

ANALISIS ARUS BOCOR DAN TEGANGAN *FLASHOVER* PADA ISOLATOR SUSPENSII 20 kV 3 SIRIP DENGAN 4 TIPE SIRIP BERBAHAN POLIMER RESIN EPOKSI SILANE SILIKA

Dwi Aji Sulistyanto^{*)}, Hermawan^{**)}, and Abdul Syakur

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia

Email :^{*)} dwityan77@gmail.com , ^{**)} gakusei2003@yahoo.com

Abstrak

Isolator adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk mengisolasi penghantar bertegangan dan menyangga penghantar. Isolator konvensional berbahan porselin dan kaca memiliki berat yang cukup tinggi dan bersifat menyerap air. Beberapa penelitian terdahulu didapatkan isolator resin epoksi dengan kode uji RTV₂₄ memiliki kekuatan mekanis cukup tinggi yang tahan terhadap penuaan di daerah tropis, tapi ketika dilakukan pengujian dengan tegangan tinggi impuls isolator mengalami *breakdown* (pecah). Untuk mengatasi masalah ini perlu adanya peningkatan kekuatan dielektrik dengan memperbesar konstruksi isolator. Tugas akhir ini menganalisis dan membandingkan pengaruh empat tipe sirip (*Shed Compact Type* (SC), *Shed Standart Type* (SS), *Shed Long Leakage Type* (SL), *Shed Extra Long Leakage Type* (SE)) isolator polimer resin epoksi silane silika terhadap besarnya arus bocor dan tegangan *flashover* pada tingkat kelembaban 60% dan 70%. Tipe sirip isolator yang paling efektif dapat diperoleh dengan meningkatkan kekuatan dielektriknya. Berdasarkan hasil penelitian dari keempat tipe sirip isolator polimer resin epoksi silane silika didapatkan jarak bocor terpanjang terdapat pada isolator tipe SE, sedangkan jarak *flashover* terpanjang terdapat pada isolator tipe SL. Nilai arus bocor semakin meningkat sebanding dengan meningkatnya tegangan terapan isolator dan berbanding terbalik dengan panjang jarak bocornya. Besarnya tegangan *flashover* sebanding dengan panjang jarak *flashover* dari isolator. Tingkat tegangan *flashover* dan arus bocor dipengaruhi oleh tingkat persentase kelembaban udara. Isolator tipe SE adalah tipe yang paling efektif dalam menurunkan nilai arus bocor, sedangkan isolator tipe SL adalah tipe yang paling efektif dalam meningkatkan tegangan *flashover*.

Kata Kunci : Isolator, arus bocor, tegangan *flashover*, jarak bocor, jarak *flashover*.

Abstract

Insulator is electric equipment that serves to isolate the conductors voltage and supporting conductors. Conventional insulators made of porcelain and glass has high weight and are absorbing water. Several previous studies found an epoxy resin insulator with test code RTV₂₄ have high mechanical strength that is resistant to aging in the tropics, but when tested with a high impulse voltage insulator breakdown (rupture). To solve this problem there is a needs to increase the dielectric strength of insulator by increasing insulator construction. The final assignment is to analyze and compare the effect of four types of fins (Compact Shed Type (SC), Shed Standard Type (SS), Long Leakage Shed Type (SL), Shed Extra Long Leakage Type (SE)) polymer insulator sealant silica epoxy resin to the amount of leakage current and flashover voltage on the moisture content of 60% and 70%. The effective type of fins insulator are most effective in increasing the dielectric strength. Based on the results of the four types of polymer insulator sealant silica epoxy resin obtained longest leaked distance found in SE type insulator, whereas the longest flashover distance found in type SL insulator. Value of the leakage current increases with increasing the applied voltage insulator and inversely proportional to the length of the distance leaking. Flashover voltage magnitude is proportional to the length of the insulator flashover distance. Rate flashover voltage and the leakage current is influenced by the level of humidity percentage. Insulator SE type is most effective type to decrease the value of leakage current, while the SL type insulator is the most effective one increasing voltage flashover.

Keywords: Insulator, leakage current, flashover voltage, leakage distance, flashover distance.

1. Pendahuluan

Isolator adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk mengisolasi penghantar bertegangan dan menyangga penghantar. Isolator konvensional berbahan porselin dan kaca memiliki berat yang cukup tinggi dan bersifat

menyerap air. Beberapa penelitian terdahulu didapatkan isolator resin epoksi dengan kode uji RTV₂₄ memiliki kekuatan mekanis cukup tinggi yang tahan terhadap penuaan di daerah tropis, tapi ketika dilakukan pengujian dengan tegangan tinggi impuls isolator mengalami *breakdown* (pecah). Untuk mengatasi masalah ini perlu adanya peningkatan kekuatan dielektrik dengan

memperbesar konstruksi isolator. Tugas akhir ini menganalisis dan membandingkan pengaruh empat tipe sirip (*Shed Compact Type (SC)*, *Shed Standart Type (SS)*, *Shed Long Leakage Type (SL)*, *Shed Extra Long Leakage Type (SE)*) isolator polimer resin epoksi silane silika terhadap besarnya arus bocor dan tegangan *flashover* pada tingkat kelembaban 60% dan 70%. Tipe sirip isolator yang paling efektif dapat diperoleh dengan meningkatkan kekuatan dielektriknya.

Tujuan pembuatan Tugas Akhir ini untuk, mengetahui dan membandingkan jarak bocor atau rayap (*leakage or creepage distance*) dan jarak *flashover (flashover distance)* dari keempat tipe sirip, untuk mengetahui, mengukur, menganalisis dan membandingkan besarnya arus bocor dan tegangan *flashover* pada keempat tipe, untuk mengetahui dan membandingkan pengaruh kelembaban udara antara kelembaban 60% dengan kelembaban 70% terhadap besarnya arus bocor dan tegangan *flashover* yang terjadi pada keempat tipe sirip isolator (*Compact Type (SC)*, *Standart Type (SS)*, *Long Leakage Type (SL)*, *Extra Long Leakage Type (SE)*) isolator polimer resin epoksi silane silika, dan untuk mendapatkan tipe sirip yang paling efektif dalam peningkatan kekuatan dielektrik.

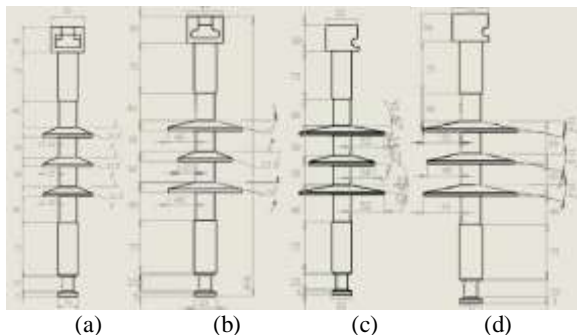
2. Metode

2.1. Bahan Pengukuran

Bahan isolator polimer resin epoksi silane silika dalam pengukuran ini adalah DGEBA (*Diglycidyl Ether of Bisphenol A*), MPDA (*Metaphenylenediamine*), Silane dan silika.

2.2. Bentuk Isolator Uji

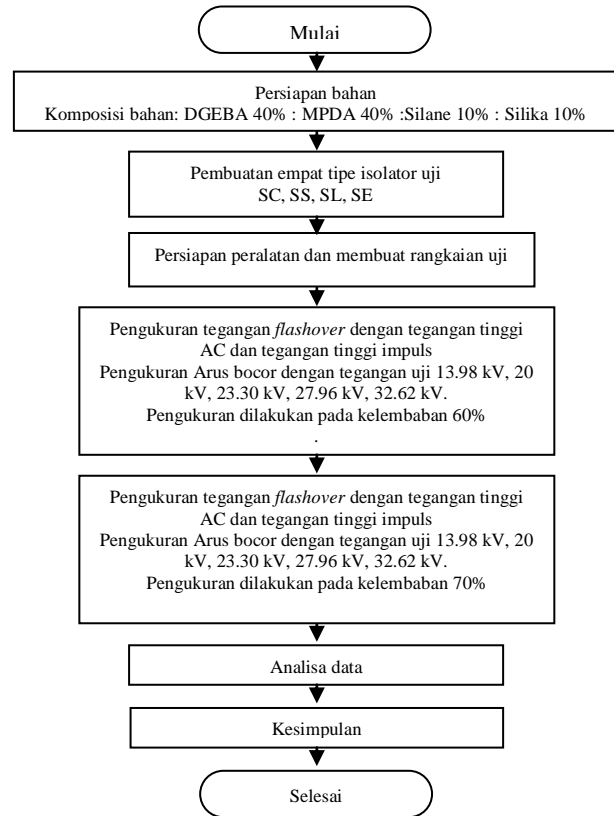
Isolator yang digunakan dalam pengukuran adalah isolator tiga sirip dengan empat tipe antara lain: *Shed Compact Type (SC)*, *Shed Standart Type (SS)*, *Shed Long Leakage Type (SL)*, *Shed Extra Long Leakage Type (SE)*.



Gambar 1. Sketsa tipe isolator uji (a) SC, (b) SS, (c) SL, (d) SE

2.3. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah proses penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

2.4. Proses Pengukuran

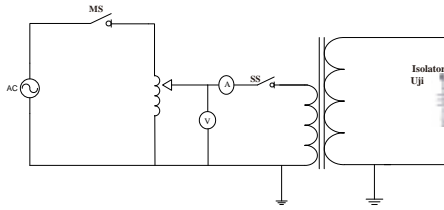
Pengukuran tegangan *flashover* dan arus bocor dilakukan pada kelembaban 60% dan 70%. Dimaksudkan untuk mendapatkan data dan mengetahui pengaruh kelembaban terhadap tegangan *flashover* dan arus bocor dari keempat tipe isolator.

2.4.1. Pengukuran Tegangan Flashover

Pengukuran tegangan *flashover* dilakukan dengan memberikan tegangan yang dinaikkan secara terus-menerus sampai terjadi *flashover*. Tujuan pengukuran tegangan *Flashover* ini adalah untuk mengetahui kekuatan dielektrik isolator terhadap tegangan tinggi.

2.4.1.2. Pengukuran Tegangan Flashover Tegangan Tinggi AC

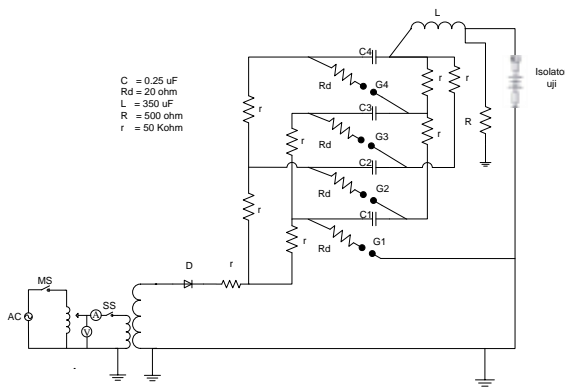
Pada pengukuran tegangan *flashover* tegangan tinggi AC menggunakan pembangkit tegangan tinggi AC dengan rangkaian yang digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian pengukuran tegangan flashover tegangan tinggi AC

2.4.2.2. Pengukuran Tegangan Flashover Tegangan Tinggi Impuls

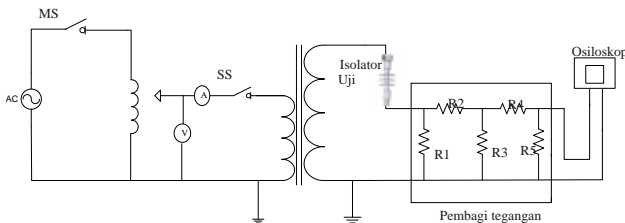
Alat yang digunakan dalam pengukuran adalah generator impuls dengan rangkaian Marx empat tingkat. Gambar 4. menunjukkan rangkaian generator impuls.



Gambar 4. Generator impuls

2.4.2.3. Pengukuran Arus Bocor

Pengukuran arus bocor yang dilakukan dengan memberikan variasi tegangan 13,98 kV; 20 kV; 23,30 kV; 27,96 kV dan 32,62 kV. Tujuannya adalah untuk mengetahui nilai arus bocor ketika diberi tegangan terapan.



Gambar 5. Rangkaian Pengukuran Arus Bocor

3. Hasil dan Analisis

Berasarkan hasil pengukuran profil dari keempat tipe isolator resin epoksi silane silika didapatkan data jarak bocor atau rayap dan jarak flashover, seperti yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jarak bocor atau rayap dan jarak flashover pada keempat tipe isolator resin epoksi silane silika

Tipe Isolator	Jarak Bocor (mm)	Jarak Flashover (mm)
SC	302	197
SS	360	222
SL	432	238
SE	454	234

3.1. Pengukuran Tegangan Flashover

3.1.1. Hasil Pengukuran dan Analisis Tegangan Flashover dengan Tegangan Tinggi AC pada Kelembaban 60% dan 70%.

Tabel 2. Tegangan flashover isolator Resin epoksi silane silika tipe SC

Isolator Tipe SC	Percobaan ke	Tegangan Flashover			
		Kelembaban 60%		Kelembaban 70%	
		V _p (V)	V _u (kV)	V _p (V)	V _u (kV)
	1	210	97,860	192	89,472
	2	210	97,860	197	91,802
	3	203	94,598	201	93,666
	4	202	94,132	203	94,598
	5	210	97,860	204	95,064
Rata-rata:		207	96,462	199,4	92,920


Tabel 3. Tegangan flashover isolator Resin epoksi silane silika tipe SS

Isolator Tipe SS	Percobaan ke	Tegangan Flashover			
		Kelembaban 60%		Kelembaban 70%	
		V _p (V)	V _u (kV)	V _p (V)	V _u (kV)
	1	232	108,112	215	100,190
	2	230	107,180	213	99,258
	3	213	99,258	211	98,326
	4	215	100,190	210	97,860
	5	227	105,782	209	97,394
Rata-rata:		223,4	104,104	211,6	98,605

Tabel 4. Tegangan flashover isolator Resin epoksi silane silika tipe SL

Isolator Tipe SL	Percobaan ke	Tegangan Flashover			
		Kelembaban 60%		Kelembaban 70%	
		V _p (V)	V _u (kV)	V _p (V)	V _u (kV)
	1	*240	*111,840	240	111,840
	2	*240	*111,840	231	107,646
	3	*240	*111,840	238	110,908
	4	*240	*111,840	231	107,646
	5	*240	*111,840	235	109,510
Rata-rata:		*240	*111,840	235	109,510

Tabel 5. Tegangan flashover isolator Resin epoksi silane silika tipe SE

Isolator Tipe SE	Percobaan ke	Tegangan Flashover			
		Kelembaban 60%		Kelembaban 70%	
		V _p (V)	V _u (kV)	V _p (V)	V _u (kV)
	1	*240	*111,840	211	98,326
	2	*240	*111,840	213	99,258
	3	*240	*111,840	216	100,656
	4	*240	*111,840	225	104,850
	5	*240	*111,840	219	102,054
Rata-rata:		*240	*111,840	216,8	101,028

Catatan: Tanda (*) pada tabel di atas berarti nilai tegangan tersebut lebih besar dari nilai tegangan yang tertulis.

Berdasarkan data-data hasil pengukuran tegangan flashover dari Tabel 2 sampai Tabel 5, didapatkan disajikan dalam satu tabel seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Tegangan flashover pada keempat tipe sirip isolator pada kelembaban 60% dan kelembaban 70%.

Tipe Isolator	Jarak Flashover (mm)	V _u (kV)	
		kelembaban 60%	kelembaban 70%
SC	197	96,462	92,920
SS	222	104,104	98,605
SL	238	*111,840	109,510
SE	234	*111,840	101,028

Untuk menganalisis unjuk kerja isolator, data pada Tabel 6. dibuat ke dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada Gambar 6, 7, dan 8 sebagai berikut.



Gambar 6. Grafik tegangan flashover dengan jarak flashover pada kelembaban 60%

Gambar 6 merupakan grafik tegangan flashover dengan jarak flashover pada tingkat kelembaban 60%. Pada jarak flashover 197 mm didapatkan tegangan flashover terendah, sedangkan tegangan flashover tertinggi terdapat

pada jarak flashover 234 mm dan 238 mm. Dapat disimpulkan semakin panjang jarak flashover pada suatu isolator, semakin besar pula nilai tegangan flashover.



Gambar 7 Grafik tegangan flashover dengan jarak flashover pada kelembaban 70%

Gambar 7 merupakan grafik tegangan flashover dengan jarak flashover pada tingkat kelembaban 70%. Pada jarak flashover 197 mm didapatkan tegangan flashover terendah, sedangkan tegangan flashover tertinggi terdapat pada jarak flashover 238 mm. Dapat disimpulkan semakin panjang jarak flashover pada suatu isolator, semakin besar pula nilai tegangan flashover. Karena semakin panjang jarak flashover dibutuhkan energi ionisasi untuk terjadi flashover yang semakin besar.

Berdasarkan Grafik 6 dan 7 dapat disajikan dalam satu grafik untuk memperoleh pengaruh tingkat persentase kelembaban terhadap besarnya tegangan flashover. Seperti ditunjukkan pada gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8 Grafik tegangan flashover dengan jarak flashover pada kelembaban 60% dan kelembaban 70%

Berdasarkan grafik pada Gambar 8 menunjukkan pengaruh tingkat kelembaban udara pada tegangan flashover. Tegangan flashover pada tingkat kelembaban 70% lebih rendah daripada tegangan flashover pada tingkat kelembaban 60%. Semakin tinggi tingkat persentase kelembaban udara, tegangan flashover semakin rendah yang mengakibatkan isolator lebih cepat terjadinya flashover.

3.1.2. Hasil Pengukuran dan Analisis Tegangan Flashover dengan Tegangan Tinggi Impuls

Pengukuran tegangan tinggi impuls ini menggunakan

metode up-down 50% SOV dalam 16 kali percobaan yang dilakukan pada kelembaban 60% dengan suhu ruang 29°C dan tekanan udara 741,076 mmHg. Tegangan *flashover* diperoleh dari persamaan berikut.^[1]

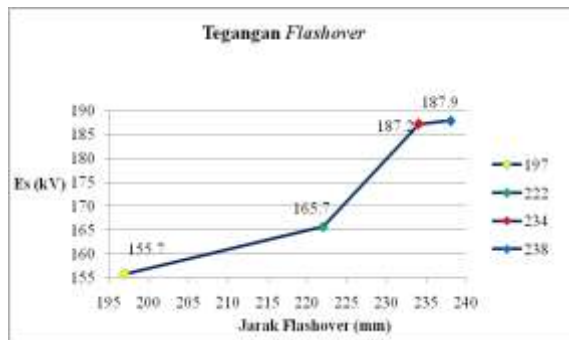
$$E_s = E_{\min} + (E_i - E_{i-1}) (\sum_{ni} / \sum_{ini} + 0,5)$$

Berikut adalah tabel hasil perhitungan tegangan *flashover* tegangan tinggi impuls.

Tabel 7. Nilai tegangan *flashover* dari hasil perhitungan.

Tipe Isolator	Jarak <i>Flashover</i> (mm)	E_s (kV)
SC	197	155,7
SS	222	165,7
SL	238	187,9
SE	234	187,2

Untuk menganalisis unjuk kerja isolator, data pada Tabel 7 dibuat ke dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 9 Grafik *flashover* tegangan tinggi impuls dengan jarak *flashover*

Berdasarkan grafik pada Gambar 9 menunjukkan hubungan tegangan *flashover* tegangan tinggi impuls dengan jarak *flashover*. Pada jarak *flashover* 197 mm didapatkan tegangan *flashover* terendah, sedangkan tegangan *flashover* tertinggi terdapat pada jarak *flashover* 238 mm. Semakin panjang jarak *flashover* isolator, semakin besar nilai tegangan *flashover*.

3.2. Pengukuran Arus Bocor

Pengukuran arus bocor dilakukan dengan variasi tegangan 13,98 kV; 20 kV; 23,3 kV; 27,960 kV; dan 32,620 kV pada kondisi kelembaban 60%, 29°C, 988 mbar dan kelembaban 70%, 28°C, 989 mbar. Pengukuran arus bocor ini menggunakan osiloskop untuk menampilkan nilai tegangan masukan dari rangkaian pembagi tegangan. Tegangan efektif (V_{rms}) pada osiloskop digunakan untuk menghitung arus bocor dengan persamaan seperti di bawah ini.

$$I_1 = 0.027285294 V_{CF}$$

Dimana V_{CF} merupakan tegangan efektif (V_{rms}) yang terbaca pada osiloskop.

Data-data hasil pengukuran arus bocor dari keempat isolator ditunjukkan pada tabel-tabel berikut.

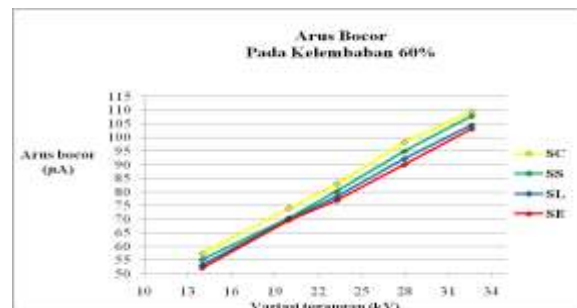
Tabel 8. Arus bocor keempat tipe isolator pada kelembaban 60%

Tipe isolator	Jarak Bocor (mm)	Arus bocor pada variasi tegangan (μA)				
		13,98 kV	20 kV	23,30 kV	27,96 kV	32,62 kV
SC	302	57,3	73,9	82,9	98,2	109,4
SS	360	55,1	70,4	80,2	94,9	107,8
SL	432	53,2	70,1	78,3	92,2	104,5
SE	454	52,1	69,6	76,9	90	103,1

Tabel 9. Arus bocor keempat tipe isolator pada kelembaban 70%

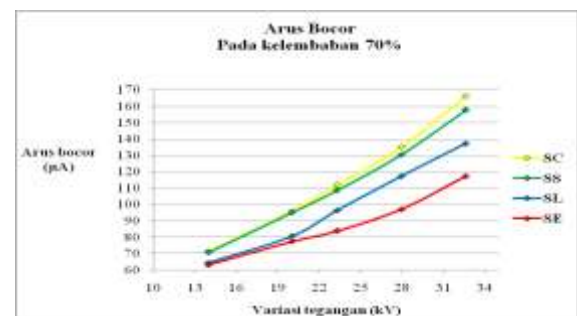
Tipe isolator	Jarak Bocor (mm)	Arus bocor pada variasi tegangan (μA)				
		13,98 kV	20 kV	23,30 kV	27,96 kV	32,62 kV
SC	302	71,2	95,8	111,9	135,3	166,2
SS	360	70,7	94,9	108,6	130,4	157,7
SL	432	64,3	80,5	96,3	117,3	137,2
SE	454	63	77,2	83,8	97,1	117,3

Untuk menganalisis unjuk kerja isolator, data pada Tabel 8 dibuat ke dalam bentuk grafik pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik arus bocor pada keempat tipe isolator dengan tegangan uji pada kelembaban 60%

Untuk menganalisis unjuk kerja isolator, data pada Tabel 9 dibuat ke dalam bentuk grafik pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik arus bocor pada keempat tipe isolator dengan tegangan uji pada kelembaban 70%

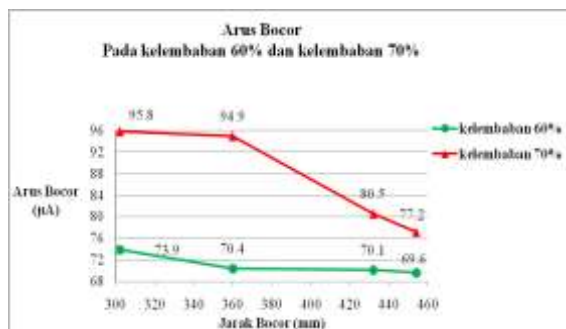
Berdasarkan grafik pada Gambar 10 dan 11, nilai arus bocor meningkat saat tegangan uji dinaikkan dan nilai arus bocor isolator tipe SC yang paling besar diantara tipe-tipe lainnya, karena memiliki jarak bocor terpendek, sedangkan nilai arus bocor terendah terdapat pada isolator tipe SE, karena memiliki jarak bocor terpanjang. Nilai arus bocor sebanding dengan naiknya tegangan yang diterapkan pada isolator dan besarnya arus bocor berbanding terbalik dengan jarak bocor.

Berdasarkan Tabel 8 dan 9 dapat di sajikan dalam satu tabel untuk mengetahui pengaruh kelembaban terhadap besarnya nilai arus bocor. Tabel 10.

Tabel 10. Arus bocor keempat tipe isolator dengan tegangan terapan 20 kV pada kelembaban 60% dan 70%.

Tipe Isolator	Jarak Bocor (mm)	Arus Bocor (μA)	
		Kelembaban 60%	Kelembaban 70%
SC	302	73,9	95,8
SS	360	70,4	94,9
SL	432	70,1	80,5
SE	454	69,6	77,2

Untuk menganalisis unjuk kerja isolator, data pada Tabel 10 dibuat ke dalam bentuk grafik pada gambar 12.



Gambar 12. Grafik arus bocor dengan jarak bocor pada berbagai tipe isolator pada kelembaban 60% dan kelembaban 70%

Berdasarkan grafik pada Gambar 12 menunjukkan bahwa nilai arus bocor pada kedua kelembaban dengan tegangan uji yang sama tiap isolator cenderung menurun sesuai dengan bertambahnya jarak bocor pada isolator dan nilai arus bocor pada kelembaban 70% lebih tinggi dari pada kelembaban 60%. Semakin panjang jarak bocor pada isolator, maka semakin kecil nilai arus bocor yang melewati permukaan isolator. Makin tinggi tingkat persentase kelembaban udara, nilai arus bocor semakin meningkat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut: pada pengukuran dari

keempat tipe sirip isolator, didapatkan jarak bocor atau rayap terpanjang terdapat pada isolator tipe SE, sedangkan jarak *flashover* terpanjang terdapat pada isolator tipe SL. Nilai tegangan *flashover* terbesar terdapat pada isolator tipe SL, sedangkan untuk nilai arus bocor terkecil terdapat pada isolator tipe SE. Peningkatan tingkat persentase kelembaban udara saat dinaikkan dari 60% ke 70% berpengaruh pada tegangan *flashover* yang cenderung menurun, sedangkan nilai arus bocor semakin meningkat. Isolator tipe SL merupakan konstruksi yang paling efektif dalam peningkatan kekuatan dielektrik karena isolator tipe SL memiliki tingkat tegangan *flashover* tertinggi diantara tiga tipe yang lainnya. Walaupun isolator tipe SE memiliki nilai arus bocor terendah, karena selisih rata-rata nilai arus bocor antara isolator tipe SE dengan tipe SL hanya 6,38 μA dan isolator tipe SE tidak memenuhi persyaratan parameter geometris. Untuk penelitian lebih lanjut hendaknya dilakukan pengukuran kekuatan dielektrik pada kondisi basah dan dilakukan uji mekanis pada isolator polimer resin epoksi silane silika tipe SL yang pada penelitian ini merupakan isolator yang paling efektif dalam peningkatan kekuatan dielektriknya. Isolator polimer resin epoksi silane silika tipe SL perlu dilakukan uji coba lapangan yaitu dengan mengaplikasikan tipe SL sebagai isolator pada jaringan distribusi 20 kV.

Referensi

Textbooks:

- [1] Abduh, Syamsir., *Dasar Pembangkitan dan Pengukuran Teknik Tegangan Tinggi*, Salemba Teknika, Jakarta, 2001.
- [2] Tobing, Bonggas L., *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [3] Arismunandar, A., *Teknik Tegangan Tinggi*, Pradnya Paramita, Jakarta, 2001.
- [4] Arismunandar, A., *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*, Ghalia Indonesia, Jakarta, 1983.
- [5] Dissado, L.A., Fothergill J.C., *Electrical Degradation and Breakdown in Polymers*, Peter Peregrinus Ltd, London, 1992.
- [6] Guror, Ravi S., E.A. Cherney dan J.T Burnham, *Outdoor Insulators*, USA, 1999.
- [7] Tobing, Bonggas L., *Peralatan Tegangan Tinggi*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 2003.
- [8] Lee, Henry, Kris Neville, *Epoxy Resins Their Applications And Technology*, McGraw-Hill Book Company, INC, New York Toronto London, 1957.
- [9] T. J. Gallagher, *High Voltage Measurement Testing and Desain*, John wiley and Sons, 1983.
- [10] Syakur, Abdul, *Teori dan Hasil Eksperimen Partial Discharge Pada Bahan isolasi*, BP UNDIP, Semarang, 2009.
- [11] Naidu, MS., dan V. Kamaraju, *High Voltage Engineering*, Tata McGraw-Hill Publishing Company, New Delhi, 1991.
- [12] Kind, D., *An Introduction To High- Voltage Experimental Technique*, Vieweg, 1978.

Skripsi/Thesis/Disertation:

- [13] Arif Rahman Hakim, Muhammad, "*Studi Pengaruh UV terhadap karakteristik bahan isolasi resin epoksi berpolutan garam (NaCl) dengan bahan pengisi pasir silika dan lem silicon*", Skripsi UGM, Yogyakarta, 2003.
- [14] Berahim, Hamzah, *Metodologi untuk Mengkaji Kinerja Isolasi Polimer Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tegangan Tinggi di Daerah Tropis*, Disertasi S-3 Fakultas Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2005.
- [15] Anggraini, Ika Novia., *Pengaruh Komposisi Bahan Isolasi Resin Epoksi dengan Bahan Pengisi Silicone Rubber terhadap Proses Tracking dan Erosi*, Tesis S-2, Fakultas Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2010.
- [16] Prabayani, Yuliana., *Analisis Karakteristik Arus Bocor Pada Isolator Suspensi Dengan Bahan Isolasi Polimer Resin Epoksi Silane dan Isolator Silicon Rubber*, Skripsi S-1, Fakultas Teknik Elektro Universitas Diponegoro, Semarang, 2012.