

PEMODELAN ARUS BOCOR ISOLATOR *DISK* BERBAHAN DASAR KACA PADA KONDISI KERING DAN BASAH

Ibnu Salam^{*)}, Mochammad Facta, and Juningtyastuti

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)} Email: noesa92@gmail.com

Abstrak

Selama ini pemodelan arus bocor isolator diasumsikan berupa rangkaian yang terdiri dari resistansi linear dan kapasitansi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa arus bocor tidak selamanya berbentuk sinusoidal murni. Oleh sebab itu, diperlukan adanya model arus bocor isolator yang mampu menggambarkan peristiwa tersebut. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan arus bocor bahan isolator kaca pada kondisi kering dan basah. Pemodelan arus bocor bahan isolator dilakukan dengan menyusun rangkaian ekuivalen dari arus bocor isolator yang terdiri dari resistansi dan kapasitansi linier serta resistansi non-linear menggunakan program ATP / EMTP. Selain itu, dilakukan pemodelan matematis dengan pendekatan deret fourier yang digambarkan dan diilustrasikan dengan program MATLAB. Hasil validasi antara arus bocor hasil pemodelan dan pengukuran menunjukkan hasil yang mirip. Hasil penelitian menunjukkan amplitudo gelombang arus bocor hasil pemodelan memiliki nilai yang mirip dengan pengukuran. Persentase THD model memiliki nilai yang hampir sama antara pengujian dan simulasi yaitu kurang dari 1%.

Kata kunci: Isolator Pasang Luar, Arus Bocor, Rangkaian Listrik Ekuivalen, Simulasi Komputer.

Abstract

Insulator leakage current is generally assumed as a circuit model consists of a linear resistance and capacitance. Some studies show that the leakage current is not always purely sinusoidal. Therefore, it is necessary to have an insulator leakage current models that able to simulate events that make insulator leakage current waveform in unsinusoidal. In this research, a leakage current model of glass insulator in wet and dry conditions is about to be observed. Insulators leakage current model was carried out by arranging an equivalent circuit model consist of linear resistance, capacitance and non-linear resistance and they were simulated using ATP / EMTP software package. A mathematical model performed in Fourier series approach were described and simulated by using MATLAB software package. The validation results showed good similarities between measured and simulated leakage current waveforms. The results showed that the amplitudes of leakage current of model were matched to direct measurements. The percentage of THD of models showed good similarities with direct measurements with difference less than 1%.

Keywords: outdoor insulator, leakage current, equivalent circuit, computer simulation

1. Pendahuluan

Kaca telah lama digunakan sebagai bahan isolator pada sistem tenaga listrik di Indonesia. Sebagai bahan isolator, kaca memiliki karakteristik elektrik dan mekanik yang tidak jauh berbeda dengan porselen. Karakteristik elektrik dan mekanik kaca bergantung pada komposisi kimiawi dari kaca, khususnya pada kandungan alkali yang terdapat pada kaca. Adanya larutan alkali dalam komposisi gelas akan menambah sifat higroskopis permukaan isolator sehingga konduktivitas permukaan isolator semakin besar. [2]

Sebagai isolator pasangan luar, kaca memiliki kelemahan yaitu rentan terhadap pengaruh lingkungan seperti kelembaban dan hujan yang dapat mengurangi resistansi permukaan dari isolator. Penurunan resistansi permukaan akan memperbesar nilai arus bocor yang mengalir melalui di permukaan.

Selama ini teori umum mengenai arus bocor pada isolator mengasumsikan isolator berupa model rangkaian yang terdiri dari komponen resistansi linear dan kapasitansi, sehingga arus bocor yang mengalir pada isolator berupa gelombang sinusoidal murni [1][2]. Namun, beberapa penelitian menunjukkan bahwa tidak selamanya arus bocor memiliki bentuk gelombang sinusoidal

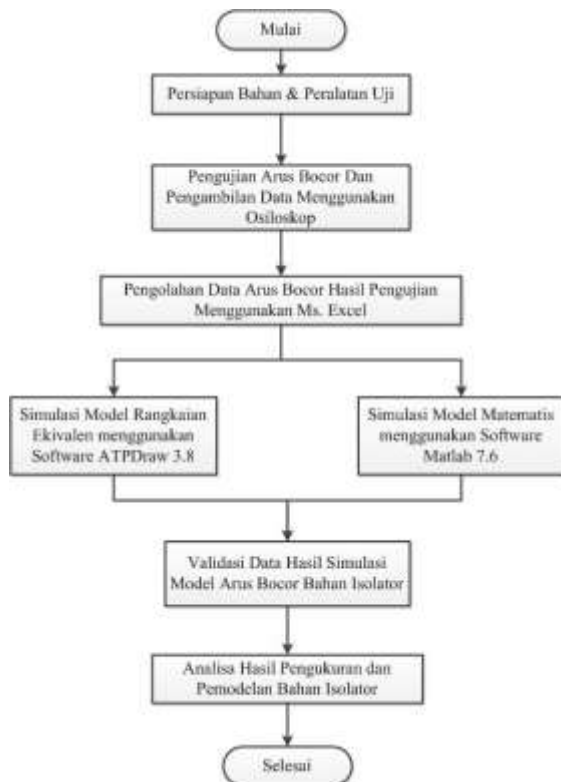
murni[3][4][5][6][7]. Oleh sebab itu, diperlukan adanya model arus bocor isolator yang mampu mengakomodir peristiwa – peristiwa yang mengakibatkan gelombang arus bocor isolator menjadi tidak sinusoidal.

Dalam penelitian ini Penulis melakukan pemodelan gelombang arus bocor bahan isolator kaca untuk mengkaji kinerja bahan isolator kaca terhadap faktor kelembaban, yaitu pada kondisi kering dan basah. Kinerja bahan isolator kaca ditinjau dari karakteristik arus bocor hasil pengukuran, dan karakteristik non-linear bahan isolator yang diperoleh dari hasil pemodelan. Pemodelan arus bocor bahan isolator dilakukan dengan menyusun rangkaian ekuivalen dari arus bocor isolator yang terdiri dari resistansi linier, kapasitansi dan resistansi non-linear menggunakan program ATP / EMTP. Selain itu, dilakukan pemodelan matematis yang diperoleh dengan pendekatan deret fourier yang digambarkan dan diilustrasikan dengan program MATLAB.

2. Metode

2.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut disajikan diagram alir penelitian yang digunakan dalam penelitian ini.



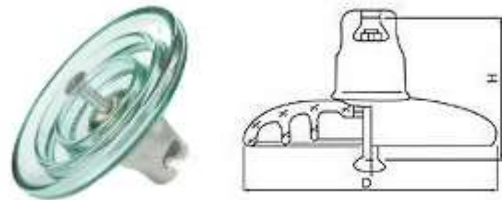
Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

2.2 Pengujian Arus Bocor Bahan Isolator

Spesimen uji yang digunakan adalah bahan isolator kaca. Gambar spesimen uji sampel bahan isolator kaca

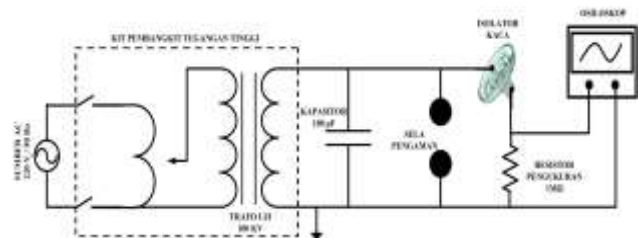
ditunjukkan pada gambar 2. Sedangkan spesimen uji memiliki dimensi sebagai berikut

Spacing (H) mm	:	180
Diameter (D) mm	:	260
Creepage Distance (mm)	:	20



Gambar 2. Sampel Bahan Isolator Kaca

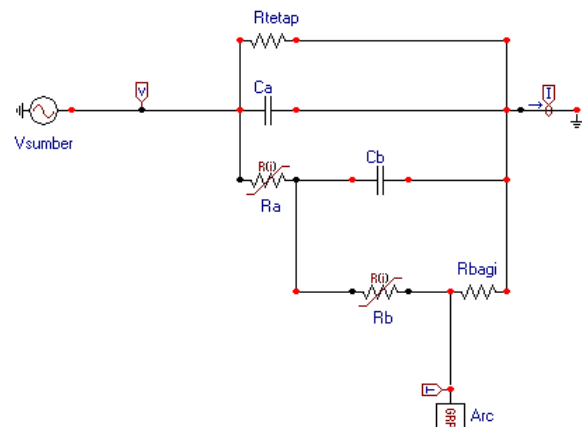
Untuk mendapatkan data-data arus bocor pada masing-masing sampel, maka dilakukan pengukuran arus bocor pada kondisi kering dan basah dengan rangkaian pengujian yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Pengukuran Arus Bocor

2.3 Simulasi Pemodelan Rangkaian Ekuivalen Bahan Isolator Kaca

Pemodelan rangkaian ekuivalen bahan isolator kaca dilakukan dengan bantuan program ATP/EMTP. Bentuk rangkaian listrik yang digunakan sebagai model dari bahan isolator pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Pemodelan rangkaian listrik ekuivalen bahan isolator

Rtetap bernilai 4421 MΩ, sedangkan Ca dan Cb bernilai masing – masing 0,1 pF dan 0,5 pF. Karakteristik resistansi non-linear yang digunakan pada pemodelan disesuaikan dengan nilai gelombang arus bocor hasil pengujian.

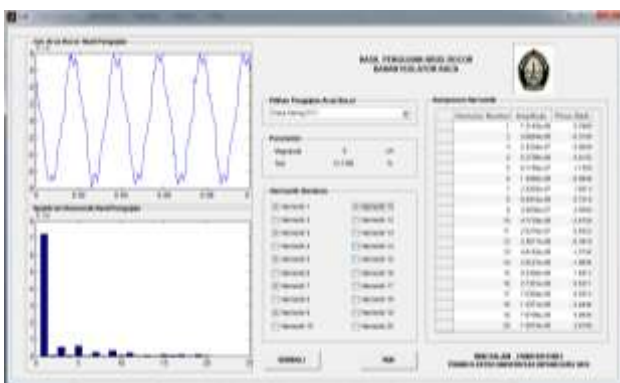
2.4 Simulasi Pemodelan Matematis Bahan Isolator Kaca

Pemodelan matematis bahan isolator dilakukan dengan bantuan program Matlab. Data arus bocor yang diperoleh disimpan menjadi file bertipe teks ASCII dan disimpan dengan nama yang unik untuk masing – masing pengujian dalam folder yang sama dengan program simulasi.

Tampilan cover awal program dapat dilihat pada Gambar 5, sedangkan tampilan utama program dapat dilihat pada Gambar 6.



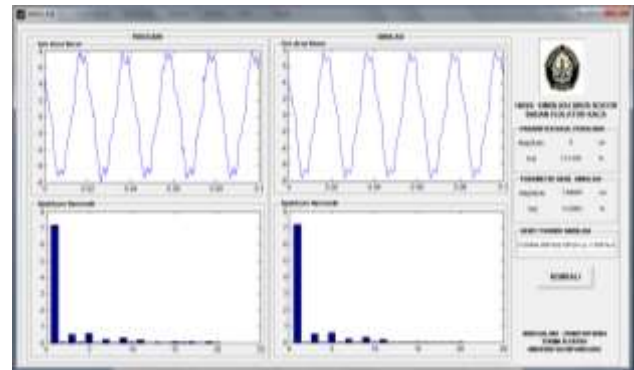
Gambar 5. Tampilan Pembuka Program Simulasi Matlab



Gambar 6. Tampilan Utama Program Simulasi Matlab

Pemodelan matematis bahan isolator dapat dilakukan dengan memilih salah satu jenis pengujian pada tampilan utama program dan memilih komponen harmonik dominan yang akan diolah dalam persamaan deret fourier

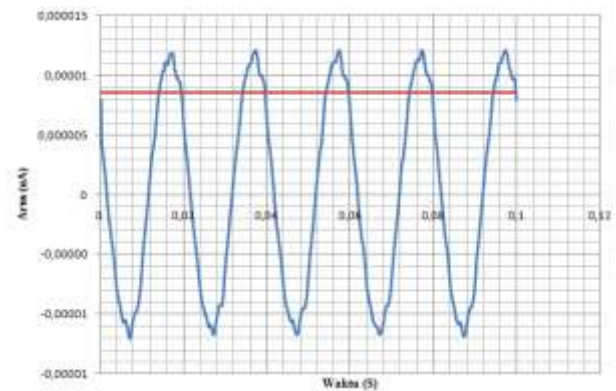
bahan isolator. Tampilan simulasi pemodelan deret fourier ditunjukkan pada gambar 7.



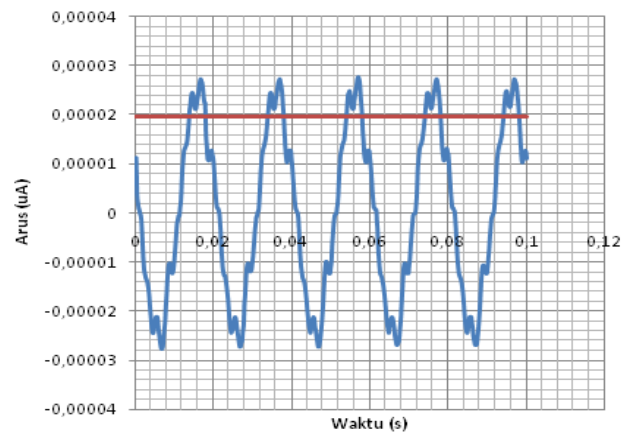
Gambar 7. Tampilan Simulasi Pemodelan

3. Hasil dan Analisa

3.1 Hasil Pengukuran Arus Bocor Bahan Isolator Kaca



(a) Pengujian Kondisi Kering



(b) Pengujian Kondisi Basah

Gambar 8. Gelombang Arus Bocor Bahan Isolator Kaca (a) Pengujian Kondisi Kering dan (b) Pengujian Kondisi Basah pada Tegangan 10 KV

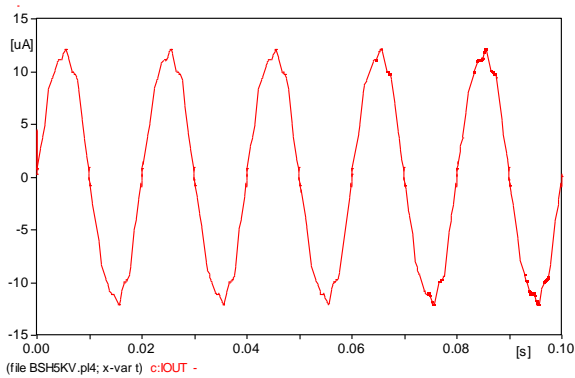
Tabel 1. Data Pengukuran Arus Bocor

Tegangan (KV)	Nilai Arus Bocor Pengujian (uA)	
	Kondisi Kering	Kondisi Basah
5	5.66	16.4
10	8.56	19.5
15	12.8	25.17

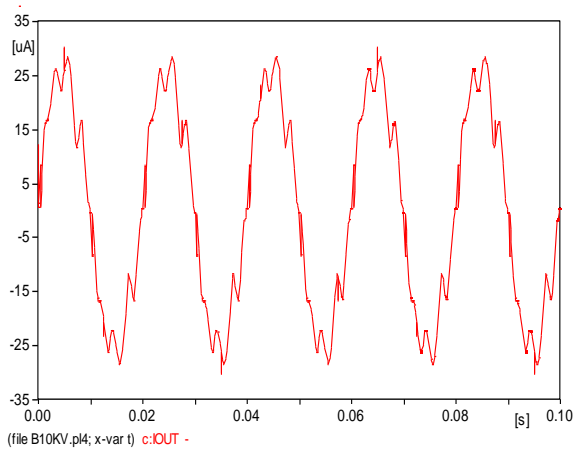
Nilai arus bocor pada kondisi kering mengalami peningkatan rata-rata sebesar 3.57 uA untuk setiap kenaikan nilai tegangan yang diterapkan pada bahan isolator. Sedangkan nilai arus bocor pada kondisi basah mengalami peningkatan rata-rata sebesar 4,39 uA. Hal ini disebabkan ketika nilai tegangan yang diterapkan pada bahan isolator meningkat, pelepasan muatan yang terjadi pada permukaan isolator akan semakin besar.

3.2 Hasil Simulasi Pemodelan Rangkaian Listrik Ekvivalen Bahan Isolator Kaca

Hasil pemodelan rangkaian ekvivalen arus bocor bahan isolator kaca pada kondisi kering dengan tegangan 10 KV adalah sebagai berikut :



(a) Pengujian Kondisi Kering



(b) Pengujian Kondisi Basah

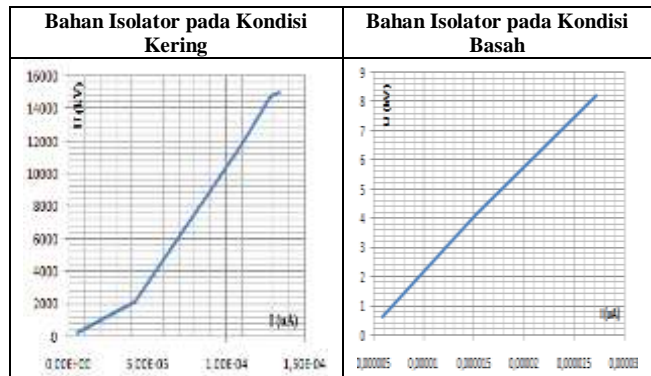
Gambar 9. Hasil Simulasi Pemodelan Rangkaian Ekvivalen Arus Bocor Bahan Isolator Kaca (a) Pengujian Kondisi Kering dan (b) Pengujian Kondisi Basah pada Tegangan 10 KV

Tabel 2. Validasi Hasil Pemodelan Arus Bocor

Parameter	Hasil Pengukuran	Hasil Simulasi
Model Isolator pada Kondisi Kering (10 KV)		
- Amplitudo	12.1 uA	12.1 uA
- Harmonik Dominan	11, 5, 9, 7, 3	11, 5, 9, 7, 3
- THD	15.873 %	15.899 %
Model Isolator pada Kondisi Basah (10 KV)		
- Amplitudo	27.6 uA	28.4 uA
- Harmonik Dominan	7, 5, 9, 3	7, 5, 9, 3
- THD	14.064 %	14.531 %

Hasil perbandingan parameter validasi pemodelan menunjukkan hasil yang baik. Dengan demikian pemodelan yang dibuat dapat mensimulasikan gelombang arus bocor bahan isolator kaca pada kondisi kering dan basah dengan tepat. Karakteristik tahanan permukaan bahan isolator kaca pada kondisi kering dan basah dapat diketahui berdasarkan karakteristik resistansi non-linier yang digunakan pada pemodelan. Karakteristik non-linear yang digunakan pada pemodelan bahan isolator kaca pada Tegangan pengujian 10 KV ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik V-I Tahanan Non-Linear Pemodelan Bahan Isolator Kaca pada Tegangan Pengujian 10KV



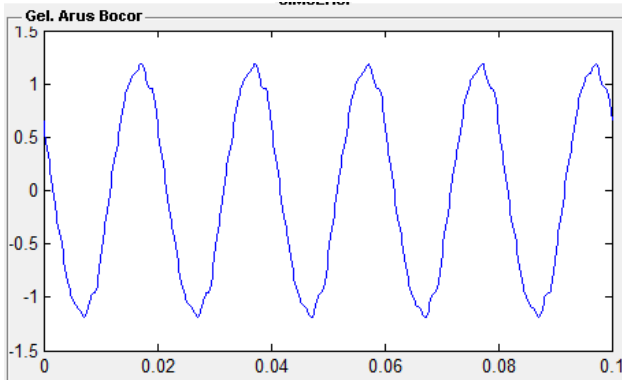
3.4 Hasil Simulasi Pemodelan Matematis Bahan Isolator Kaca

Persamaan matematis yang digunakan pada pemodelan arus bocor bahan isolator kaca pada tegangan pengujian 10 KV ditunjukkan pada Tabel 4.

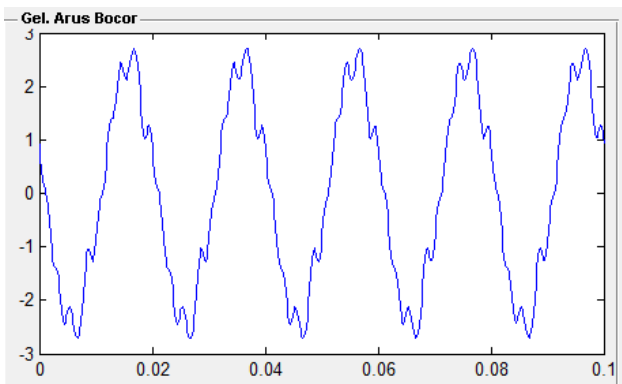
Tabel 4. Persamaan Matematis Deret Fourier Gelombang

Bahan Isolator pada Kondisi Kering	Bahan Isolator pada Kondisi Basah
Tegangan Uji 10 KV	
$Y = 1.0026e-005 \sin(100 \pi x) + 1.7465e-007 \sin(300 \pi x) + 1.4497e-007 \sin(500 \pi x) + 7.4849e-008 \sin(700 \pi x) + 2.0877e-007 \sin(900 \pi x) + 1.7721e-007 \sin(1100 \pi x) + 6.1698e006 \cos(100 \pi x) + 2.6731e-007 \cos(300 \pi x) + 6.916e-008 \cos(500 \pi x) + 2.3686e-007 \cos(700 \pi x) + 9.1946e-008 \cos(900 \pi x) + 1.421e-007 \cos(1100 \pi x)$	$Y = 2.3271e-005 \sin(100 \pi x) + 1.0815e-006 \sin(300 \pi x) + 1.6439e-006 \sin(500 \pi x) + 5.0353e-007 \sin(700 \pi x) + 1.1879e-006 \sin(900 \pi x) + 1.0625e-006 \sin(1100 \pi x) + 7.0747e-006 \cos(100 \pi x) + 3.9394e-008 \cos(300 \pi x) + 5.1935e-007 \cos(500 \pi x) + 1.9371e-006 \cos(700 \pi x) + 8.4229e-007 \cos(900 \pi x) + 4.4759e-007 \cos(1100 \pi x)$

Hasil pemodelan matematis bahan isolator kaca pada kondisi kering dan basah dengan tegangan pengujian 10KV adalah sebagai berikut :



Gambar 10. Hasil Simulasi Pemodelan Arus Bocor Bahan Isolator Kaca Kondisi Kering pada Tegangan Pengujian 10 KV



Gambar 11. Hasil Simulasi Pemodelan Arus Bocor Bahan Isolator Kaca Kondisi Basah pada Tegangan Pengujian 10 KV

Tabel 5. Validasi Hasil Pemodelan Arus Bocor

Parameter	Hasil Pengukuran	Hasil Simulasi
Model Isolator pada Kondisi Kering (10 KV)		
- Amplitudo	12,1 uA	11,88 uA
- Harmonik Dominan	3, 7, 9, 11, 5	3, 7, 9, 11, 5
- THD	4,7 %	4,5 %
Model Isolator pada Kondisi Basah (10 KV)		
- Amplitudo	27,6 uA	27,02 uA
- Harmonik Dominan	7, 5, 9, 11, 3	7, 5, 9, 11, 3
- THD	14,09 %	13,95 %

Hasil perbandingan parameter validasi pemodelan menunjukkan hasil yang baik. Dengan demikian pemodelan yang dibuat dapat mensimulasikan gelombang arus bocor bahan isolator kaca pada kondisi kering dan basah dengan tepat.

Data pada tabel 5. merepresentasikan karakteristik komponen harmonik yang terdapat pada gelombang arus bocor. Komponen harmonik tersebut menyebabkan

bentuk gelombang arus bocor bahan isolator kaca pada kondisi kering berupa gelombang sinusoidal yang terdistorsi.

Gelombang arus bocor bahan isolator kaca pada kondisi kering memiliki komponen harmonisa urutan ganjil termasuk harmonisa dengan frekuensi 150 Hz dan 250 Hz. Adanya komponen harmonisa identik dengan terjadinya *discharge* pada permukaan bahan isolator. Aktifitas *discharge* pada permukaan isolator dapat meningkatkan pemanasan pada permukaan isolator. Pemanasan pada permukaan isolator akan mempercepat terjadinya penuaan isolator. Komponen harmonisa dengan frekuensi 150 Hz dan 250 Hz dari gelombang arus bocor bahan isolator kaca pada kondisi kering maupun basah memiliki perbandingan nilai rata-rata sebesar 7% dan 2% dari komponen fundamental dari gelombang arus bocor isolator. Hal ini menunjukkan bahwa aktifitas *discharge* pada permukaan isolator tergolong rendah.

Tabel 6. Nilai Spektrum Amplitudo Harmonisa Pengujian Isolator Kaca

Frekuensi Harmonisa	Pengujian Kering	Pengujian Basah
Tegangan Uji 5 KV		
150	5.3204e-07	1.3362e-06
250	6.1169e-07	1.7809e-06
Tegangan Uji 10 KV		
150	3.1930e-07	1.0822e-06
250	1.6063e-07	1.7240e-06
Tegangan Uji 15 KV		
150	4.3936e-07	1.1615e-06
250	4.9743e-07	1.1358e-06

4. Penutup

Hasil validasi pemodelan rangkaian listrik ekuivalen dan pemodelan matematis menunjukkan hasil yang hampir sama dengan gelombang hasil pengukuran. Amplitudo gelombang arus bocor hasil pemodelan memiliki nilai yang mirip dengan pengukuran. Persentase THD gelombang arus bocor hasil pemodelan memiliki nilai yang hampir sama dengan perbedaan kurang dari 1%. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan karakteristik arus bocor bahan isolator kaca yang dilakukan telah benar. Nilai arus bocor pada isolator kaca dipengaruhi oleh kelembaban permukaan isolator. Permukaan isolator yang lembab akan menurunkan nilai tahanan permukaan isolator sehingga arus bocor yang mengalir di permukaan isolator akan semakin besar. Nilai arus bocor bahan isolator kaca cenderung meningkat untuk setiap penambahan variasi tegangan yang diterapkan pada isolator. Kenaikan nilai arus bocor disebabkan oleh meningkatnya jumlah pelepasan muatan yang terjadi pada permukaan isolator.

Referensi

- [1]. Arismunandar, A., 1978, Teknik Tegangan Tinggi, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [2]. Tobing, Bonggas L, 2003, Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- [3]. Siderakis, K, D Agoris, P Eleftheria, and E Thalassinakis, "Investigation of Leakage Current on High Voltage Insulators-Field Measurements.", WSEAS Transaction on Circuits and System , 2004: 1188-1191.
- [4]. Suda, T., "Frequency Characteristics of Leakage Current Waveforms of a String of Suspension Insulators", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 20, No. 1, 2005, pp 481-487.
- [5]. Suwarno, Aditya Pradana, 2010, *Properties of Leakage Current on 20 kV Ceramic Insulators and Computer Simulation Based on Electrical Equivalent Circuit*, International Conference on Electrical and Electronics Engineering, London UK, 30 Juni - 2 Juli 2010.
- [6]. Suwarno, Fari Pratemosiwi, 2009, *Electrical Equivalent Circuit of Ceramic Insulators with RTV Silicone Rubber Coating and Computer Simulation of Leakage Currents*, WSEAS Trans. on Circuits and Systems, Vol 8, No. 4, 2009, pp. 360-369
- [7]. Amin, Muhammad, Salman Amin, dan Muhammad Ali, 2007, *Monitoring Of Leakage Current For Composite Insulator And Electrical Devices I*, UET Taxilla, Pakistan.
- [8]. Elkalashy, Nagy I, Matti Lehtonen, Hatem A Darwish, and Mohamed A Izzularab, 2007, *Modelling and Experimental Verification of High Impedance of Arcing Faults in Medium Voltage Networks*, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation.
- [9]. Vosloo, W.L, 'A Comparison of the Performance of High-Voltage Insulator Materials in a Severely Polluted Coastal Environment', PhD Dissertation, Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Stellenbosch, South Africa, March 2002.
- [10]. Waluyo, Parouli Marshala Pakpahan, and Suwarno, 2006, *Study on The Electrical Equivalent Circuit Models of Polluted Outdoor Insulators*, Proc. The 8th Intl. Conf. on Prop. and Appl. of Diel. Mats., Bali 26-30 June, 2006, pp. 546-549.