

STUDI PENGARUH PEMASANGAN PLTS GAMPING TERHADAP ALIRAN DAYA DAN HUBUNG SINGKAT JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PENYULANG GDN-3

Bazel Amadani¹, F. Danang Wijaya², Avrin Nur Widiastuti²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

²Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

Abstrak

Sampah merupakan permasalahan serius yang dihadapi oleh kota-kota besar di Indonesia. Selama ini, penanganan dan pengolahannya tidak dilakukan dengan baik karena sampah yang ada hanya dikumpulkan dan ditimbun di tempat pembuangan akhir. Padahal, seiring dengan perkembangan teknologi, sampah ternyata dapat diolah menjadi sumber energi alternatif terbarukan yaitu biogas untuk kemudian digunakan sebagai bahan bakar generator. Untuk itu, sampah di pasar buah dan sayur Ambarketawang Gamping Sleman DIY akan dimanfaatkan pada pembangkit listrik. PLT sampah tersebut akan berfungsi sebagai Distributed Generation (DG) yang terpasang ke jaringan distribusi tegangan menengah PLN melalui penyulang GDN-3 dengan kapasitas 23,18 kW. Analisis dan simulasi pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan program bantu ETAP Power Station 6.0.0 yaitu analisis aliran daya pada keadaan normal maupun pada keadaan manuver jaringan, gangguan hubung singkat tiga fase, gangguan fase ke tanah, gangguan fase ke fase, dan gangguan dua fase ke tanah. Dari hasil simulasi, diketahui bahwa pada keadaan normal pembebanan aktual, level tegangan pada penyulang GDN-3 setelah pemasangan DG akan meningkat sebesar 0,0143%, susut daya aktif akan berkurang sebesar 1,4805% dan susut daya reaktif akan berkurang sebesar 0,6349%. Arus gangguan tiga fase seimbang meningkat sebesar 12,0968%, gangguan fase ke fase meningkat sebesar 12%, gangguan fase ke tanah meningkat sebesar 11,5888%, dan gangguan dua fase ke tanah meningkat sebesar 12%.

Kata kunci: DG, simulasi, analisis aliran daya, analisis hubung singkat.

1. Pendahuluan

Pengolahan sampah sudah seharusnya dilakukan untuk mendapatkan manfaat ekonomis yang lebih. Selain itu juga untuk mengurangi permasalahan yang ditimbulkan seperti pencemaran lingkungan, penyebaran penyakit, dan aspek-aspek mengenai keindahan kota. Bahkan tidak jarang sampah pada kota-kota besar akan memberikan permasalahan pada kota-kota penyangga di sekitarnya.

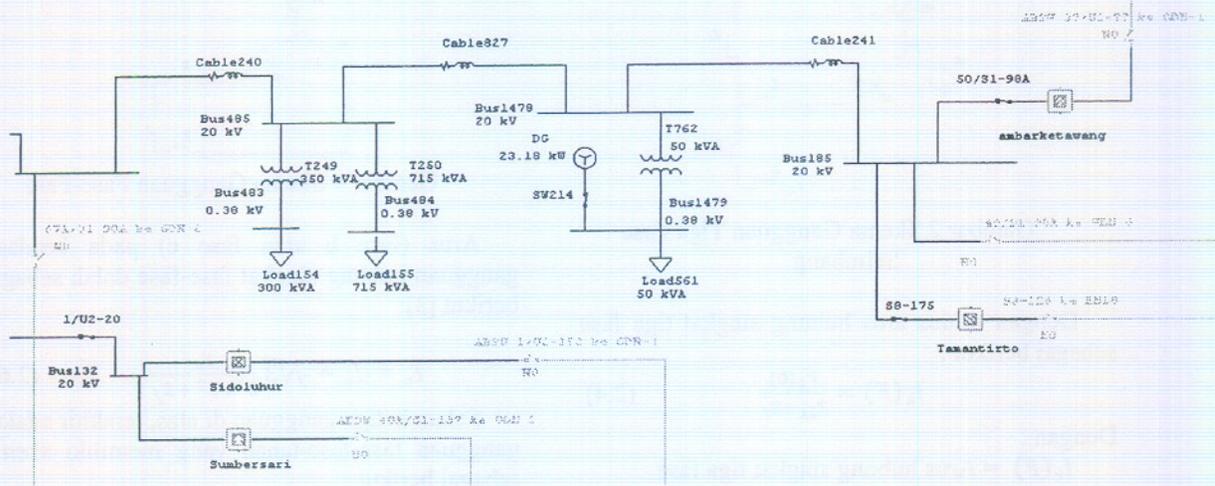
Untuk memanfaatkan potensi sampah yang ada maka PLT sampah pasar buah dan sayur Ambarketawang Gamping Sleman DIY akan segera direalisasikan. Pembangkit listrik tersebut nantinya akan dijalankan dengan bahan bakar biogas dari pengolahan sampah menggunakan metode *anaerobic digestion*, dimana ini merupakan proyek pertama di Indonesia [7]. Pusat listrik tenaga (PLT) sampah dapat dibangun dengan menggunakan berbagai macam jenis bahan bakar dan metode pengolahan, dan biasanya memiliki ukuran yang relatif kecil apabila dibandingkan dengan pembangkit listrik yang selama ini banyak diketahui [5].

Sehubungan dengan hal tersebut, pada sistem tenaga listrik saat ini dikenal sebuah teknologi baru dalam sektor pembangkitan energi listrik yaitu teknologi *Distributed Generation* (DG). DG merupakan suatu unit pembangkitan skala kecil sampai menengah yang dipasang di jaringan distribusi dengan tujuan untuk mengurangi rugi-rugi daya yang timbul karena impedansi jaringan dan meningkatkan level tegangan jaringan tersebut [3]. Selain itu, teknologi DG juga dapat meningkatkan efisiensi jaringan listrik dan mendorong peningkatan keragaman sumber energi pembangkitan, serta mendukung usaha-usaha untuk mengurangi emisi karbon dan ketergantungan terhadap penggunaan energi fosil [6]. Popularitas DG dalam beberapa waktu belakangan ini semakin meningkat karena adanya deregulasi peraturan kelistrikan, keperluan diversifikasi energi, pengurangan emisi gas rumah kaca, meningkatkan efisiensi energi, dan peningkatan kebutuhan listrik nasional [4].

Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian dan analisa dalam rangka mengetahui efek

penambahan DG. Dari penelitian ini diharapkan analisis aliran daya dan hubung singkat sebelum

dan setelah penambahan DG dapat diketahui dengan baik.



Gambar 1 Diagram Satu Garis jaringan yang digunakan

2. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan dua buah analisis yaitu analisis aliran daya dan analisis hubung singkat. Analisis aliran daya dilakukan dalam beberapa skenario kemungkinan. Analisis hubung singkat termasuk analisis gangguan tiga fase simetris, analisis gangguan tidak simetris, dan analisis transien.

2.2 Analisis Aliran Daya

Studi aliran daya adalah penentuan dan perhitungan tegangan, arus, daya, dan faktor daya atau daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik dalam suatu jala-jala listrik pada keadaan-keadaan pengoperasian normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang [2].

Dengan menggunakan rumus kirchoff current law (KCL), persamaan umum sistem tenaga dapat direpresentasikan oleh rumus berikut [1] :

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n Y_{ij} - \sum_{j=1}^n Y_{ij} \quad j \neq i \quad (2.1)$$

Dengan menggunakan metode aliran daya Newton Rhaspon maka persamaan 2.1 akan menjadi :

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.2)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.3)$$

Analisis aliran daya dilakukan dengan skenario jaringan seperti berikut ini ;

Tabel 1 Skenario Simulasi Analisis Aliran Daya

Skenario	Keterangan	Asal Penyulang	ABSW yang ditutup
----------	------------	----------------	-------------------

1	Keadaan Normal	GDN-3	-
2	Keadaan Manuver Jaringan	GDN-1	37/U2-88
3	Keadaan Manuver Jaringan	GDN-2	67A/S1-98A
4	Keadaan Manuver Jaringan	GDN-2	40A/S1-137
5	Keadaan Manuver Jaringan	GDN-4	1/U2-152
6	Keadaan Manuver Jaringan	BNL-8	S8-126
7	Keadaan Manuver Jaringan	WBN-6	49/S1-98A

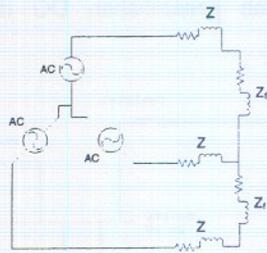
Dari ketujuh buah skenario analisis aliran daya di atas, simulasi dilakukan dengan menggunakan software ETAP 6.0.0 untuk kondisi sebelum dan setelah pemasangan DG pada keadaan pembebanan aktual dan pembebanan penuh.

2.3 Analisis Hubung Singkat

Studi hubung singkat merupakan bagian yang penting dari analisis sistem tenaga dimana permasalahannya terdiri atas bagaimana menentukan tegangan bus dan arus saluran dalam setiap tipe gangguan [2].

Gangguan pada sistem tenaga dibagi menjadi hubung singkat seimbang yaitu hubung singkat tiga fase dan hubung singkat tidak seimbang. Beberapa tipe dari hubung singkat tidak seimbang terdiri atas hubung singkat satu fase ke tanah, hubung singkat antar fase, dan hubung singkat dua fase ke tanah.

Dengan asumsi generator berada pada keadaan tanpa beban, skema analisis hubung singkat tiga fase seimbang adalah sebagai berikut [3]:



Gambar 2 Skema Gangguan Tiga Fase Seimbang

Dengan rumus arus hubung singkat tiga fase sebagai berikut :

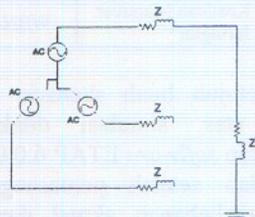
$$I_k(F) = \frac{V_k(0)}{Z_{kk} + Z_f} \quad (2.4)$$

Dengan :

- $I_k(F)$ = Arus hubung singkat tiga fase
- $V_k(0)$ = Tegangan hubung singkat
- Z_{kk} = Impedans jaringan
- Z_f = Impedans gangguan

Selain gangguan tiga fase seimbang, terdapat beberapa jenis gangguan hubung singkat lainnya yaitu gangguan fase-tanah, gangguan fase-fase, dan gangguan fase-fase-tanah.

Dengan asumsi generator berada pada keadaan tanpa beban, dan gangguan terjadi pada fase a, skema analisis hubung singkat fase-tanah adalah sebagai berikut [3]:



Gambar 3 Skema Gangguan fase-tanah

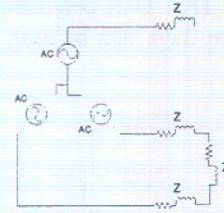
Arus pada keadaan gangguan hubung singkat fase-tanah adalah sebagai berikut :

$$I_a = 3I_a^0 = \frac{3E_a}{Z^1 + Z^2 + Z^0 + 3Z_f} \quad (2.5)$$

Dengan :

- I_a^0 = arus fase a urutan nol
- E_a = tegangan fase a ke tanah
- Z^1 = impedans urutan positif
- Z^2 = impedans urutan negatif
- Z^0 = impedans urutan nol

Selanjutnya untuk gangguan fase-fase, dengan asumsi gangguan terjadi antara fase b dan fase c melalui impedans gangguan Z_f maka skema gangguan adalah sebagai berikut [3]:

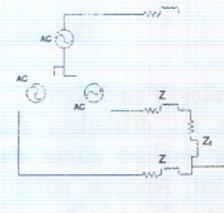


Gambar 4 Skema Gangguan Fase-Fase

Arus (fase b atau fase c) pada keadaan gangguan hubung singkat fase-fase adalah sebagai berikut [3]:

$$I_b = -I_c = -j\sqrt{3} \frac{E_a}{Z^1 + Z^2 + Z_f} \quad (2.6)$$

Selain ketiga gangguan di atas, terakhir adalah gangguan fase-fase-tanah yang memiliki skema sebagai berikut :



Gambar 5 Skema Gangguan Fase-Fase-Tanah

Arus pada keadaan gangguan hubung singkat fase-fase-tanah adalah sebagai berikut [3] :

$$I_f = \frac{-3E_a}{Z^2} \left(1 - \frac{Z^1}{Z^1 + Z^2 + Z^0 + 3Z_f} \right) \quad (2.7)$$

Simulasi gangguan dilakukan dengan menggunakan software ETAP 6.0.0. Gangguan hubung singkat diberikan pada bus lokasi pemasangan DG. Simulasi hubung singkat dilakukan untuk kondisi sebelum dan setelah pemasangan DG.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis dan simulasi jaringan menggunakan skenario yang ada pada tabel 1.

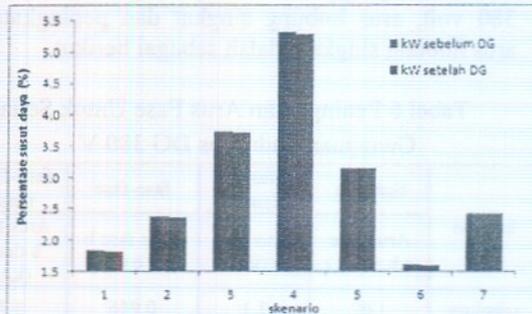
Secara teoritis, pemasangan DG pada jaringan eksisting akan berkontribusi meningkatkan profil tegangan pada penyulang [8].

Penurunan susut daya total saluran untuk pembebanan aktual dapat dilihat pada Tabel 2, Gambar 6, dan Gambar 7 berikut.

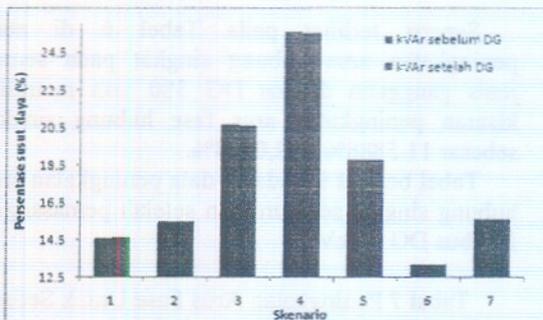
Tabel 2 Persentase penurunan Susut Daya Setelah Pemasangan DG Pada Pembebanan Aktual

Skenario	Asal Penyulang	Penurunan Susut Daya			
		Aktif (kW)	Reaktif (kVAR)	Aktif (%)	Reaktif (%)
1	GDN-3	1.0	2.0	1.4085	0.6349

2	GDN-1	2.0	3.0	0.9756	0.4011
3	GDN-2	2.0	5.0	0.6410	0.4950
4	GDN-2	3.0	7.0	0.7059	0.5564
5	GDN-4	2.0	4.0	0.7547	0.4391
6	WBN-6	1.0	2.0	1.0638	0.4751
7	BNL-8	1.0	4.0	0.6452	0.7181



Gambar 6 Grafik Persentase Susut Daya Aktif sebelum dan Setelah Pemasangan DG Pada Pembebanan Aktual

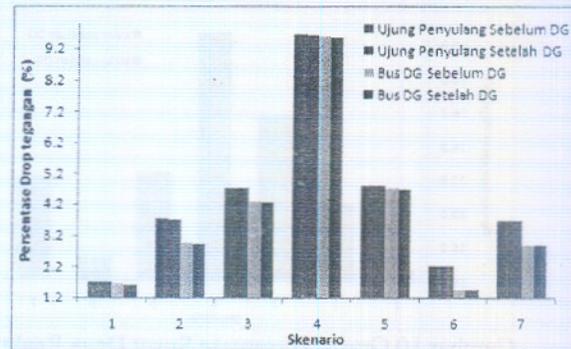


Gambar 7 Grafik Persentase Susut Daya Reaktif Sebelum dan Setelah Pemasangan DG Pada Pembebanan Aktual

Dari Tabel 2, Gambar 6 dan Gambar 7 di atas terlihat bahwa efek pemasangan DG pada analisis aliran daya pembebanan aktual secara keseluruhan dapat menurunkan susut daya total saluran.

Tabel 3 Persentase Penurunan Drop Tegangan Setelah Pemasangan DG Pada Pembebanan Aktual

Skenario	Asal Penyulang	Penurunan Drop Tegangan	
		Ujung (%)	Bus DG (%)
1	GDN-3	0.0143	0.0143
2	GDN-1	0.0143	0.0143
3	GDN-2	0.0095	0.0143
4	GDN-2	0.0476	0.0429
5	GDN-4	0.0286	0.0286
6	WBN-6	0.0095	0.0095
7	BNL-8	0.0143	0.0143



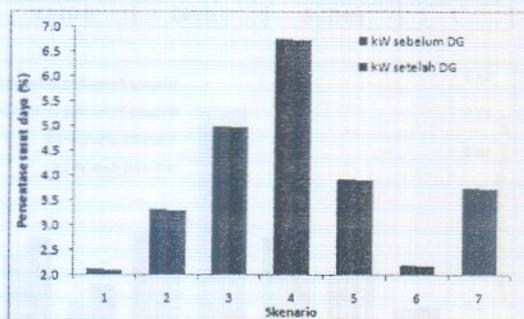
Gambar 8 Grafik Persentase Drop Tegangan Sebelum dan Setelah Pemasangan DG pada Pembebanan Aktual

Dari Tabel 3 dan Gambar 8 di atas dapat dilihat bahwa efek pemasangan DG pada analisis aliran daya pembebanan aktual secara keseluruhan dapat menurunkan drop tegangan saluran.

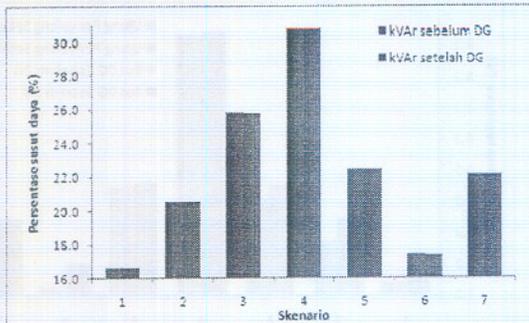
Kemudian, penurunan susut daya total saluran untuk pembebanan penuh dapat dilihat pada Tabel 4, Gambar 9, dan Gambar 10 berikut.

Tabel 4 Persentase penurunan Susut Daya Setelah Pemasangan DG Pada Pembebanan Penuh

Skenario	Asal Penyulang	Penurunan Susut Daya			
		Aktif (kW)	Reaktif (kVAR)	Aktif (%)	Reaktif (%)
1	GDN-3	1.0	3.0	1.0638	0.7143
2	GDN-1	2.0	4.0	0.4914	0.2686
3	GDN-2	2.0	5.0	0.3781	0.2946
4	GDN-2	3.0	8.0	0.4392	0.3943
5	GDN-4	2.0	5.0	0.4950	0.3600
6	WBN-6	2.0	4.0	1.0152	0.4505
7	BNL-8	2.0	4.0	0.5236	0.2959



Gambar 9 Grafik Persentase Susut Daya Aktif sebelum dan Setelah Pemasangan DG Pada Pembebanan Penuh



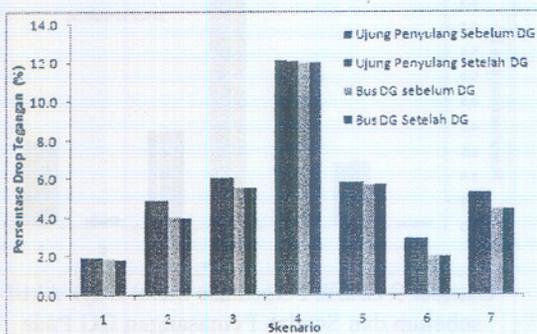
Gambar 10 Grafik Persentase Susut Daya Reaktif Sebelum dan Setelah Pemasangan DG Pada Pembebanan Penuh

Dari Tabel 4, Gambar 9, dan Gambar 10 di atas dapat dilihat bahwa efek pemasangan DG pada analisis aliran daya pembebanan penuh secara keseluruhan dapat menurunkan susut daya total saluran.

Berikut ini adalah tabel drop tegangan jaringan dan grafiknya untuk pembebanan penuh.

Tabel 5 Persentase Penurunan Drop Tegangan Setelah Pemasangan DG Pada Pembebanan Penuh

Skenario	Asal Penyulang	Penurunan Drop tegangan	
		Ujung (%)	Bus DG (%)
1	GDN-3	0.0143	0.0143
2	GDN-1	0.0095	0.0143
3	GDN-2	0.0143	0.0143
4	GDN-2	0.0476	0.0476
5	GDN-4	0.0238	0.0286
6	WBN-6	0.0047	0.0095
7	BNL-8	0.0143	0.0143



Gambar 11 Grafik Persentase Drop Tegangan pada Pembebanan Penuh

Dari Tabel 5 dan Gambar 11 di atas dapat dilihat bahwa efek pemasangan DG pada analisis aliran daya pembebanan penuh secara keseluruhan dapat menurunkan drop tegangan saluran.

Selanjutnya, simulasi hubung singkat dilakukan untuk kondisi sebelum dan setelah pemasangan DG. Pemasangan DG secara teoritis akan meningkatkan arus hubung singkat pada jaringan [9].

Untuk gangguan hubung singkat pada bus 380 volt, arus hubung singkat dan peningkatan arus hubung singkat adalah sebagai berikut.

Tabel 6 Peningkatan Arus Fase Untuk Setiap Gangguan Pada Bus DG 380 V

kondisi	tiga fase	fase-tanah	fase-fase	fase-fase-tanah
	Arus fase a,b,c (kA)	Arus fase a (kA)	Arus fase b dan c (kA)	Arus fase b dan c (kA)
sebelum	1.09	1.1	0.946	1.1
setelah	1.24	1.25	1.07	1.25
Kenaikan (%)	12.0968	12	11.5888	12

Seperti terlihat pada Tabel 6 di atas, peningkatan arus hubung singkat pada semua jenis gangguan di bus DG 380 volt memiliki kisaran peningkatan arus fase hubung singkat sebesar 11.5888% - 12,0968%.

Tabel berikut ini adalah data peningkatan arus hubung singkat sebelum dan setelah pemasangan DG bus DG 20 kV.

Tabel 7 Peningkatan Arus Fase Untuk Setiap Gangguan Pada Bus DG 20 kV

kondisi	tiga fase	fase-tanah	fase-fase	fase-fase-tanah
	Arus fase a,b,c (kA)	Arus fase a (kA)	Arus fase b dan c (kA)	Arus fase b dan c (kA)
sebelum	0.67	0.56	0.58	0.629
setelah	0.672	0.561	0.582	0.631
Kenaikan (%)	0.2976	0.1783	0.3436	0.3170

Seperti terlihat pada Tabel 7 di atas, peningkatan arus hubung singkat pada semua jenis gangguan di bus DG 380 volt memiliki kisaran peningkatan arus fase hubung singkat sebesar 0,1783% - 0,3436%.

Kemudian analisis transien untuk keadaan gangguan hubung singkat tiga fase seimbang pada bus lokasi pemasangan DG juga dilakukan.

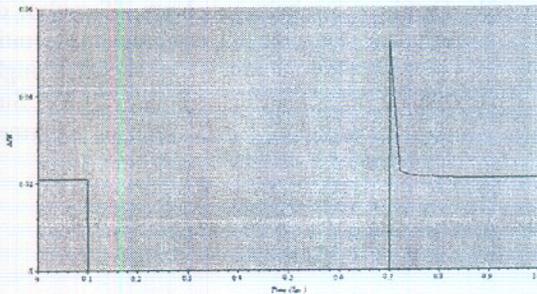
Skenario simulasi pada analisis transien dilakukan dengan memberikan gangguan hubung singkat tiga fase pada bus lokasi pemasangan DG pada detik ke 0,101 dan kemudian menghilangkan gangguan tersebut pada detik ke 0,701.

Berikut ini adalah tabel sampel analisis transien pada keadaan hubung singkat tiga fase seimbang.

Tabel 8 Sampel Keadaan Pada Simulasi Transien

Kondisi	Waktu (detik)	Sudut (°)	Frekuensi (Hz)	Daya Listrik (MW)	Arus (A)	% Z
Normal	0.000	14.00	50.00	0.021	39	98.08
Saat terjadi HS	0.101	15.51	54.18	0.000	176.1	0
Setelah HS	0.141	-163.94	63.26	0.000	134.0	0
Setelah HS	0.381	-73.31	63.65	0.000	122.2	0
Setelah HS	0.700	66.46	63.85	0.000	115.9	0
Saat HS hilang	0.701	66.6	50.39	0.052	83.3	44.8
Setelah HS hilang	0.741	23.70	49.39	0.022	33	113.87
Setelah HS hilang	0.821	18.62	49.97	0.021	33.7	112.37
Setelah HS hilang	1.000	17.96	49.99	0.021	34.2	111.01

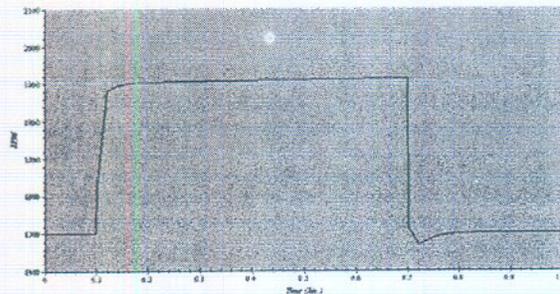
Berikut ini adalah grafik daya listrik generator dalam analisis transien.



Gambar 12 Daya Listrik Generator

Dari grafik di atas terlihat bahwa daya listrik generator akan hilang saat terjadi hubung singkat, dan saat hubung singkat dihilangkan, ada arus starting yang sangat tinggi.

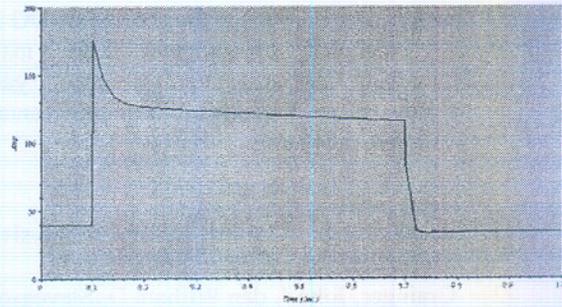
Berikut ini adalah grafik kecepatan putar generator dalam analisis transien



Gambar 13 Kecepatan Putar Generator

Terlihat bahwa saat terjadi hubung singkat maka kecepatan putar generator akan meningkat.

Berikut ini adalah grafik arus terminal generator dalam analisis transien



Gambar 14 Arus Terminal Generator

Gambar di atas memperlihatkan keadaan arus terminal generator yang naik mencapai hampir empat setengah kali arus normalnya.

4. Kesimpulan

1. Energi biogas yang dihasilkan dari PLT sampah bisa dipergunakan untuk memproduksi tenaga listrik dalam skala kecil hingga menengah, sehingga energi biogas yang selama ini kurang diperhatikan bisa lebih dioptimalkan.
2. Pemasangan DG pada jaringan distribusi dapat berkontribusi meningkatkan level tegangan dan menurunkan susut daya pada jaringan distribusi tersebut. Semakin besar kapasitas DG yang terpasang, maka akan semakin besar pula kontribusinya.
3. Pada pembebanan aktual, dengan dipasangnya DG berkapasitas 23,18 kW pada penyulang GDN-3, maka level tegangan untuk kondisi jaringan normal pada ujung penyulang akan dapat meningkat sebesar 0,0143 % dan pada lokasi pemasangan DG meningkat sebesar 0,0143 %. Sedangkan susut daya saluran mengalami penurunan daya aktif sebesar 1,4085% dan daya reaktif sebesar 0,6349%.
4. Pada pembebanan penuh, dengan dipasangnya DG, maka level tegangan untuk kondisi jaringan normal pada ujung penyulang akan dapat meningkat sebesar 0,0143 % dan pada lokasi pemasangan DG meningkat sebesar 0,0143 %. Sedangkan susut daya saluran mengalami penurunan daya aktif sebesar 1,0638% dan daya reaktif sebesar 0,7143%.
5. Pemasangan DG akan meningkatkan level arus gangguan pada jaringan. Semakin besar kapasitas DG yang terpasang, maka akan semakin besar pula peningkatan level gangguan yang akan terjadi.
6. Pada gangguan hubung singkat di bus DG 380 V, dengan dipasangnya DG maka komponen fase arus hubung singkat yang terjadi akan meningkat sebesar antara 11,5888% - 12,0968%.

7. Pada gangguan hubung singkat di bus DG 20 kV, dengan dipasangnya DG maka komponen fase arus hubung singkat yang terjadi akan meningkat sebesar antara 0,1783% - 0,3436%.

5. Referensi

- [1] Saadat, Hadi. "Power System Analysis.", McGrawHill, Singapore, 2004.
- [2] Grainger, John J. dan William D. Stevenson, Jr., Power System Analysis," McGraw-Hill, Inc., Singapore, 1994.
- [3] Jenkins, Nick., Allan, Ron., Crossley, Peter., Kirschen, Daniel., Strbac, Goran. "Embeeded Generation.", The Instituion of Electrical Engineer, London, 2000.
- [4] Cigre Working Group 37.23. Impact of Increasing contribution of dispersed generation on the power system. Final Report. 1999.
- [5] N. Jenkins. Impact of dispersed generation on power systems. *ELECTRA*, 199: 6-13. 2001
- [6] "Distributed Generation". The Institution of Engineering and Technology Factfile. 2006.
- [7] Syamsiah, Siti. "Design of Biogas Plant From Fruit Market Waste in Indonesia.", Waste Refinery Center, Gadjah Mada University. 2010
- [8] Manu Gah, Ade. "Simulasi dan Analisis Pengaruh Distributed Generation Terhadap Rugi-Rugi Energi Pada Sistem Distribusi Radial 20 kV. Studi Kasus: Penyulang Darmo Permai.", Universitas Kristes Petra. 2008.
- [9] Dendang Simbolinggi, Nura. "Simulasi dan Analisis Pengaruh Distributed Generation Terhadap Peningkatan Arus Hubung Singkat Pada Sistem Distribusi Radial 20 kV. Studi Kasus: Penyulang Darmo Permai". Universitas Kristen Petra, 2008.

PEMBUATAN SIMULATOR TETESAN AIR HUJAN UNTUK PENGUJIAN TEGANGAN GAGAL ISOLATOR GANTUNG PADA KONDISI HUJAN

Brian Bramantyo¹, T.Haryono², Suharyanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

²Dosen Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, FT UGM

Abstrak

Salah satu pokok pengujian tegangan tinggi bolak-balik untuk isolator tegangan tinggi adalah pengujian lompatan dalam suasana basah yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik tegangan gagal isolator yang dipasang di luar (outdoor) dalam kondisi hujan. Pengujian ini menggunakan alat pengujian basah yang memiliki konstruksi khusus yang memiliki standar penyiraman 3 mm/menit dengan menggunakan nozzle untuk menyiramkan air dengan konduktivitas 100 μS pada isolator yang diuji. Isolator yang dipasang di luar (outdoor) seperti isolator gantung pada saluran transmisi dan distribusi memiliki data tegangan loncat basah berdasarkan pengujian dari pabrikan isolator tersebut berdasarkan standar pengujian basah IEC 60 yang berlaku. Pembuatan Simulator tetesan air hujan digunakan untuk menguji tegangan loncat atau flashover dua isolator gantung 7.5 kV dan 10 kV masing-masing satu sirip. Tegangan loncat basah untuk satu sirip isolator gantung 7.5 kV adalah 43.3 kV AC dari hasil pengukuran menggunakan simulator tetesan air hujan dibandingkan dengan nilai 35 kV AC dari data pabrik, sedangkan untuk satu sirip isolator gantung 10 kV diperoleh nilai tegangan loncat sebesar 96.93 kV AC dari pengukuran menggunakan simulator tetesan air hujan dibandingkan dengan nilai 80 kV AC dari data pabrik.

Kata Kunci: pengujian lompatan dalam suasana basah, alat pengujian basah, IEC 60, Simulator tetesan air hujan, isolator gantung 7.5 kV dan 10 kV.

1. Pendahuluan

Sistem transmisi tegangan tinggi yang menggunakan SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) memiliki tegangan kerja yang tinggi (sekitar 500 kV) untuk mengurangi besarnya kerugian berupa jatuh tegangan yang disebabkan oleh pengiriman tenaga listrik dengan jarak yang jauh. Tingginya tegangan kerja yang dimiliki membuat SUTET, SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi), maupun jaringan distribusi diperlengkapi dengan suatu sistem isolasi yang memastikan tidak adanya kontak langsung antara tiang penyangga dengan penghantar tegangan tingginya. Setiap jenis isolator yang digunakan, biasanya memiliki data tegangan loncat tertentu yang merupakan hasil pengujian dari pabriknya. Namun, tegangan loncat dari isolator ini dapat berubah oleh karena pengaruh alam, contohnya seperti paparan sinar matahari dengan kandungan radiasi ultraviolet yang dapat menyebabkan proses penuaan, pemuaihan dan penyusutan karena perubahan suhu, pengotoran oleh karena pengotor tertentu, maupun pengaruh kondisi hujan maupun salju [1].

Makalah ini akan meneliti pengaruh curah hujan pada tegangan gagal suatu isolator dengan

membuat sebuah simulator hujan untuk menguji tegangan loncat basah dari isolator 7.5 kV dan 10 kV.



Gbr.1 Isolator Gantung 10 kV

2. Metode Pengujian Tegangan Loncat Basah Standar IEC 60 dan Perancangan Simulator Tetesan Hujan

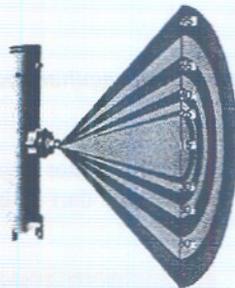
Pengujian dalam suasana basah dimaksudkan untuk menirukan keadaan udara pada waktu hujan, salju dan sebagainya. Oleh karena air hujan memiliki nilai hantar listrik tertentu, maka tegangan pelepasan dari alat-alat listrik yang dipasang di luar menjadi berkurang pada waktu alat-alat tersebut menjadi basah karena hujan [1]. Standar IEC pertama kali dibuat pada tahun 1930

dengan persyaratan hujan vertikal dan horizontal dengan curah hujan 3 mm/menit dan konduktivitas air hujan sebesar $100\mu\text{S}$. Saat ini, IEC 60 diperbaharui dengan menurunkan intensitas hujan menjadi 1-2 mm untuk isolator yang lebih besar dari 400 kV[2].

Berdasarkan ilmu hidrologi, terdapat beberapa kriteria yang diharuskan ada untuk membuat sebuah simulasi hujan yang dinyatakan sebagai berikut :

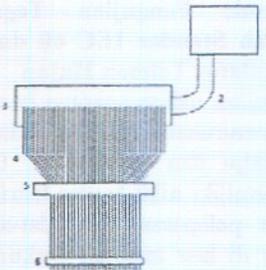
1. Distribusi ukuran tetes air hujan yang harus mendekati hujan pada kenyataannya [3].
2. Kecepatan jatuhnya sesuai dengan kecepatan jatuh hujan [4].
3. Intensitas hujan seragam [4].
4. Sudut jatuh yang tegak lurus [4]

Peralatan pengujian basah yang sering digunakan biasanya menggunakan *nozzle*, namun alat tersebut kurang mampu merepresentasikan hujan pada kenyataannya terutama dalam perihalan sudut jatuh tetes air hujan terhadap bumi/garis horizontal dan interval antara tetesan.



Gbr.2 Sudut pancaran nozzle

Salah satu konsep yang dapat digunakan untuk menghasilkan tetesan air dapat ditemukan pada peralatan infus. Konsep regulasi dari infus adalah dengan menjepit selang infus dengan ketebalan tertentu untuk mendapatkan aliran tetesan air dengan kecepatan tertentu. Hal tersebut menjadi dasar pembuatan simulator tetesan air hujan dengan rancangan simulator sebagai berikut :



Gbr 3. Rancangan simulator tetesan hujan

Simulator tersebut terdiri dari : Bak penampung sampel air hujan (1), Saluran masukan (2), Pipa utama (3), Selang plastik dengan campuran silikon (4), Regulator tetesan (5), dan Papan pengatur jarak tetesan antar selang (6).

Berdasarkan hasil pengaturan pada regulator (pengencangan dilakukan pada kisaran 1.5 mm ke 1.4 mm) sehingga diperoleh kalibrasi sebagai berikut :

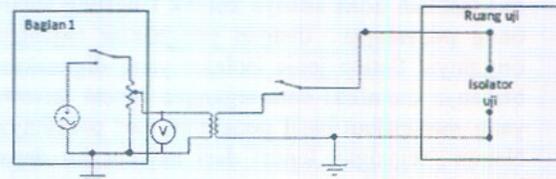
1. Untuk hujan sangat deras, maka digunakan ketebalan 1.5 mm dengan curah 17.5 mm/menit.
2. Untuk hujan deras, maka digunakan ketebalan 1.5 mm dengan curah 10 mm/menit.
3. Untuk hujan menengah, maka digunakan ketebalan 1.4 mm dengan curah 5 mm/menit.
4. Untuk hujan ringan, simulator tetesan hujan mengalami kesulitan kalibrasi karena selang menjadi tidak elastis.



Gbr.4 Simulator tetesan hujan pada ruang uji kaca $1 \times 1 \times 1 \text{ m}^3$

3. Pengujian Tegangan Loncat Basah dengan Simulator Tetesan Hujan pada Isolator Gantung 7.5 kV dan 10 kV

Pengujian tegangan loncatan basah menggunakan rangkaian sebagai berikut



Gbr.5 Rangkaian pengujian tegangan loncatan basah

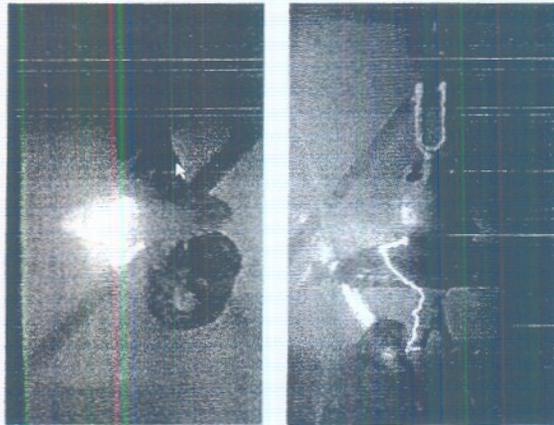
Rangkaian tersebut menggunakan sebuah trafo penguji yang tegangan masukannya diatur oleh resistor geser yang digerakkan oleh motor servo, sebuah multimeter untuk pembacaan tegangan primer trafo dan rangkaian kabel seperti

pada gambar 5. Pada percobaan tegangan gagal isolator gantung 7.5 kV dan 10 kV, digunakan faktor koreksi terhadap suhu dan tekanan udara dengan perumusan :

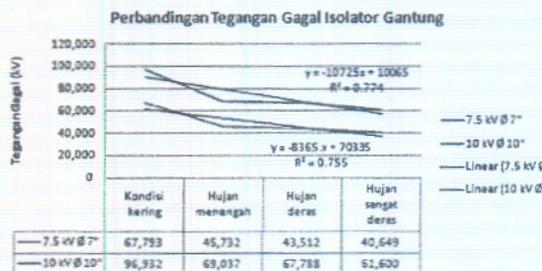
$$V_s = \frac{V_B}{\frac{0,386 \cdot b_B}{273 + t_B}} \quad (1)$$

Tabel 1 Hasil percobaan tegangan gagal standar isolator gantung 7.5 kV dan 10 kV

Isolator	Kondisi kering (72 %; 987.5 mBar dan 26.8 °c)	Hujan menengah (79 %; 988.5 mBar dan 26.5 °c)	Hujan deras (79 %; 988 mBar dan 26 °c)	Hujan sangat deras (80.5 %; 989 mBar dan 26.5 °c)
7.5 kV Ø=7"	67.793 kV AC	45.732 kV AC	43.512 kV AC	40.649 kV AC
10 kV Ø=10"	96.932 kV AC	69.037 kV AC	67.788 kV AC	61.600 kV AC



Gbr.6 Lompatan api pada saat isolator 7.5 kV (kiri) dan 10 kV (kanan) mengalami flasover



Gbr.7 Grafik perbandingan tegangan loncatan basah dan kering antara isolator gantung 7.5 kV dan 10 kV

4. Pembahasan Hasil Pengujian

Setelah didapatkan data spesifikasi pabrikan isolator, maka diperoleh perbandingan hasil tegangan loncatnya :

Tabel 2 Perbandingan tegangan gagal hasil pengujian dengan data pabrik.

	Tegangan flashover kering (dalam kV)			Tegangan flashover basah (dalam kV)		
	Data Pabrik	Tabel Artono A.	Tampa Simulator	Data Pabrik	Tabel Artono A.	Simulator (rerata)
7.5 kV Ø 7"	65	60	67.79	35	32	43.30
10 kV Ø 10"	80	80	96.93	50	50	66.14

Berdasarkan pembacaan dengan *conductivity meter*, air hujan yang digunakan memiliki daya hantar 13.1 µS. Lain halnya dengan standar IEC dan JIS yang mengharuskan daya hantar oleh air yang disiramkan senilai 100 µS. Walaupun konduktivitas rendah, tetesan air hujan dan kelembaban udara sekitar yang diatur sebesar 80% mempengaruhi tegangan loncat isolator tersebut. Dapat diperoleh beberapa hal yang menyebabkan adanya hubungan curah hujan dengan tegangan gagal isolator gantung pada kondisi basah :

- Hubungan curah hujan terhadap luas permukaan isolator.** Semakin luas permukaan dari isolator, maka semakin luas juga kontak air hujan terhadap permukaan isolator tersebut. Hal tersebut membuat penurunan hambatan permukaan semakin besar. Semakin deras curah hujan yang diberikan, maka tegangan loncat yang terjadi semakin rendah.
- Kondisi udara di sekitar isolator.** Kelembaban udara yang mencapai 80 % membuat komposisi H₂O pada udara di sekitar isolator tersebut makin tinggi. Ketidakteraturan medan listrik serta tingginya komposisi H₂O mempermudah tegangan tinggi yang diberikan untuk gagal melalui permukaan (*flashover*) daripada melalui material isolator tersebut.
- Kandungan senyawa kimia berupa garam-garam pada air hujan.** Melalui bantuan Laboratorium Kimia Analitik, didapatkan komposisi air hujan yang memiliki kandungan Ca 0.265 ppm, Mg 0.533 ppm, Na 794.112 ppm dan K 49.229 ppm. Kandungan garam-garam tersebut bersifat konduktif sehingga dapat menurunkan tegangan gagal isolator tersebut.

5. Kesimpulan

Berdasarkan data pengukuran, diperoleh dari hubungan antara kenaikan curah hujan terhadap tegangan loncat basah dari suatu isolator gantung. Semakin tinggi curah hujan, maka tegangan loncat basah suatu isolator gantung akan semakin turun. Konsep regulasi infus pada simulator

tetes hujan berhasil memberikan pola tetesan hujan untuk area $35 \times 35 \text{ cm}^2$ yang menyerupai tetesan hujan pada kenyatannya. Namun dari segi kesatuan alat, simulator tetesan hujan ini masih memerlukan sebuah ruang uji yang dapat diatur suhu dan tekanannya agar dapat menyamai kondisi hujan yang sebenarnya.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik UGM atas perizinan penggunaan alat selama penulisan makalah ini.

7. Referensi

- [1] Arismunandar, Artono, "Teknik Tegangan Tinggi", Pradnya Paramita, Jakarta, 1994
- [2] IEC 60-1, "High Voltage Test Technique", Deuxime Edition, 2nd edition, 1986
- [3] Bubenzer, G. D. 1979. "Rainfall characteristics important for simulation", Department of Agriculture Science and Education Administration Agricultural Reviews and Manuals, ARM-W-10/July 1979. (a)
- [4] Laws, J. O., 1941. "Measurements of fall velocity of water drops and raindrops". Transactions of American Geophysics Union 22:709-721.