

PEMODELAN ARUS BOCOR ISOLATOR *CABLE SPACER* BERBAHAN POLIMER PADA KONDISI KERING DAN BASAH

Setiyo Nugroho^{*)}, Mochammad Facta, and Hermawan.

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

^{*)} Email: *setiyo.nugroho3@gmail.com*

Abstrak

Cable spacer merupakan isolator pasang luar berbahan polimer yang masih jarang digunakan di Indonesia. Isolator pasang luar rentan terhadap pengaruh lingkungan seperti kelembaban sehingga dapat mengurangi unjuk kerja dari isolator seperti penurunan tahanan permukaan yang mengakibatkan peningkatan arus bocor permukaan. Hal inilah yang mendasari dilakukannya penelitian mengenai pengaruh kelembaban terhadap karakteristik arus bocor dari isolator cable spacer. Untuk memahami karakteristik arus bocor pada cable spacer, dalam penelitian ini dilakukan pengukuran dan pemodelan rangkaian ekuivalen dengan menggunakan perangkat lunak ATP/EMTP. Selain itu juga dilakukan pemodelan matematis menggunakan perangkat lunak MATLAB. Untuk validasi, gelombang arus bocor hasil simulasi dibandingkan dengan hasil pengukuran. Variabel yang dibandingkan adalah amplitudo, spektrum harmonik, urutan harmonik dominan dan nilai THD gelombang arus bocor. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada kondisi basah isolator cable spacer menghasilkan nilai arus bocor lebih besar daripada kondisi kering dengan kenaikan 34%. Arus bocor meningkat seiring dengan kenaikan tegangan. Perbandingan gelombang hasil pemodelan dan pengukuran menunjukkan hasil yang hampir sama. Untuk simulasi ATP selisih nilai rata-rata amplitudo sebesar 14% dan THD sebesar 0,33%. Sedangkan untuk simulasi MATLAB selisih nilai rata-rata amplitudo sebesar 47% dan THD sebesar 15%.

Kata Kunci : isolator pasang luar, arus bocor, isolator cable spacer .

Abstract

Cable spacer is a polymer outdoor insulator that rarely used in Indonesia. Outdoor insulators may severe environmental influences such as humidity that reduce the performance of insulator, decrease of surface resistance that cause an increase in surface leakage current. Therefore the influence of humidity on the leakage current characteristic of cable spacer needs to be investigated. To understand the characteristics of the leakage current, we tested and modeled the equivalent circuit using ATP / EMTP software and mathematical modeling using MATLAB software. For validation, we compared the leakage current waveform resulted in the simulation the test results. Variables that compared are the amplitude, harmonic spectrum, the dominant harmonic sequence and wave leakage current THD value. The test results showed that in wet conditions, cable spacer insulating material generated leakage current value greater than the dry conditions with a 34% increasing. Leakage current increased along with voltage increasing. Comparison between modeled results wave and the test results showed that the value was almost the same. For ATP simulation the difference average value of the amplitude was 14% and THD was 0.33%. While, for MATLAB simulation the difference between the average value of the amplitude was 47% and THD was 15%.

Keywords: outdoor insulators, leakage current, cable spacer insulator

1. Pendahuluan

Isolator polimer bukan merupakan barang baru dalam dunia kelistrikan namun masih sangat jarang digunakan di Indonesia, bila dibandingkan dengan isolator keramik dan isolator gelas. Isolator polimer memiliki sifat hidrofobisitas tinggi, ringan, serta biaya pemeliharaan yang rendah. Sebagai isolator pasangan luar, isolator

polimer memiliki kelemahan yaitu rentan terhadap pengaruh lingkungan seperti kelembaban dan kontaminan / polutan. Kedua faktor tersebut jika dikombinasikan dengan tekanan elektrik yang bekerja pada isolator dapat menyebabkan timbulnya arus bocor pada permukaan isolator.

Dengan kemajuan teknologi dan banyaknya penelitian yang dilakukan terhadap bahan isolator polimer maka

tidak heran sekarang banyak inovasi yang dibuat untuk menghasilkan isolator pasang luar dari bahan dasar polimer. Salah satu produk baru isolator berbahan polimer tersebut yaitu *Cable Spacer*. *Cable Spacer* merupakan isolator pasang luar yang digunakan untuk pengisolasi antar fasa sekaligus sebagai penopang kabel konduktor. Di Indonesia keberadaan alat ini masih sangat jarang dan Saat ini belum dilakukan penelitian yang mengkaji tentang pengaruh kelembapan terhadap kinerja isolator *Cable Spacer* di iklim tropis Indonesia.

Berdasarkan hal tersebut dalam tugas akhir ini akan dilakukan pemodelan gelombang arus bocor isolator *Cable Spacer* berbahan polimer. Pemodelan tersebut dilakukan untuk mengkaji pengaruh kelembapan terhadap kinerja isolator *Cable Spacer* di iklim tropis Indonesia. Kinerja bahan isolator polimer ditinjau dari karakteristik arus bocor hasil pengukuran, dan karakteristik non-linear bahan isolator yang diperoleh dari hasil pemodelan. Pengukuran arus bocor dalam tugas akhir ini dilakukan pada kondisi kering dan basah. Pemodelan bahan isolator dilakukan dengan menggunakan software ATP/EMTP dan MATLAB. Adapun beberapa tujuan Tugas Akhir ini antara lain :

1. Melakukan pengukuran untuk memperoleh karakteristik arus bocor isolator *cable spacer* pada kondisi kering dan basah.
2. Melakukan pemodelan rangkaian ekivalen dan pemodelan matematis isolator *cable spacer*.
3. Menganalisis karakteristik arus bocor dan karakteristik V-I tahanan non-linear permukaan isolator *cable spacer* pada kondisi kering dan basah.

2. Metode

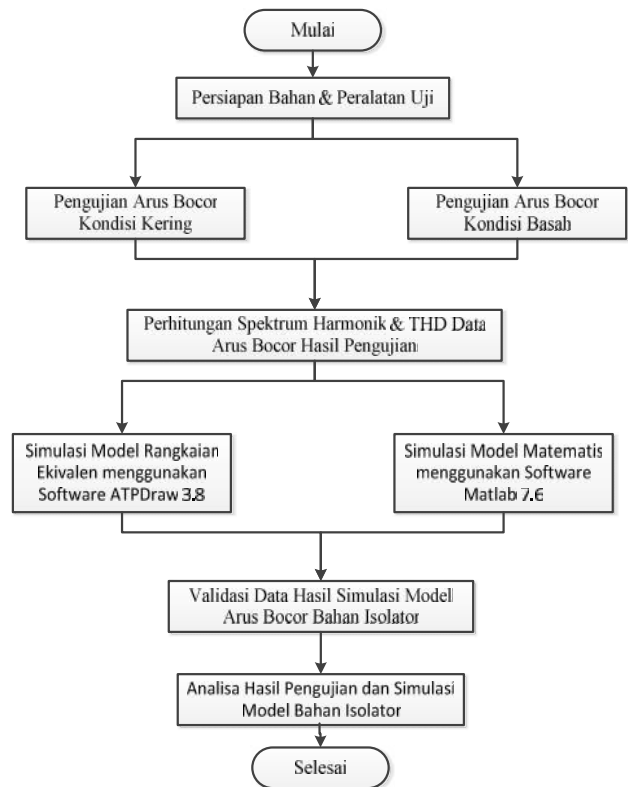
2.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut disajikan diagram alir penelitian untuk memperoleh karakteristik arus bocor sampai pemodelan isolator dan analisa hasil simulasi.

2.2 Pengujian Arus Bocor Bahan Isolator

Spesimen yang diujikan dalam penelitian ini adalah isolator *Cable Spacer* 20 kV berbahan dasar polimer. Pemilihan isolator uji ini didasari kenyataan bahwa isolator jenis ini merupakan jenis isolator baru dan masih belum banyak digunakan dan diteliti di daerah tropis, khususnya di Indonesia. ditunjukkan pada gambar 2.

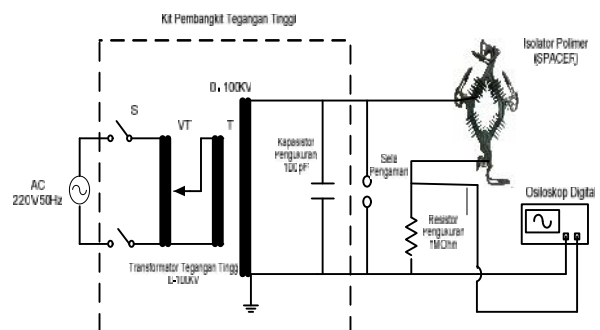
Untuk mendapatkan data-data arus bocor, maka dilakukan pengukuran arus bocor pada kondisi kering dan basah dengan rangkaian pengujian yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 1 Diagram alir penelitian



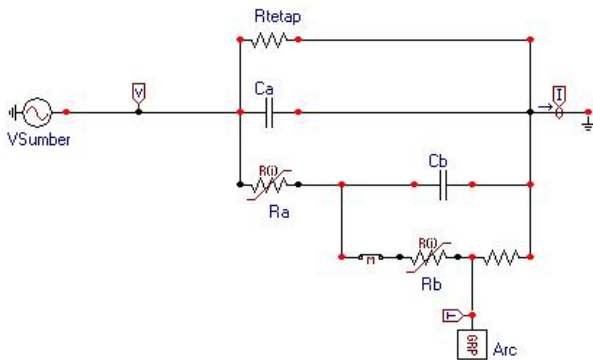
Gambar 2. Sampel Isolator Cable Spacer 20 kV



Gambar 3. Rangkaian Pengukuran Arus Bocor

2.3 Simulasi Pemodelan Rangkaian Ekuivalen Bahan Isolator Cable Spacer 20 kV

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



Gambar 4. Pemodelan rangkaian listrik ekuivalen bahan isolator

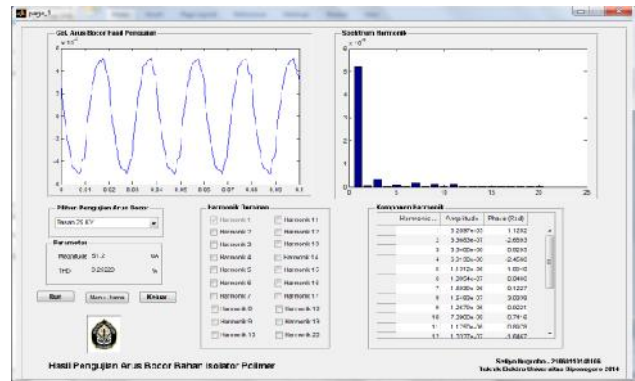
R tetap bernilai 4421 M , sedangkan Ca dan Cb bernilai masing – masing 0,1 pF dan 0,5 pF. Karakteristik resistansi non-linear yang digunakan pada pemodelan disesuaikan dengan nilai gelombang arus bocor hasil pengujian.

2.4 Simulasi Pemodelan Matematis Bahan Isolator Cable Spacer 20 kV

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 pula pada Gambar 6.

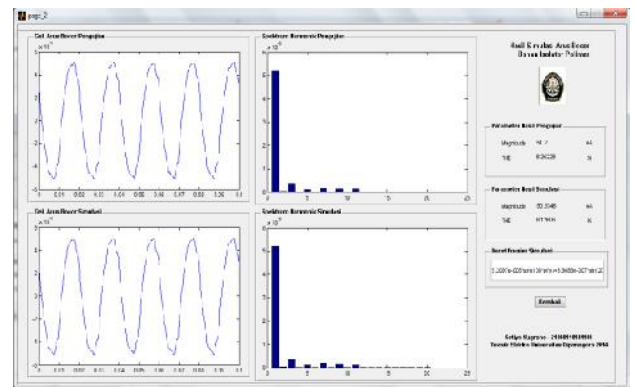


Gambar 5. Tampilan Pembuka Program Simulasi Matlab



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.



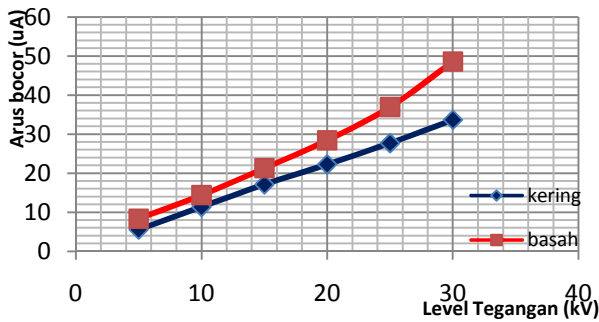
Gambar 7. Tampilan Simulasi Pemodelan

3. Hasil dan Analisa

3.1 Hasil Pengukuran Arus Bocor Isolator Cable Spacer 20 kV

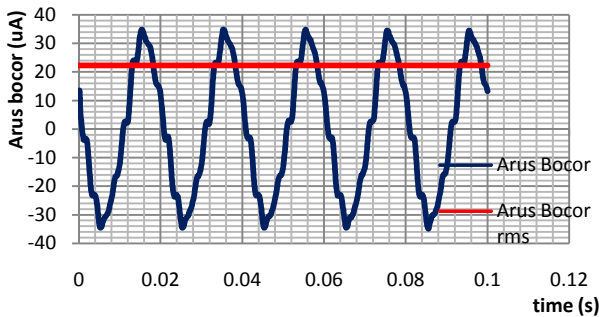
Tabel 1. Data Pengukuran Arus Bocor Kondisi Kering & basah

V (kV)	Nilai Arus Bocor rms (uA)		Peningkatan Arus Bocor (%)
	Kering	Basah	
5 kV	5.58	8.34	49%
10 kV	11.41	14.38	26%
15 kV	17.14	21.27	24%
20 kV	22.27	28.44	28%
25 kV	27.72	36.97	33%
30 kV	33.68	48.6	44%
Rata – Rata kenaikan arus bocor			34%

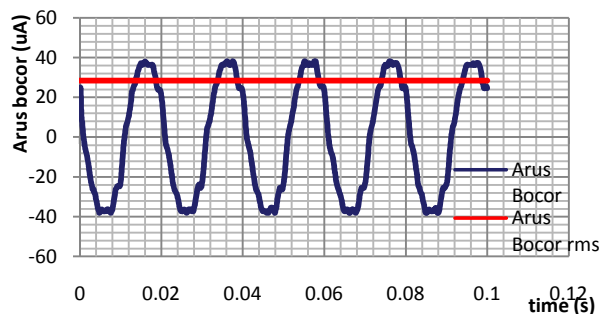


Gambar 8. Grafik hubung V-I pengukuran

Tabel 1 menunjukkan nilai arus bocor untuk setiap kenaikan level tegangan uji. Nilai arus bocor isolator pada pengujian basah lebih besar dari pada nilai arus bocor pada pengujian kering. Persentase kenaikan arus bocor rata-rata yang terjadi pada pengujian basah adalah sebesar 34%. Dari gambar 8 di atas dapat diamati, bahwa nilai arus bocor pada kedua kondisi pengujian semakin besar. Arus bocor hasil pengujian pada kondisi kering mengalami peningkatan rata-rata sebesar 5.62 uA, sedangkan untuk arus bocor hasil pengujian pada kondisi basah mengalami peningkatan rata-rata sebesar 8.052 uA. Berikut disajikan bentuk gelombang pada tegangan uji 20kV baik dalam kondisi kering maupun dalam kondisi basah.



Gambar 9. Gelombang arus bocor Pengujian kering (20 kV)



Gambar 10. Gelombang arus bocor Pengujian Basah (20 kV)

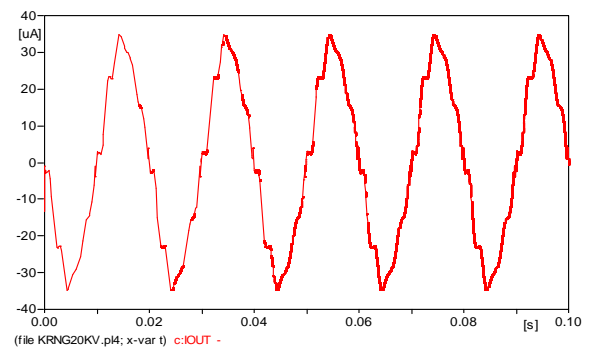
Dari dua sampel gambar diatas dapat di amati bahwa arus bocor permukaan berbentuk gelombang sinusoidal yang terdistorsi (tidak sinus murni) dan simetris (bentuk dan

ukuran pada siklus positive dan negative sama). Distorsi yang terjadi pada gelombang arus bocor disebabkan sifat *non linier* dari permukaan isolator. Hasil pengujian juga menunjukkan bentuk gelombang arus bocor pada kondisi basah berbentuk sinusoidal dengan distorsi yang lebih sedikit apabila dibandingkan dengan hasil pengujian pada kondisi kering.

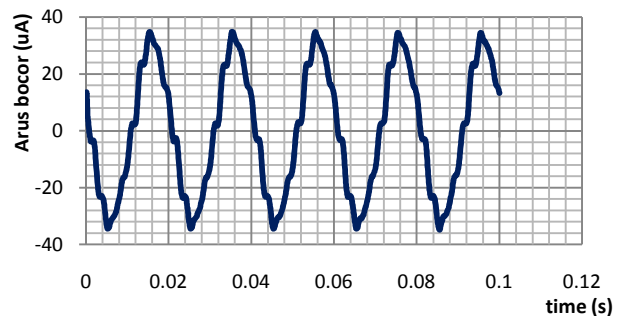
3.2 Hasil Simulasi Pemodelan Rangkaian Ekuivalen Bahan Isolator Cable Spacer

3.2.1. Kondisi Kering

Hasil pemodelan rangkaian ekuivalen arus bocor bahan isolator polimer pada kondisi kering dengan tegangan 20 kV adalah sebagai berikut :

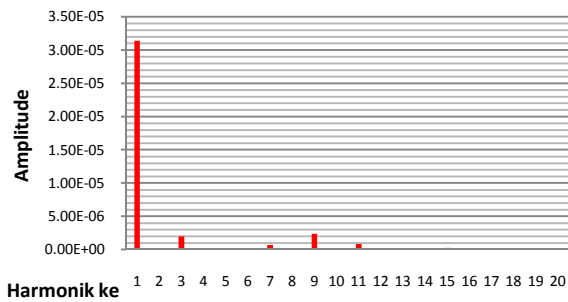


Gambar 11. Gelombang hasil Pemodelan rangkaian ekuivalen pada tegangan 20 kV dalam kondisi kering

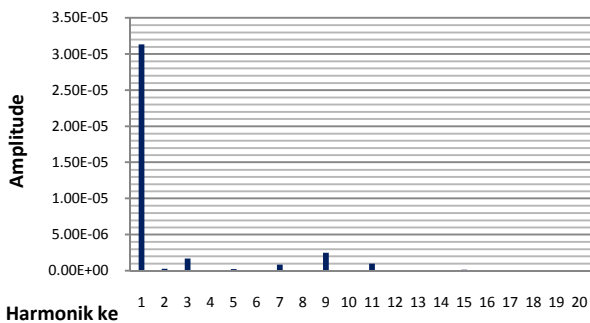


Gambar 12. Gelombang hasil Pengujian pada tegangan 20 kV pada kondisi kering

Berikut disajikan spektrum harmonik dari hasil simulasi rangkaian ekuivalen dan dari hasil pengujian pada tegangan uji 20 kV



Gambar 13. Spektrum harmonik hasil pemodelan rangkaian ekivalen teg. 20 kV pada kondisi kering



Gambar 14. Spektrum harmonik hasil pengujian pada teg. 20 kV pada kondisi kering

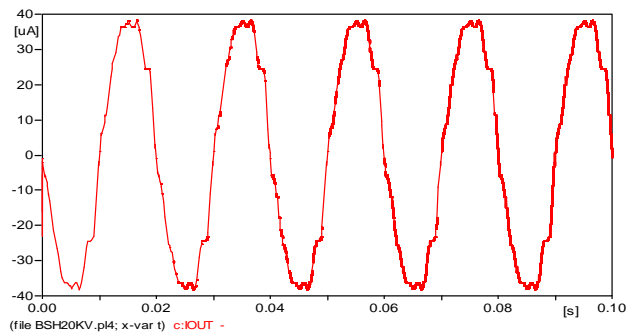
Tabel 2. Perbandingan parameter validasi hasil pengukuran dan simulasi kondisi kering pada teg. 20 kV

Parameter	Hasil Pengukuran	Hasil Simulasi
Tegangan Uji 20 kV		
- Amplitudo	34.8 uA	34.77 uA
- Harmonik Dominan	3,7,9,11	3,7,9,11
- THD	10.487 %	10.503 %

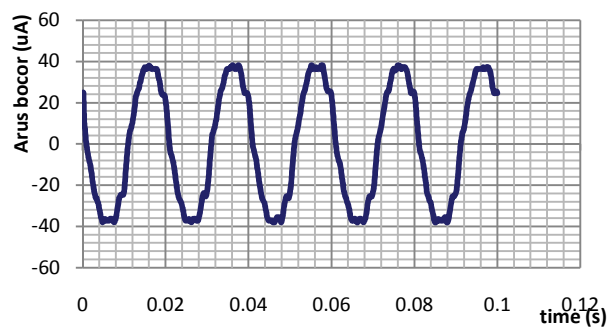
Tabel 2 menunjukkan perbandingan parameter gelombang hasil pengukuran dan hasil simulasi arus bocor yang digunakan untuk validasi pemodelan rangkaian ekivalen isolator. Hasil perbandingan parameter kedua gelombang menunjukkan nilai yang hampir sama untuk parameter amplitudo, urutan harmonik dominan dan THD begitu juga dengan Perbandingan bentuk gelombang arus bocor dan spektrum harmonik hasil pengujian dan hasil simulasi kedua gelombang juga menunjukkan bentuk yang sama seperti yang ditunjukkan pada gambar 11 dan 12 untuk bentuk gelombang arus bocor serta gambar 13 dan 14 untuk spektrum harmonik. Oleh sebab itu, dapat disimpulkan bahwa rangkaian ekivalen yang dibuat dapat mensimulasikan gelombang arus bocor bahan isolator polimer dalam pengujian kondisi kering.

3.2.2. Kondisi Basah

Hasil pemodelan rangkaian ekivalen arus bocor bahan isolator polimer pada kondisi basah dengan tegangan 20 kV adalah sebagai berikut :

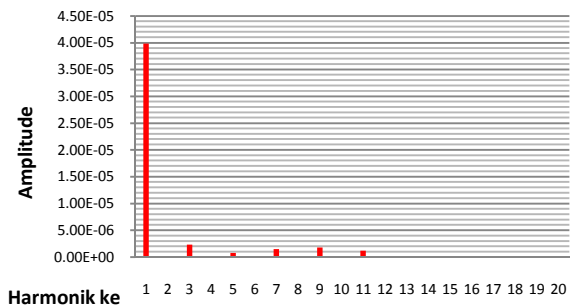


Gambar 15. Gelombang hasil Pemodelan rangkaian ekivalen pada tegangan 20 kV dalam kondisi Basah

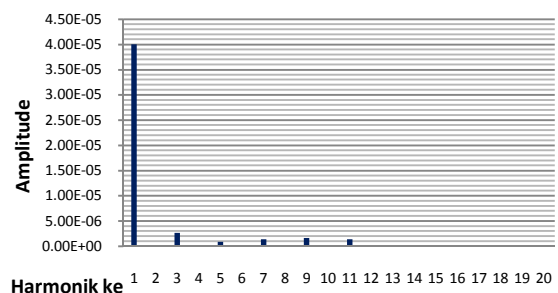


Gambar 16. Gelombang hasil Pengujian pada tegangan 20 kV pada kondisi Basah

Berikut disajikan spektrum harmonik dari hasil simulasi rangkaian ekivalen dan dari hasil pengujian pada teg. 20 kV



Gambar 17. Spektrum harmonik hasil pemodelan rangkaian ekivalen teg. 20 kV pada kondisi Basah



Gambar 18. Spektrum harmonik hasil pengujian pada teg. 20 kV pada kondisi Basah

Tabel 3. Perbandingan parameter validasi hasil pengukuran dan simulasi kondisi Basah pada teg. 20 kV

Parameter	Hasil Pengukuran	Hasil Simulasi
Tegangan Uji 20 kV		
- Amplitudo	38 uA	38.09 uA
- Harmonik Dominan	3,5,7,9,11	3,5,7,9,11
- THD	9.354 %	9.028 %

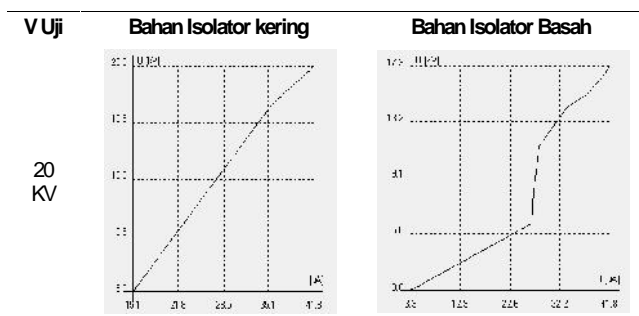
Tabel 3 menunjukkan perbandingan parameter gelombang hasil pengukuran dan hasil simulasi arus bocor yang digunakan untuk validasi pemodelan rangkaian ekuivalen isolator. Hasil perbandingan parameter kedua gelombang menunjukkan nilai yang hampir sama untuk parameter amplitudo, urutan harmonik dominan dan THD begitu juga dengan Perbandingan bentuk gelombang arus bocor dan spektrum harmonik hasil pengujian dan hasil simulasi kedua gelombang juga menunjukkan bentuk yang sama seperti yang ditunjukkan pada gambar 15 dan 16 untuk bentuk gelombang arus bocor serta gambar 17 dan 18 untuk spektrum harmonik. Oleh sebab itu, dapat disimpulkan bahwa rangkaian ekuivalen yang dibuat dapat mensimulasikan gelombang arus bocor bahan isolator polimer dalam pengujian kondisi basah.

3.2.3. Perbandingan Karakteristik V-I tahanan non Linier pada Kondisi Kering & Basah

Karakteristik tahanan permukaan bahan isolator *Cable Spacer* 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 *Cable Spacer* pada kondisi kering dan basah ditunjukkan pada tabel 4.

Dari grafi karakteristik V-I tahanan non linier di atas dapat diubah menjadi nilai resistansi permukaan isolator polimer pada tegangan 20 kV seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini

Tabel 4. Kurva V-I Resistansi Non-Linear Bahan Isolator Polimer Kondisi Kering & Basah



Tabel 5. Nilai Resistansi Non-Linear Bahan Isolator Cable Spacer 20 KV pada Kondisi Kering & Basah

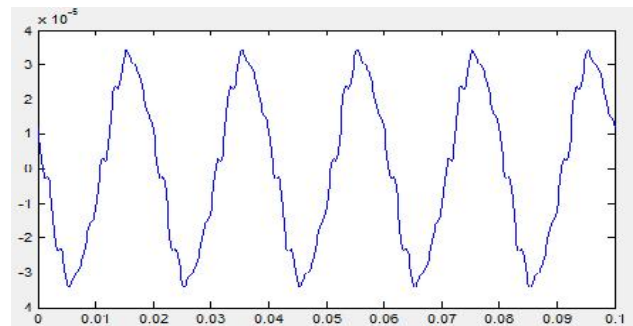
Tegangan Uji	R Ke-	Kondisi Kering	Kondisi Basah
		R (M)	R (M)
20 KV	1 (6 kV)	397.351	225.9363
	2 (12 kV)	467.5855	4114101
	3 (16 kV)	489.1273	408.8328
	4 (19 kV)	477.2321	415.412

Apabila data nilai karakteristik V-I resistansi non linear bahan isolator yang ditunjukkan pada tabel 5 dibandingkan, maka resistansi permukaan isolator polimer dalam pengujian pada kondisi basah mengalami penurunan.

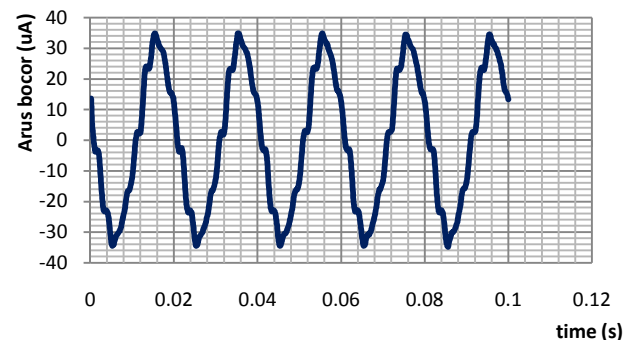
3.3 Hasil Simulasi Pemodelan Matematis Bahan Isolator Cable Spacer

3.3.1 Kondisi Kering

Hasil pemodelan matematis bahan isolator polimer pada kondisi kering dengan tegangan 20 kV adalah sebagai berikut :

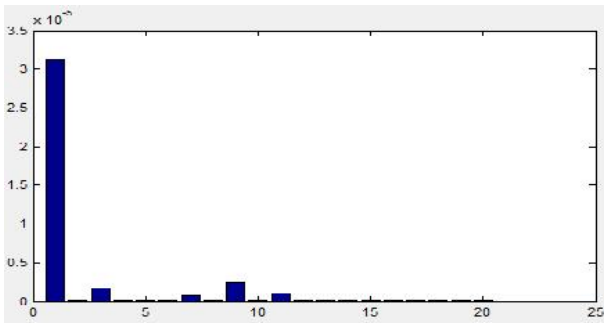


Gambar 19. Gelombang hasil Pemodelan Matematis pada tegangan 20 kV dalam kondisi Kering

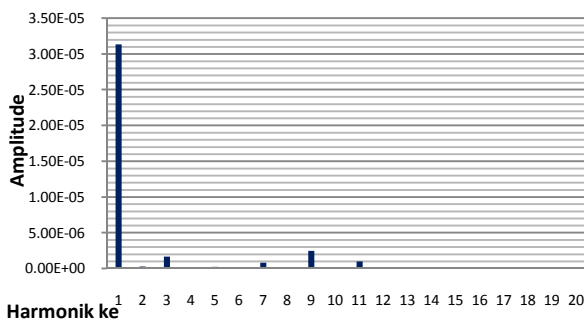


Gambar 20. Gelombang hasil Pengujian pada tegangan 20 kV dalam kondisi Kering

Berikut disajikan spektrum harmonik dari hasil simulasi pemodelan matematis dan dari hasil pengujian pada teg. 20 kV



Gambar 21. Spektrum harmonik hasil pemodelan Matematis teg. 20 kV pada kondisi Kering



Gambar 22. Spektrum harmonik hasil pengujian pada teg. 20 kV pada kondisi Kering

Tabel 6. Perbandingan parameter validasi hasil pengukuran dan simulasi pemodelan matematis kondisi kering pada teg. 20 kV

Parameter	Hasil Pengukuran	Hasil Simulasi
Tegangan Uji (20 KV)		
- Amplitudo	34,8 uA	34,24 uA
- Harmonik Dominan	3,7,9,11	3,7,9,11
- THD	10,45 %	10,33 %

Hasil perbandingan parameter validasi pemodelan menunjukkan hasil yang baik, diman bentuk gelombang arus bocor pada gambar 19 dan 20 memiliki bentuk yang sama, begitu juga dengan spektrum harmonik yang ditunjukkan pada gambar 21 dan 22 menunjukkan bentuk dan urutan harmonic dominan yang sama. Berdasarkan tabel 6 juga didapati bahwa nilai amplitude, urutan harmonik dan THD yang sama, Dengan demikian pemodelan matematis yang dibuat dapat mensimulasikan gelombang arus bocor bahan isolator polimer pada kondisi kering dengan tepat. Dari hasil simulasi pemodelan yang telah dilakukan, diperoleh persamaan matematis dari gelombang hasil simulasi arus bocor bahan isolator polimer 20 kV pada kondisi kering. Persamaan tersebut ditunjukkan pada tabel 7.

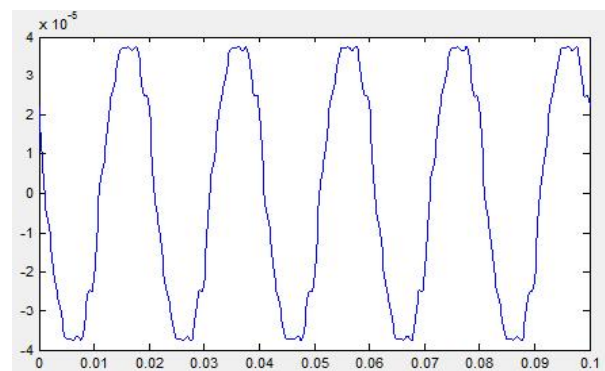
Tabel 7. Persamaan Matematis Deret Fourier Gelombang kondisi kering

Isolator Pengujian kering
Tegangan Uji 20 KV
$Y(x) = +2.9721e-005 \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot x)$ $-1.6672e006 \sin(2 \cdot \pi \cdot 150 \cdot x)$ $+6.9483e-007 \sin(2 \cdot \pi \cdot 350 \cdot x)$ $+1.4426e-006 \sin(2 \cdot \pi \cdot 450 \cdot x)$ $-7.6944e-007 \sin(2 \cdot \pi \cdot 550 \cdot x)$ $+9.8827e-006 \cos(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot x)$ $-1.8735e-007 \cos(2 \cdot \pi \cdot 150 \cdot x)$ $-4.5629e-007 \cos(2 \cdot \pi \cdot 350 \cdot x)$ $+2.0001e-006 \cos(2 \cdot \pi \cdot 450 \cdot x)$ $+6.1076e-007 \cos(2 \cdot \pi \cdot 550 \cdot x)$
3,7,9,11

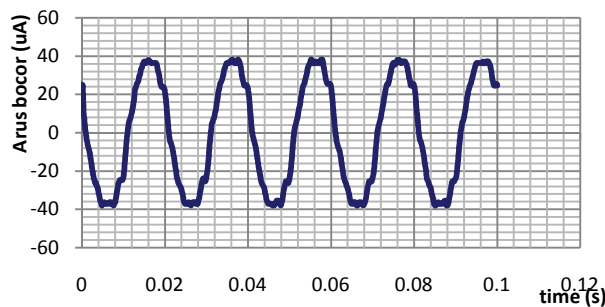
Data persamaan gelombang merepresentasikan karakteristik komponen harmonik yang terdapat pada gelombang arus bocor. Komponen harmonik tersebut menyebabkan bentuk gelombang arus bocor bahan isolator polimer pada kondisi kering berupa gelombang sinusoidal yang terdistorsi.

3.3.2 Kondisi Basah

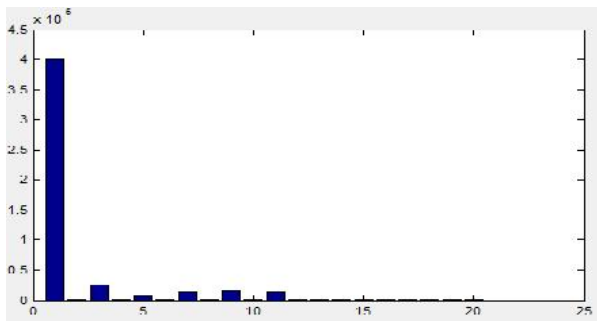
Hasil pemodelan matematis bahan isolator keramik pada kondisi basah dengan tegangan 20 kV adalah sebagai berikut :



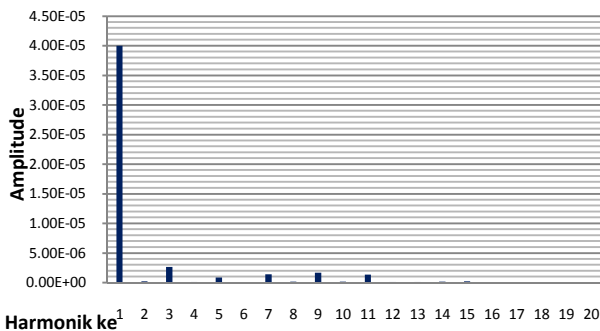
Gambar 23. Gelombang hasil Pemodelan Matematis pada tegangan 20 kV dalam kondisi Basah



Gambar 24 Spektrum harmonik hasil pengujian teg. 20 kV pada kondisi Basah



Gambar 25. Spektrum harmonik hasil pemodelan Matematis teg. 20 kV pada kondisi Basah



Gambar 26. Spektrum harmonik hasil pengujian pada teg. 20 kV pada kondisi Basah

Tabel 8. Perbandingan parameter validasi hasil pengukuran dan simulasi pemodelan matematis kondisi basah pada teg. 20 kV

Parameter	Hasil Pengukuran	Hasil Simulasi
Tegangan uji (20 KV)		
- Amplitudo	38 uA	37.36 uA
- Harmonik Dominan	3,5,7,9,11	3,5,7,9,11
- THD	9.36 %	9.23 %

Hasil perbandingan parameter validasi pemodelan menunjukkan hasil yang baik, diman bentuk gelombang arus bocor pada gambar 23 dan 24 memiliki bentuk yang sama, begitu juga dengan spektrum harmonik yang ditunjukkan pada gambar 25 dan 26 menunjukkan bentuk dan urutan harmonic dominan yang sama. Berdasarkan tabel 8 juga didapati bahwa nilai amplitude, urutan harmonik dan THD yang sama, Dengan demikian pemodelan matematis yang dibuat dapat mensimulasikan gelombang arus bocor bahan isolator polimer pada kondisi basah dengan tepat. Dari hasil simulasi pemodelan yang telah dilakukan, diperoleh persamaan matematis dari gelombang hasil simulasi arus bocor bahan isolator polimer 20 kV pada kondisi basah. Persamaan tersebut ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 9. Persamaan Matematis Deret Fourier Gelombang kondisi Basah

Isolator Pengujian Basah	Tegangan Uji 20 KV
3,5,7,9,11	$Y(x) = +3.7116e-005 \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot x) + 1.4102e-006 \sin(2 \cdot \pi \cdot 150 \cdot x) + 5.8467e-007 \sin(2 \cdot \pi \cdot 250 \cdot x) - 3.0164e-007 \sin(2 \cdot \pi \cdot 350 \cdot x) + 5.2376e-007 \sin(2 \cdot \pi \cdot 450 \cdot x) + 1.6799e-007 \sin(2 \cdot \pi \cdot 550 \cdot x) + 1.5005e-005 \cos(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot x) + 2.2266e-006 \cos(2 \cdot \pi \cdot 150 \cdot x) + 5.7908e-007 \cos(2 \cdot \pi \cdot 250 \cdot x) + 1.3124e-006 \cos(2 \cdot \pi \cdot 350 \cdot x) + 1.547e-006 \cos(2 \cdot \pi \cdot 450 \cdot x) + 1.3326e-006 \cos(2 \cdot \pi \cdot 550 \cdot x)$

Gelombang arus bocor bahan isolator polimer 20 kV pada kondisi basah juga memiliki komponen harmonisa kelipatan ganjil termasuk harmonisa dengan frekuensi 150 Hz (harmonik urutan 3) dan 250 Hz (harmonik urutan 5). Gelombang arus bocor pada kondisi basah memiliki bentuk sinusoidal dengan distorsi yang lebih sedikit dibandingkan dengan hasil pengujian kondisi kering. Hal tersebut disebabkan terjadi peningkatan komponen fundamental yang lebih signifikan dibandingkan peningkatan komponen harmonik yang dimiliki gelombang arus bocor.

Berikut disajikan tabel perbandingan nilai amplitude spektrum harmonik pada kondisi kering dan basah

Tabel 10. Perbandingan Nilai Spektrum Amplitudo Harmonik Pengujian Kering dan Basah

Frekuensi Harmonisa	Kondisi Kering	Kondisi Basah
Tegangan Uji 20 kV		
50 Hz (Fundamental)	3.1321e-05	4.0034e-05
150 Hz	1.6777e-06	1.6356e-06
250 Hz	2.0915e-07	4.2291e-07
350 Hz	8.3126e-07	1.3467e-06
450 Hz	2.4661e-06	1.6333e-06
550 Hz	9.8237e-07	1.3432e-06
650 Hz	2.5301e-08	3.2284e-08

Jika dibandingkan antara komponen harmonisa fundamental pada pengujian kering dan basah maka dapat diamati pada tabel diatas bahwa terjadi peningkatan pada simulasi arus bocor dalam keadaan isolator basah. Hal ini menunjukkan bahwa dalam perlakuan basah maka isolator akan memiliki nilai amplitudo yang lebih besar. Hal ini dikarenakan sifat permukaan isolator yang konduktif akibat adanya tetesan air saat pengujian dalam keadaan basah.

Pada kondisi basah peningkatan komponen fundamental yang lebih signifikan dibandingkan peningkatan komponen harmonik yang dimiliki gelombang arus bocor. Dengan demikian memiliki bentuk gelombang sinusoidal dengan distorsi yang lebih sedikit dibandingkan dengan hasil pengujian kondisi kering.

4. Penutup

Nilai arus bocor isolator pada pengujian basah lebih besar dari pada nilai arus bocor pada pengujian kering pada semua variasi tegangan. Persentase kenaikan arus bocor yang terjadi pada pengujian basah pada isolator *Cable Spacer* adalah sebesar 34%

Hasil komparasi parameter validasi pemodelan berdasarkan rangkaian listrik ekuivalen dan pemodelan matematis menunjukkan hasil yang hampir sama antara gelombang hasil pengujian dan gelombang hasil pemodelan. Dengan demikian, model rangkaian listrik ekuivalen yang dibuat dapat digunakan untuk merepresentasikan bahan isolator *Cable Spacer* 20 kV berbahan dasar polimer dalam kondisi kering dan basah

Adapun saran yang dapat diberikan adalah penelitian ini dapat dikembangkan dengan memberikan variasi polutan dan kabut garam pada bahan isolator *Cable Spacer* 20 kV untuk merepresentasikan kondisi isolator yang dipasang di daerah terpolusi. Selain itu, studi pemodelan bahan isolator polimer dapat dikembangkan dengan melakukan pemodelan isolator untuk jenis bahan isolator lain misalnya isolator kaca.

Referensi

- [1]. ATPDraw for Windows 3.1 User's Manual; Lázló Prikler, Hans Kr. Høidalen; 1998
- [2]. ATP/EMTP Quick Guide, Canadian-American EMTP Users Group.
- [3]. Arismunandar, A., 1978, *Teknik Tegangan Tinggi*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [4]. Arismunandar, A., 1983, *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*, Ghalia Indonesia, Jakarta.
- [5]. 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.
- [6]. Hasibuan, A. Rachman, Naemah Mubarakah, *Handout Mata Kuliah Rangkaian Listrik 2, Bab 9 – Deret Fourier*, Universitas Sumatera Utara.
- [7]. Kasap, S. O., 1978, *Principles of Electronic Materials and Devices Third Edition*, McGraw-Hill, New York, America.
- [8]. Kind, D. dan Karner, H., 1985, *High Voltage Insulation Technology: Textbook for Electrical Engineers*, Vieweg & Sohn, Brunswick, Germany.
- [9]. Kreyzig, Erwin, 2011, *Advanced Engineering Mathematics 10th Edition*, John Wiley & Sons, Inc, America.
- [10]. Malik, N.H., Al-Arainy, A.A., and Qureshi, M.I., 1998, *Electrical Insulation in Power Systems*, pp. 164-167, Marcel Dekker Inc., New York.
- [11]. 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.
- [12]. 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.
- [13]. Soerjani, Mohammad., 1996, *Permasalahan lingkungan hidup dalam tinjauan Filosofis ekologis dalam Sudjana, Eggi dan Burhan, Latif (ed.). Upaya Penyamaan Persepsi, Kedadaran dan Pentaan terhadap pemecahan Masalah Lingkungan Hidup*, CIDES, Jakarta.