

PENGARUH POSISI *STUB* ISOLATOR TERHADAP DISTRIBUSI TEGANGAN PADA ISOLATOR PIRING GELAS

Andi Hidayat, Syahrawardi

Konsentrasi Teknik Energi Listrik, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: andihidayat3@yahoo.com

Abstrak

Isolator rantai secara umum digunakan dalam sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik. Isolator memiliki fungsi mekanis sebagai penopang konduktor dan fungsi elektrik sebagai pemisah antara kawat penghantar dengan menara. Isolator piring berbahan gelas akan mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh perubahan cuaca yang tajam, arus surja, dan *flashover*. Kerusakan isolator piring gelas akan meninggalkan bongkol (*stub*) yang dapat memperpendek jarak rambat isolator. Pengaruh tersebut memungkinkan terjadinya perubahan besaran distribusi tegangan pada tiap unit isolator piring. Dalam penelitian ini dilakukan percobaan terhadap letak posisi *stub* yang berbeda dari tiap unit isolator untuk mengetahui pengaruhnya terhadap distribusi tegangan. Percobaan dilakukan dengan menggunakan 8 (delapan) unit isolator piring gelas dan 1 (satu) unit *stub* isolator dengan menggunakan elektroda bola-bola sebagai indikator tembus listrik. Jarak dari elektroda bola-bola sebesar 2 mm yang di isolasi oleh dielektrik udara. Dari hasil eksperimen diperoleh bahwa impedansi total pada unit isolator yang rusak (*stub*) akan mengalami penurunan disebabkan terpecahnya bahan dielektrik gelas akan menaikkan nilai kapasitansi dan menurunkan nilai resistansi. Sehingga terpecahnya isolator berbahan gelas akan mempengaruhi besarnya persentase distribusi tegangan yang terdapat pada suatu rentengan isolator rantai dan persentase distribusi tegangan akan naik untuk isolator lain yang berada satu tingkat dari isolator yang mengalami kerusakan untuk posisi isolator lain yang menuju *ground*.

Kata kunci: Isolator Piring Gelas, *Stub*, Arus Permukaan, Distribusi Tegangan.

1. Pendahuluan

Kapasitansi yang timbul di seputar isolator pada setiap piring isolator dengan sekitarnya membuat distribusi tegangan menjadi tidak merata. Tegangan dan medan listrik pada isolator yang berada di dekat kawat adalah tiga sampai empat kali lebih besar daripada isolator yang lain, dimana hal tersebut memudahkan terjadinya korona, dan bila permukaan isolator relatif kotor akan memicu/ mempercepat terjadinya lewatan (*flashover*).

Dalam aplikasinya pada sistem jaringan penyaluran daya listrik terdapat beberapa peristiwa yang dapat menyebabkan terjadinya kerusakan pada isolator piring. Terjadinya petir (*surge*) dan operasi hubung buka (*switching*) dapat menyebabkan mengalirnya arus impuls yang dapat menimbulkan *flashover* pada isolator piring. Kondisi perubahan suhu yang tajam untuk isolator berbahan gelas juga dapat mengakibatkan kerusakan pada rentengan isolator. Hal tersebut dapat mengakibatkan piringan

isolator akan pecah untuk isolator berbahan gelas.

Apabila terjadi kerusakan, maka posisi isolator yang diharapkan pecah terlebih dahulu adalah isolator yang posisinya berdekatan dengan kawat fasa pada saluran transmisi. Akan tetapi, berdasarkan tinjauan lapangan dilihat bahwa posisi unit isolator yang pecah adalah tidak bergantung terhadap lokasi kedekatannya dengan kawat fasa. Hal tersebut tentunya mempengaruhi besarnya distribusi tegangan yang dipikul akibat terpecahnya salah satu rentengan isolator pada setiap letak/posisi isolator piring gelas yang pecah.

Dalam beberapa jurnal ilmiah yang telah beredar banyak dikupas tentang distribusi tegangan dengan menggunakan simulasi komputer menggunakan aplikasi seperti MATLAB, akan tetapi untuk menentukan nilai distribusi tegangan yang dialami isolator juga dapat dilakukan dengan melakukan percobaan di laboratorium.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Isolator Piring

Pada suatu sistem tenaga listrik terdapat berbagai bagian yang memiliki tegangan dan juga tidak bertegangan. Sehingga bagian yang bertegangan ini harus dipisahkan dari bagian-bagian yang tidak bertegangan. Hal ini dilakukan agar tidak terjadi aliran arus yang tidak semestinya ada antara satu bagian dengan yang lainnya. Adapun fungsi utama isolator adalah:

- a. Penyekat/mengisolasi penghantar dengan tanah dan antara penghantar dengan penghantar.
- b. Memikul beban mekanis yang disebabkan oleh berat penghantar dan/ atau gaya tarik penghantar.

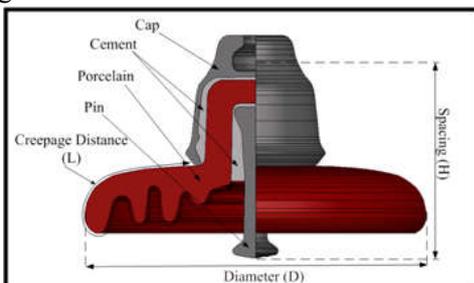


Gambar 1. Isolator dalam bentuk piring

Isolator rantai merupakan kumpulan dari beberapa isolator piring seperti pada Gambar 1 yang disusun secara berantai sehingga menjadi satu kesatuan isolator. Isolator rantai seperti biasanya digunakan untuk menggantung penghantar transmisi tegangan tinggi pada menara-menara transmisi.

Konstruksi

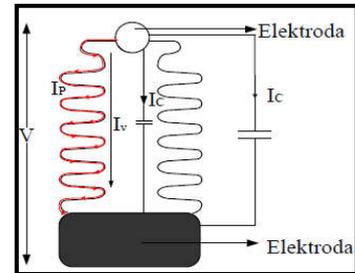
Isolator pada umumnya memiliki tiga bagian utama dilihat pada Gambar 2 yaitu bahan dielektrik, kap (*cap*) dan fitting (*pin*). Selain itu juga terdapat semen yang berfungsi sebagai bahan perekat yang merekatkan ketiga bagian ini.



Gambar 2. Penampang melintang isolator Piring

Tahanan Isolator

Tegangan yang dipikul isolator adalah tegangan AC, maka selain arus permukaan dan arus volume, pada isolator juga mengalir arus kapasitif seperti pada Gambar 3. Arus kapasitif terjadi karena adanya kapasitansi yang dibentuk isolator dengan elektroda.



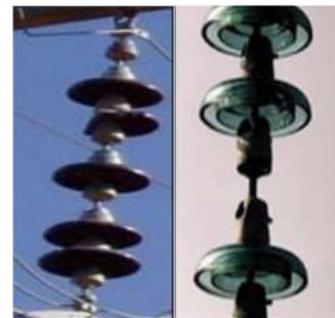
Gambar 3. Komponen arus bocor isolator

Arus bocor yang mengalir melalui suatu isolator dituliskan pada Persamaan 1.

$$I_B = I_P + I_C + I_V \tag{1}$$

Stub (Bongkol)

Isolator piring gelas ketika telah pecah akan meninggalkan bongkol isolator yang disebut dengan istilah *stub*. Kerusakan yang terjadi pada isolator berbahan porselen menyebabkan lempeng piring akan terkelupas sedangkan untuk isolator berbahan gelas dapat mengakibatkan lempeng piring akan pecah seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Kerusakan isolator rantai saluran transmisi.



Gambar 5. Peristiwa external arc pada Sun Piring

Isolator yang mengalami kerusakan akan menyebabkan timbulnya, C_s yaitu kapasitansi tambahan *stub* dan R_s yaitu tahanan tambahan *stub* yang timbul di dalam isolator. Sehingga besar komponen C dan R didefinisikan pada Persamaan 2 dan Persamaan 3.

$$C = C_0 + C_s \quad (2)$$

$$1/R = 1/R_0 + 1/R_s \quad (3)$$

2.2. Kapasitansi

Nilai suatu kapasitansi dari suatu kapasitor tergantung dari nilai permitivitas bahan pembuat kapasitor, luas penampang, dan jarak antara dua keping penyusun kapasitor tersebut seperti pada Persamaan 4.

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (4)$$

2.3. Distribusi Tegangan

Dua konduktor yang dipisahkan oleh suatu dielektrik atau susunan “konduktor-dielektrik-konduktor” merupakan suatu susunan kapasitor. Jika beberapa isolator piring disusun menjadi isolator rantai, maka akan dijumpai tiga kelompok susunan “konduktor-dielektrik-konduktor”, masing-masing dibentuk oleh :

- Kap isolator-dielektrik-fitting. (C_1).
- Kap isolator-udara-menara. (C_2)
- Kap isolator-udara-konduktor transmisi. (C_3)

3. Metodologi Penelitian

3.1. Tempat

Pengambilan data dalam penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

3.2. Waktu

Waktu pengambilan data dilaksanakan pada tanggal 07 September 2014 pukul 09.00 s.d. 17.00 WIB.

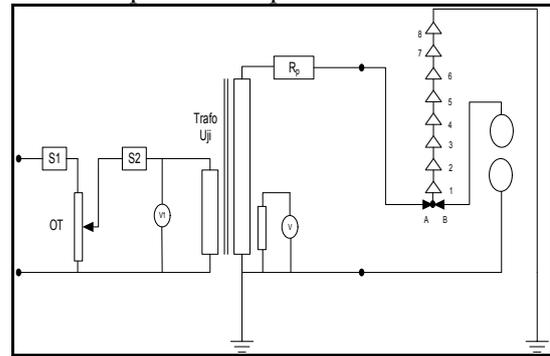
3.3. Prosedur Penelitian

Pengujian tegangan tembus elektroda bola-bola diawali dengan menyalakan saklar utama (S_1) dan saklar sekunder (S_2). Tegangan pada kumparan primer trafo uji dapat dilihat pada voltmeter primer (V_1) sedangkan tegangan sekunder atau tegangan pengujian isolator dilihat pada voltmeter uji (V). Pada rangkaian ditambahkan resistor peredam (R_p)

sebagai pencegahan arus hubung singkat yang besar. Kenaikan tap pada autotransformator (OT) secara bertahap akan menyebabkan elektroda bola-bola tembus listrik, nilai tegangan tembus tersebut akan dicatat sebagai nilai tegangan yang dipikul isolator.

3.4. Rangkaian Penelitian

Rangkaian penelitian dalam pengujian isolator diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian percobaan penelitian.

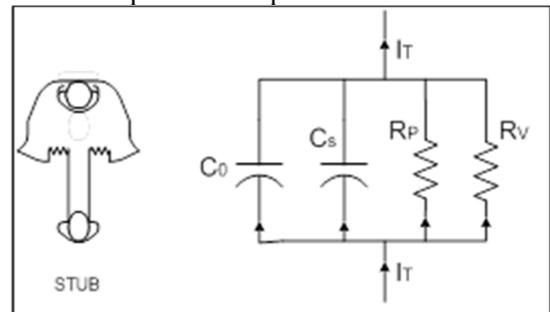
Bahan uji isolator diperlihatkan pada Gambar 7 pada kondisi normal dan abnormal.



Gambar 7 Objek uji
(a) isolator piring gelas
(b) *stub*.

4. Hasil dan Analisis

Kerusakan yang terjadi pada isolator piring gelas menyebabkan timbulnya kenaikan nilai kapasitansi, menurunkan nilai tahanan volume, dan turunnya nilai tahanan permukaan isolator. Rangkaian ekuivalen isolator diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian ekuivalen *stub* isolator

Nilai kapasitansi dan resistansi tersusun secara paralel sehingga impedansi total yang terdapat pada isolator dapat diturunkan pada Persamaan 5.

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{X_C} + \frac{1}{R} \tag{5}$$

Besarnya nilai X_C ditentukan oleh nilai C_O (kapasitansi isolator) dan C_S (kapasitansi *stub*) yang tersusun secara paralel sedangkan nilai R ditentukan oleh nilai R_P (tahanan permukaan) dan R_V (tahanan volume) yang tersusun secara paralel. Maka, berdasarkan penurunan persamaan di atas dapat dituliskan nilai Z (impedansi) dari *stub* isolator sehingga dituliskan pada Persamaan 6.

$$Z = \frac{j(R_P \cdot R_V)}{j(R_P + R_V) + \omega C \cdot (R_P \cdot R_V)} \tag{6}$$

Berdasarkan Persamaan 6 di atas dapat dibuktikan bahwa dengan naiknya nilai C dan turunnya nilai R mengakibatkan impedansi isolator akan menjadi berkurang. Dengan mengasumsikan bahwa arus pada masing-masing isolator adalah sama, maka nilai tegangan pikul yang dimiliki isolator dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 7.

$$V = I \cdot Z \tag{7}$$

Persamaan 7 di atas membuktikan bahwa tegangan tembus elektroda bola-bola akan turun ketika dihubungkan pada isolator yang rusak/ *stub*. Hal tersebut disebabkan telah menurunnya nilai impedansi pada isolator, dimana pada persamaan di atas nilai impedansi berbanding lurus dengan nilai tegangan.

Analisis perhitungan persentase distribusi tegangan pada isolator menggunakan Persamaan 8 sampai dengan Persamaan 11 di bawah ini:

$$V_{i1} = \frac{V_1 - V_b}{V_t - V_b} \times 100\% \tag{8}$$

$$V_{i1} + V_{i2} = \frac{V_2 - V_b}{V_t - V_b} \times 100\% \tag{9}$$

$$V_{i1} + V_{i2} + V_{i3} = \frac{V_3 - V_b}{V_t - V_b} \times 100\% \tag{10}$$

Perhitungan dilanjutkan sampai pada V_{i7} , sehingga:

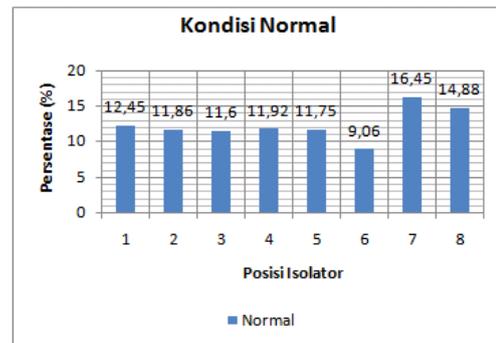
$$V_{i8} = 100\% - (V_{i7} + \dots + V_{i2} + V_{i1}) \tag{11}$$

Berdasarkan percobaan yang dilakukan didapatkan hasil tegangan tembus sela bola dengan kondisi dan posisi *stub* yang berbeda-beda.

Hasil penelitian pada kondisi normal diperlihatkan pada Tabel 1. Dari Gambar 9 dilihat bahwa persentase distribusi tegangan hampir merata pada masing-masing unit isolator piring. Isolator yang seragam membuat distribusi tegangan merata pada setiap unit isolator piring.

Tabel 1. Tegangan tembus sela bola pada kondisi normal

KONDISI NORMAL						
No	Terminal		Tegangan Tembus Bola (kV)			Vrata
	A	B	V1	V2	V3	
1	pin 1	pin 1	9	8,8	7,6	8,466667
2	pin 1	pin 2	16,2	16,26	16,04	16,16667
3	pin 1	pin 3	23,8	23,5	23,19	23,49667
4	pin 1	pin 4	30,9	30,6	30,5	30,66667
5	pin 1	pin 5	38,7	37,7	37,7	38,03333
6	pin 1	pin 6	45,5	45,2	45,2	45,3
7	pin 1	pin 7	50,3	51,2	51,2	50,9
8	pin 1	pin 8	61,2	61,7	60,3	61,06667
9	pin 1	cap 8	71,02	70,55	69,23	70,26667



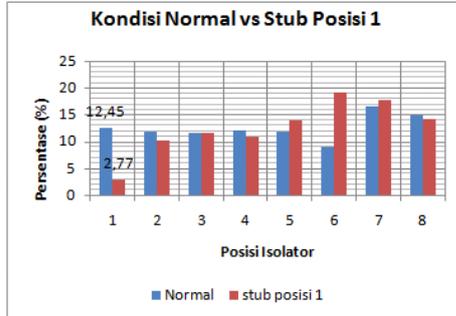
Gambar 9. Grafik kondisi normal.

Hasil penelitian pada kondisi *stub* posisi 1 diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tegangan tembus sela bola pada kondisi *stub* posisi 1

KONDISI STUB POSISI 1						
No	Terminal		Tegangan Tembus Bola (kV)			Vrata
	A	B	V1	V2	V3	
1	pin 1	pin 1	8,9	7,4	7,9	8,066667
2	pin 1	pin 2	9,88	9,8	9,7	9,793333
3	pin 1	pin 3	16,05	16,02	16,1	16,056667
4	pin 1	pin 4	23,09	23,55	23,09	23,243333
5	pin 1	pin 5	30,29	29,96	29,62	29,956667
6	pin 1	pin 6	38	38,79	38,86	38,55
7	pin 1	pin 7	51,2	50,02	50,02	50,413333
8	pin 1	pin 8	61,3	61,8	61	61,366667
9	pin 1	cap 8	70,25	69,95	70,5	70,233333

Dari Gambar 10 dilihat bahwa persentase distribusi tegangan pada posisi 1 isolator rantai menjadi turun dikarenakan isolator piring telah menjadi *stub*. Besarnya penurunan persentase distribusi tegangan adalah 9,68 % dari isolator pada kondisi normal.

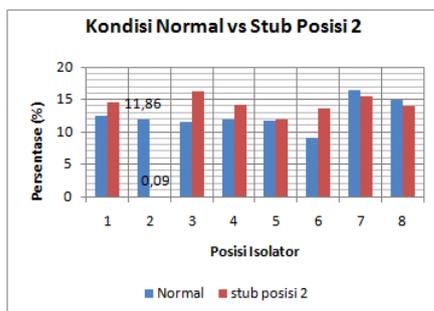


Gambar 10. Grafik *stub* pada posisi 1

Hasil penelitian pada kondisi *stub* posisi 2 diperlihatkan pada Tabel 3. Dari Gambar 11 dilihat bahwa persentase distribusi tegangan pada posisi 2 isolator rantai menjadi turun dikarenakan isolator piring telah menjadi *stub*. Besarnya penurunan persentase distribusi tegangan adalah 11,76 % dari isolator pada kondisi normal.

Tabel 3. Tegangan tembus sela bola pada kondisi *stub* posisi 2

KONDISI STUB POSISI 2						
No	Terminal		Tegangan Tembus Bola (kV)			Vrata
	A	B	V1	V2	V3	
1	pin 1	pin 1	9,3	7,7	7,8	8,266667
2	pin 1	pin 2	17,23	16,8	17,24	17,09
3	pin 1	pin 3	16,93	17,52	17	17,15
4	pin 1	pin 4	26,96	27,02	27,01	26,99667
5	pin 1	pin 5	35,77	35,54	35,42	35,57667
6	pin 1	pin 6	42,8	43,1	42,7	42,86667
7	pin 1	pin 7	50,2	52	51,2	51,13333
8	pin 1	pin 8	60,9	59,8	61	60,56667
9	pin 1	cap 8	69,1	68,35	69,8	69,08333



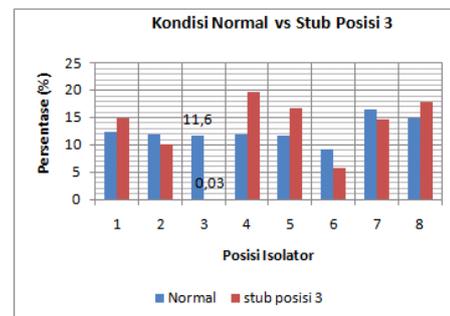
Gambar 11 Grafik *stub* pada posisi 2

Hasil penelitian pada kondisi *stub* posisi 3 diperlihatkan pada Tabel 4. Dari Gambar 12 dilihat bahwa persentase distribusi tegangan pada posisi 3 isolator rantai menjadi turun

dikarenakan isolator piring telah menjadi *stub*. Besarnya penurunan persentase distribusi tegangan adalah 11,56 % dari isolator pada kondisi normal.

Tabel 4. Tegangan tembus sela bola pada kondisi *stub* posisi 3

KONDISI STUB POSISI 3						
No	Terminal		Tegangan Tembus Bola (kV)			Vrata
	A	B	V1	V2	V3	
1	pin 1	pin 1	7,6	7,5	7,3	7,466667
2	pin 1	pin 2	15,9	15,7	16,01	15,87
3	pin 1	pin 3	21,54	21,3	21,9	21,58
4	pin 1	pin 4	21,51	21,37	21,92	21,6
5	pin 1	pin 5	32,8	32,7	32,47	32,65667
6	pin 1	pin 6	42,6	41,9	41,6	42,03333
7	pin 1	pin 7	45,3	45,4	45,2	45,3
8	pin 1	pin 8	53	53,2	54,5	53,56667
9	pin 1	cap 8	64,9	63,05	63	63,65



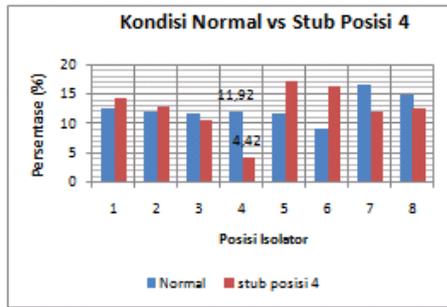
Gambar 12. Grafik *stub* pada posisi 3

Hasil penelitian pada kondisi *stub* posisi 4 diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Tegangan tembus sela bola pada kondisi *stub* posisi 4

KONDISI STUB POSISI 4						
No	Terminal		Tegangan Tembus Bola (kV)			Vrata
	A	B	V1	V2	V3	
1	pin 1	pin 1	8,1	7,3	7,5	7,633333
2	pin 1	pin 2	17,26	17	16,78	17,01333
3	pin 1	pin 3	25,33	25	25,88	25,40333
4	pin 1	pin 4	32	32,56	32,7	32,42
5	pin 1	pin 5	36	34,9	35,07	35,32333
6	pin 1	pin 6	46,7	46,5	46,3	46,5
7	pin 1	pin 7	57,7	57,1	56,9	57,23333
8	pin 1	pin 8	65	65,3	65	65,1
9	pin 1	cap 8	73,44	72,78	73,56	73,26

Dari Gambar 13 dilihat bahwa persentase distribusi tegangan pada posisi 4 isolator rantai menjadi turun dikarenakan isolator piring telah menjadi *stub*. Besarnya penurunan persentase distribusi tegangan adalah 7,49 % dari isolator pada kondisi normal.

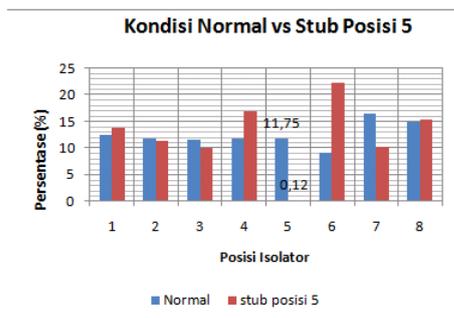


Gambar 13. Grafik stub pada posisi 4

Hasil penelitian pada kondisi stub posisi 5 diperlihatkan pada Tabel 6. Dari Gambar 14 dilihat bahwa persentase distribusi tegangan pada posisi 5 isolator rantai menjadi turun dikarenakan isolator piring telah menjadi stub. Besarnya penurunan persentase distribusi tegangan adalah 11,63 % dari isolator pada kondisi normal.

Tabel 6. Tegangan tembus sela bola pada kondisi stub posisi 5

KONDISI STUB POSISI 5						
No	Terminal		Tegangan Tembus Bola (kV)			Vrata
	A	B	V1	V2	V3	
1	pin 1	pin 1	8,37	8,1	8,3	8,256667
2	pin 1	pin 2	16,3	16,1	16,2	16,2
3	pin 1	pin 3	22,93	22,57	22,6	22,7
4	pin 1	pin 4	28,4	28,5	28,63	28,51
5	pin 1	pin 5	38,67	38,05	38,23	38,31667
6	pin 1	pin 6	38,5	38,27	38,4	38,39
7	pin 1	pin 7	51	51,7	51,2	51,3
8	pin 1	pin 8	57	57,2	57,4	57,2
9	pin 1	cap 8	66,4	65,76	66	66,05333



5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Impedansi total pada unit isolator yang rusak (stub) akan mengalami penurunan disebabkan terpecahnya bahan dielektrik gelas akan menaikkan nilai kapasitansi dan menurunkan nilai resistansi.
- Terpecahnya isolator berbahan gelas akan mempengaruhi besarnya persentase

distribusi tegangan yang terdapat pada suatu rentengan isolator rantai dan persentase distribusi tegangan akan naik untuk isolator lain yang berada satu tingkat dari isolator yang mengalami kerusakan untuk posisi isolator lain yang menuju ground. Hal tersebut dimungkinkan disebabkan karena terjadinya perubahan impedansi pada masing-masing isolator piring.

Daftar Pustaka

- Akbari, Ebrahim dan Mirzaie, Mohammad, "Investigating the effects of disc insulator type and corona ring on voltage distribution over 230-kV insulator string using 3-D FEM," *International Journal of Engineering Sciences & Emerging Technologies*, vol. 3, no. 1, pp. 1-8, 2012.
- Tobing, B.L., *Peralatan Tegangan Tinggi*, Jakarta: Erlangga, 2012.
- Tobing, B.L., *Dasar-Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, Edisi Kedua, Jakarta: Erlangga, 2012.
- "Sediver Toughened Glass Suspension Insulator Catalog," Canada, Sediver.
- JM George, S. Prat, S. Tartier, and Z. Lodi, "Electrical Characteristic and Properties of a Stub (Damaged Toughened Glass Insulator)", *18th International Symposium on High Voltage Engineering*, August 25-30, 2013, Seoul, Korea.
- Naidu, M. dan Kamaraju, V., *High Voltage Engineering*, second edition, The McGraw-Hill Companies, Inc, 1996.
- Kuffel, E., Zaengl, W dan Kuffel, J., *High Voltage Engineering Fundamentals*, second edition, Butterworth-Heinemann, 2000.
- Insulators for Power Transmission Lines and Substations with Voltage from 0,4 kV to 1150 kV, Product Catalog GIG.