]}.

ITEKS**Intuisi Teknologi Dan Seni**

=====

DG dapat dipasang pada sisi PLN ataupun pada sisi pelanggan. Salah satu dasar pertimbangan utama pemasangan DG adalah sebagai penambah daya atau energi dan diharapkan bisa memperbaiki profil tegangan, dan *losses* pada jaringan. *Distributed Generation* (DG) adalah pembangkit listrik yang secara langsung dihubungkan dengan jaringan distribusi atau secara langsung terhubung dengan beban^{[4][10]}. DG ini tidak terpusat pada satu tempat saja seperti halnya *power plant-power plant* yang besar melainkan dapat didistribusikan sepanjang saluran distribusi sesuai dengan potensi yang dimiliki tiap daerah. Teknologi *distributed generation* dapat berupa : *internal combustion engines, fuel cells, microturbines, small combined cycle gas turbines, small geothermal, solar photovoltaic, solar thermal, biofuel, biomass, wind power* dan *small-hydropower*^{[11][12]}. Teknologi yang digunakan dalam penelitian ini berupa pembangkit listrik mikrohidro yang berlokasi di Banjarnegara.

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus terhadap panjang saluran dan beban, serta berbanding terbalik terhadap luas penampang penghantar^{[13][14]}. Berdasarkan hal-hal yang telah diuraikan pada latar belakang, maka rumusan masalah untuk penelitian adalah Bagaimanakah profil tegangan ujung terima sebelum dan setelah dipasang DG pada saluran distribusi dengan tiga DG yang dijadikan satu DG? Dan bagaimana menentukan jatuh tegangan dengan Algoritma Genetika? Akan dikaji lebih mendalam dalam penelitian ini.

2. Metode Penelitian

Beban sistem sangat bervariasi dan nilainya selalu berubah sepanjang waktu. Bila beban meningkat maka tegangan pada ujung penerima menurun dan sebaliknya bila beban berkurang maka tegangan pada ujung terima akan mengalami kenaikan. Faktor lain yang ikut mempengaruhi perubahan tegangan sistem adalah rugi-rugi daya yang disebabkan oleh impedansi seri penghantar dan rugi-rugi pada trafo distribusi, rugi daya ini menyebabkan jatuh tegangan. Konsumen yang letaknya jauh dari sumber cenderung menerima tegangan yang relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan konsumen yang letaknya dekat dengan pusat pelayanan atau sumber. Umumnya beban konsumen bersifat resistif-induktif, dimana beban ini akan menyerap daya aktif dan daya reaktif yang dihasilkan oleh generator. Persamaan jatuh tegangan adalah :

$$V_s^2 = (V_r + \Delta V_p)^2 + (\Delta V_q)^2 \quad (1)^{[1]}$$

dengan : V_s = tegangan ujung kirim (volt)

V_r = tegangan ujung terima (volt)

ΔV_p = jatuh tegangan

= $IR \cos \Theta + IX \sin \Theta$, dan

$\Delta V_q = IR \cos \Theta - IX \sin \Theta \quad (2)^{[14]}$

Algoritma genetika merupakan algoritma pencarian yang berdasarkan pada seleksi alam dan genetika alam^{[15][16]}. Algoritma ini berguna untuk masalah yang memerlukan pencarian yang efektif dan efisien, dan dapat digunakan secara meluas untuk aplikasi bisnis, pengetahuan, dan dalam ruang lingkup teknik^[17]. Algoritma genetika ini dapat digunakan untuk mendapatkan solusi yang tepat untuk masalah satu atau banyak variabel.

2.2 . Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Jaringan Tegangan Menengah (JTM) penyulang MRA 01. Lokasi pengambilan data di UPJ Banjarnegara, Gardu Induk Mrica, serta PLTMH Tapen, Siteki dan Plumbungan (PT. Indonesia Power) Banjarnegara yang akan digunakan sebagai DG^[16]. Waktu untuk pelaksanaan penelitian dilakukan dari bulan September 2013 sampai dengan Pebruari 2015.

Alur proses perhitungan jatuh tegangan dengan algoritma genetika ditunjukkan pada flowchart, blok diagram skema metode algoritma genetika diberikan pada Gambar 2.1.



ITEKS**Intuisi Teknologi Dan Seni****3. Hasil dan Pembahasan****3.1 Profil Tegangan Tanpa DG**

Sistem distribusi 20 kV pada PT PLN (Persero) UPJ Banjarnegara APJ Purwokerto untuk feeder MRA01 dengan panjang saluran keseluruhan 102,505 km dan saluran JTM 37,60 km. Terbagi dalam 10 section (seperti terlihat pada tabel 3.1), dengan jumlah trafo distribusi 290 buah.

Tabel 3.1. Pembagian section pada penyulang MRA01

Nomor Section	Nomor Gardu/Tiang	Jarak dari GI (km)	Panjang Section (km)
1	MRA01 s/d MRA01-091S009	5,30	5,30
2	MRA01-097S09 s/d MRA01-097S15803	10,80	5,50
3	MRA01-109S002 s/d MRA01-146	17,10	7,30
4	MRA01-149S009 s/d MRA01-149S110S023	20,80	3,70
5	MRA01-149S13 s/d MRA01-149U013	24,20	3,40
6	MRA01-150 s/d MRA01-179U29T053	29,10	4,90
7	MRA01-186 s/d MRA01-197S058	31,60	4,50
8	MRA01-198 s/d MRA01-228U027B051B027B009	33,70	2,10
9	MRA01-232 s/d MRA01-240	35,50	1,80
10	MRA01-241 s/d MRA01-264S016	37,60	2,10

Total beban pagi dengan waktu pengukuran pukul 10.00 adalah 3.482,865 kVA dan total beban waktu malam atau beban puncak yang diukur pada waktu pukul 19.00 adalah 6.905,02 kVA. Besar tegangan pangkal (kirim) 20,00 kV dan tegangan ujung (terima) 15,66 kV(data bulan Pebruari 2014) seperti ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Profil Tegangan pada beban pagi dan beban malam tanpa DG

Section	Jarak (km)	Nomor Tiang	Tegangan pada beban pagi		Tegangan pada beban malam	
			Volt	%	Volt	%
	0	Bus-Bar	19,83	99,19	19,67	98,36
1	5,3	MRA01s/d MRA01-091S009	18,20	91,00	16,39	81,97
2	10,8	MRA01-097S09s/dMRA01-097S15803	18,19	90,97	16,38	81,90
3	17,1	MRA01-109S002 s/d MRA01-146	18,13	90,68	16,28	81,40
4	20,8	MRA01-149S009s/dMRA01-149S110S023	17,59	89,77	16,02	80,12
5	24,2	MRA01-149S13 s/d MRA01-149U013	18,09	90,48	16,21	81,05
6	29,1	MRA01-150 s/d MRA01-179U29T053	17,84	89,22	15,69	78,46
7	31,6	MRA01-186 s/d MRA01-197S058	17,83	89,18	15,67	78,39
8	33,7	MRA01-198 s/d MRA01-B051B027B009	17,82	89,14	15,66	78,34
9	35,5	MRA01-232 s/d MRA01-240	17,82	89,13	15,66	78,33
10	37,6	MRA01-241 s/d MRA01-264S016	17,82	89,12	15,66	78,32

ITEKS**Intuisi Teknologi Dan Seni**

=====

3.2 Pemasangan DG

Tabel 3 dibawah ini adalah rekap hasil perbaikan profil tegangan dan jatuh tegangan yang terjadi pada tiap-tiap section dari beberapa skenario simulasi yang sudah dilakukan, baik untuk beban pagi maupun beban malam, dan menghasilkan beberapa hal seperti dibawah ini :

- Pemasangan DG pada jaringan distribusi mempengaruhi profil tegangan.
- Besarnya injeksi DG berbanding lurus dengan perbaikan profil tegangan dan berbanding terbalik terhadap persentase jatuh tegangan.
- Injeksi sebesar 85% menghasilkan perbaikan profil tegangan beban pagi pada ujung saluran utama, sehingga jatuh tegangan pada ujung saluran sebesar 2,95%. Pada beban malam jatuh tegangan pada ujung saluran sebesar 6,10%.

Tabel 3.3 Rekap Profil Tegangan dari berbagai skenario

No	Skenario	Tegangan Ujung Beban pagi (kV)	Rugi Tega-ngan Beban pagi(%)	Tega-ngan Ujung Beban malam (kV)	Rugi Tega-ngan Beban malam (%)
A	Tanpa DG	17,824	10,07	15,662	20,04
B	Dengan DG				
1	Lokasi injeksi pada Bus-Bar				
	85 % kapasitas DG	18,428	7,36	15,672	20,03
2	Lokasi injeksi pada section 1				
	85 % kapasitas DG	18,442	3,33	15,748	19,77
3	Lokasi injeksi pada section 2				
	85 % kapasitas DG	18,842	5,42	18,238	8,42
4	Lokasi injeksi pada section 3				
	85 % kapasitas DG	18,848	5,39	17,918	9,73
5	Lokasi injeksi pada section 4				
	85 % kapasitas DG	18,860	5,34	17,928	9,69
6	Lokasi injeksi pada section 5				
	85 % kapasitas DG	18,818	5,53	17,548	11,36
7	Lokasi injeksi pada section 6				
	85 % kapasitas DG	19,040	4,57	17,992	9,37
8	Lokasi injeksi pada section 7				
	85 % kapasitas DG	19,300	3,26	18,484	6,91
9	Lokasi injeksi pada section 8				
	85 % kapasitas DG	19,378	2,87	18,236	8,13
10	Lokasi injeksi pada section 9				
	85 % kapasitas DG	19,364	2,96	18,450	7,06
11	Lokasi injeksi pada section 10				
	85 % kapasitas DG	19,366	2,95	8,662	6,10

Tabel 3.4 dibawah ini adalah rekap hasil perbaikan jatuh tegangan yang terjadi pada tiap-tiap section

ITEKS**Intuisi Teknologi Dan Seni****Tabel 3.4.** Rekap perbaikan jatuh tegangan dari berbagai kondisi tegangan

No	berbagai kondisi tegangan dan Pemasangan DG	Jatuh Tega- ngan Beban pagi (kV)	(%)Per- baikan jatuh Tega- ngan Beban pagi	Jatuh Tega-ngan Beban malam (kV)	(%)Per-baik an jatuh Tega-ngan Beban malam
A	Tanpa DG	2,176	0,00	4,336	00,00
B	Dengan DG				
1	Lokasi injeksi pada Bus-Bar 85 % kapasitas DG	1,572	27,76	4,328	0,18
2	Lokasi injeksi pada section 1 85 % kapasitas DG	1,558	28,40	4,252	1,94
3	Lokasi injeksi pada section 2 85 % kapasitas DG	1,158	46,78	1,764	59,32
4	Lokasi injeksi pada section 3 85 % kapasitas DG	1,152	47,05	2,082	51,98
5	Lokasi injeksi pada section 4 85 % kapasitas DG	1,140	47,61	2,072	52,21
6	Lokasi injeksi pada section 5 85 % kapasitas DG	1,182	45,68	2,452	43,45
7	Lokasi injeksi pada section 6 85 % kapasitas DG	0,960	55,88	2,008	53,69
8	Lokasi injeksi pada section 7 85 % kapasitas DG	0,700	67,83	1,516	65,04
9	Lokasi injeksi pada section 8 85 % kapasitas DG	0,622	71,42	1,764	54,75
10	Lokasi injeksi pada section 9 85 % kapasitas DG	0,636	70,77	1,550	64,25
11	Lokasi injeksi pada section 10 85 % kapasitas DG	0,634	70,86	1,338	69,14

Dari tabel 3.4 diatas dengan beberapa variasi dan simulasi yang sudah dilakukan. Baik untuk beban pagi maupun beban malam dan menghasilkan beberapa hal berikut bahwa pemasangan DG pada jaringan distribusi mempengaruhi profil tegangan, besarnya injeksi DG berbanding lurus persentase jatuh tegangan. Sedangkan Injeksi sebesar 85% menghasilkan perbaikan jatuh tegangan beban pagi pada ujung saluran utama paling rendah sebesar 27,76%. Perbaikan jatuh tegangan yang paling besar pada section 8 sebesar 71,42%. Pada beban malam perbaikan jatuh tegangan pada ujung saluran paling rendah sebesar 0,42%. Perbaikan jatuh tegangan yang paling besar pada section 10 sebesar 69,14%.

4. Kesimpulan

Dari simulasi dan analisis hasil penelitian yang sudah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, sebagai berikut :

- Saluran distribusi penyulang MRA-01 sebelum dipasang DG terjadi penurunan tegangan pada tiap-tiap section. Terutama tegangan pada ujung penyulang utama. Untuk beban malam (puncak) dengan DG pada section 10 mengalami jatuh tegangan ujung terima (V_r) sebesar 20,04%.
- Penempatan DG pada section 10 dengan injeksi sebesar 85% dengan DG berhasil memperbaiki profil jatuh tegangan ujung terima (V_r) menjadi 6,10%.
- Jatuh tegangan (ΔV_p) sebelum penempatan DG pada beban pagi 2.176 volt.

ITEKS**Intuisi Teknologi Dan Seni**

- d. Setelah penempatan DG jatuh tegangan beban pagi menjadi 622 volt atau perbaikan jatuh tegangan 71,42%. Jatuh tegangan (ΔV_p) sebelum penempatan DG pada beban malam 4.336 volt. Setelah penempatan DG jatuh tegangan beban malam menjadi 1.338 volt atau perbaikan jatuh tegangan 69,14%.

5. Daftar Pustaka

- [1] IEEE, 2003., “*Standard For Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems*” 1547 IEEE.
- [2] Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)
- [3] Barker, P.P., and De Mello, R.W., 2000, “*Determining The Impact of Distributed Generation on Power System : Part 1-radial Distribution systems*”
- [4] Borges C.L.T, Falco. D.M, “*Impact of Distributed Generation Allocation and Sizing on Reliability, Losses and Voltage Profile*”, Power tech Conference Proceeding, vol. 2, Bologna, Italy, June 23-26, 2003
- [5] Sulasno, 2001, “*Analisa Sistem Tenaga Listrik*”, edisi kedua,, Universitas Diponegoro, Semarang.
- [6] Angelopoulos, Konstantinos, 2004, *Integration of Distributed Generation in Low Voltage Networks: Power Quality and Economics*, University of Strathclyde in Glasgow Departement of Mechanical Engineering, Glasgow.
- [7] Chiradeja. P, and Ramakumar. R., “*A Probabilistic Approach to The Analysis of Voltage Profile Improvement with Distributed Wind Electric Generation*”, in Proc. 32nd Annual Frontiers of Power Conf, Stillwater, UK, pp. XII 1-10, October 2001
- [8] Gonen. T., 1986, “*Electric Power Distribution System Engineering*”, McGraw-Hill, New York.
- [9] Knazkins, V., 2004, “*Stability of Power Systems with Large Amounts of Distributed Generation*”, KTH Institution, Stockholm, Sweden.
- [10] Daly, P.A. Morrison. J., “*Understanding The Potential Benefits of Distributed Generation on Power Delivery Systems*”, Rural Electric Power Conference, 2001, vol., No., pp. A2/1-A213, 2001
- [11] Hansen, J.C., Bower, J., 2003, “*An Economic Evaluation of Small-Scale Distributed Electricity Generation Technologies*”, Oxford Intitute for Energy Studies EL 05, Oxford
- [12] W.D. Stevenson, Jr., 1985, “*Elements of Power System Analysis*”, 4th Edition, McGraw-Hill International Book Company.
- [13] Nasser G.A. Hemdan, and Kurat Michael, 2008, “*Distributed Generation Location and Capacity Effect On Voltage Stability of Distribution Networks*”, Institute of High Voltage Technology and Electric Power Systems Braunschweig University of Technology Braunschweig, Germany.
- [14] Mithulanathan, N, Than Oo and Le Van Phu, “*Distributed Generator Placement in Power Distribution System Using Genetic Algorithm to Reduce Losses*”, Thammasat Int. J. Sc. Tech., Vol. 9, No. 3, July-September, pp55-62, 2004.
- [15] Suyanto, 2005, “*Algoritma Genetika Dalam Matlab*”, Penerbit ANDI, Yogyakarta
- [16] Haupt, Randy L., dan Hupt, Sue E., 2004, “*Practical Genetic Algorihms*”, Second edition, John Weley & Sons, Inc., New Jersey
- [17] Lasseter, R. H, “*Control of Distributed of Resources, in : L. H, C.D, Vournas (Eds)*”, *Proccedings: Bulk Power Systems Dynamics and Control IV, Restructuring*, Organised by IREP and National Technical University of Athens, Santorini, Greece, August 23-28, 1998, pp. 323-329