

Analisa Pengaruh Arus Bocor Terhadap Total Harmonic Distortion Pada Isolator 150 kV Yang Terkontaminasi Lumut Menggunakan Transformasi Fourier

Rachmat Deska Saputra^{1✉}, Sitti Amalia², Yusreni Warmi³, Sepannur Bandri⁴, Andi M Nur Putra⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 19-09-2024

Direvisi : 22-10-2024

Diterima : 29-10-2024

Kata Kunci:

Arus bocor; FFT; Isolator; NI DIAdem; THD.

Keywords :

Leakage Current, FFT, Insulator, NI DIAdem, THD.

ABSTRAK

Penelitian ini menyelidiki *Total Harmonic Distortion* (THD) pada isolator 150 kV yang terkontaminasi lumut berdasarkan pola arus bocor dengan tiga variasi tegangan uji, yaitu 10.578 V, 21.063 V, dan 30.569 V. Pengujian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Tegangan Tinggi Universitas Gajah Mada dengan suhu 28,2 °C dan kelembaban 57,8%. Parameter yang dianalisis meliputi bentuk gelombang, spektrum frekuensi (FFT), dan THD, yang dihitung menggunakan Fast Fourier Transform (FFT) melalui software NI DIAdem. Hasil pengujian menunjukkan tidak adanya hubungan kuat antara arus bocor dan THD. Pada arus bocor 0,103 mA, THD yang dihasilkan sebesar 21,84%, sedangkan pada arus 0,207 mA menghasilkan THD 18,27%, dan 0,306 mA menghasilkan THD 36%. Berdasarkan standar IEEE STD 519-2014, THD pada isolator 150 kV yang terkontaminasi lumut melebihi batas maksimum 15%, sehingga isolator ini tidak aman digunakan pada saluran transmisi Koto Panjang-Payakumbuh.

ABSTRACT

This study investigates the Total Harmonic Distortion (THD) of 150 kV insulators contaminated with moss based on leakage current patterns with three variations of test voltages, namely 10,578 V, 21,063 V, dan 30,569 V. The tests were conducted experimentally at the High Voltage Laboratory of Gajah Mada University with a temperature of 28.2 °C dan humidity of 57.8%. The test was conducted experimentally at the High Voltage Laboratory of Gajah Mada University with a temperature of 28.2°C dan humidity of 57.8%. The analyzed parameters include waveform, frequency spectrum (FFT), dan THD, which were calculated using Fast Fourier Transform (FFT) through NI DIAdem software. The test results showed no strong relationship between leakage current dan THD. At a leakage current of 0.103 mA, the resulting THD is 21.84%, while at a current of 0.207 mA produces a THD of 18.27%, dan 0.306 mA produces a THD of 36%. Based on the IEEE STD 519-2014 standard, THD on 150 kV insulators contaminated with moss exceeds the maximum limit of 15%, so this insulator is not safe to use on the Koto Panjang-Payakumbuh transmission line.

Corresponding Author :

Rachmat Deska Saputra

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Indonesia

Jl. Gajah Mada Jl. Kdanis Raya, Kp. Olo, Kec. Nanggalo, Kota Padang, Sumatera Barat 25173

Email: rachmatriski31@gmail.com

PENDAHULUAN

Saluran transmisi Koto Panjang-Payakumbuh dengan tegangan 150kV memiliki 248 tower dengan panjang 86 km, dengan tipe tower AA, BB, CC dan DD, 64% tower berada di daerah perbukitan, dengan total flashover 82%, 20% di persawahan jumlah flashover 16%, dan 16% di padang pasir jumlah flashover 2% (Fauzan et al. 2022)(Warmi 2019). Flashover terjadi ketika petir menyambar langsung ke bumi dan garis fasa (Warmi dan Michishita 2018). Kontaminan isolator adalah tahapan pertama flashover dan dipengaruhi oleh banyak faktor dinamis lainnya, termasuk komposisi isolator, kontaminasi, dan iklim(Yanti 2022). Isolator yang terkontaminasi secara biologis dapat menjadi kurang hidrofobik dalam kondisi yang terkontaminasi lumut(Yanti 2022). Lumut ini bersifat konduktif, terutama saat cuaca lembab, kabut, atau hujan ringan. Jika terjadi cuaca seperti ini, arus bocor mengalir dari kabel fasa ke tanah melalui lapisan lumut yang menempel pada permukaan insulator dan tiang penyangga(Rajagukguk 2011)(Azzahra 2022).

Di daerah perbukitan Kotopanjang-Payakumbuh, menara transmisi yang tinggi menjadi sasaran utama sambaran petir, tingkat flashover yang tinggi pada saluran transmisi Koto Panjang-Payakumbuh menurunkan kedayanalan sistem dan menyebabkan kerusakan pada peralatan sistem terutama isolator. Saluran transmisi Koto Panjang-Payakumbuh agar menjadi sistem yang lebih handal dan membuat kontinuitas aliran daya sistem tenaga listrik menjadi lebih nyaman, aman dan stabil, maka harus ada pengurangan tingkat flashover saluran transmisi (Luntungan, Patras, dan MCh Mangindaan 2018). Di daerah Koto Panjang-Payakumbuh, isolator yang digunakan yaitu, tipe keramik dilapisi dengan lapisan komposit silika (SiO_2), feldspar, kapur (CaCO_3), kaolin, seng oksida, rutil dan zat-zat lain yang terdapat pada produksi glaster, dengan ketebalan 0,35 mm sampai 0,4 mm(Warmi dan Febrian 2021). Dalam kondisi cuaca buruk, seperti embun atau kabut, isolator yang terkontaminasi dapat secara signifikan mengurangi kekuatan dielektrik listrik pada tegangan operasional, sehingga menyebabkan flashover dan pemadaman listrik selama pengoprasian(Warmi dan Febrian 2021). Stdanar BIL isolator yaitu 110 kV. Kualifikasi ini penting untuk memastikan bahwa isolator dapat bertahan tanpa kegagalan, yang umumnya terdiri dari kegagalan penetrasi dan kegagalan permukaan seperti flashover dan arus bocor(Halomoan 2017). Isolator harus mampu menahan tegangan operasi normal, tegangan berlebih, dan tekanan mekanis(Dimitropoulou et al. 2015).

Menurut pusat pengatur beban dan distribusi Sumatera, jalur transmisi Koto Panjang-Payakumbuh mengalami pemadaman listrik akibat sambaran petir, dengan tingkat pemadaman mencapai 66%(Warmi dan Michishita 2016). Lonjakan tegangan yang disebabkan oleh petir dapat merusak isolasi saluran transmisi yang menyebabkan arus bocor dan gangguan pasokan listrik(Fauzan et al. 2022). Isolator yang terletak di lereng bukit memiliki efek interferensi 33,3% karena kotoran dan polutan menempel pada permukaan dan menyebabkan arus bocor(Fauzan et al. 2022). Insulasi yang terkontaminasi, seperti lumut dan debu, dapat secara signifikan mengurangi ketahanan dielektrik isolator dalam keadaan operasi normal, sehingga menyebabkan flashover, arus bocor, dan kegagalan daya pada tegangan normal(Warmi dan Febrian 2021). Ketika arus bocor meningkat, tegangan flashover kritis terjadi pada permukaan isolator(Setiawan, Ridzki, dan Surya 2020)(Jumari, Joslen Sinaga, dan Sudirman Zega 2020). Secara teori menyatakan bahwa tingkat arus bocor pada isolator yang terkontaminasi lumut lebih besar dari pada isolator yang terkontaminasi debu. Pada isolator saluran transmisi Koto Panjang-Payakumbuh, tingkat arus bocor yang terkontaminasi debu lebih besar dibandingkan dengan yang terkontaminasi oleh lumut(Suyanto 2014)(Heri dan Syakur 2012).

Beberapa penelitian telah dilakukan terhadap arus bocor yang terjadi pada isolator yang terkontaminasi lumut. Salah satu kajiannya adalah analisis karakteristik flashover dan arus bocor pada isolator porselen yang terkena kontaminan Bryum SP. Pada analisis ini, keberadaan lumut Bryum SP pada permukaan insulator menurunkan nilai tegangan flashover yang terus terjadi seiring dengan meningkatnya kelembaban. Sementara arus bocor meningkat dengan meningkatnya kelembaban. Gelombang arus bocor Bryum SP yang dihasilkan pada isolator yang terkontaminasi kontaminan tidak ada pelepasan dan tampaknya ada distorsi bentuk sinusoidal murni.(Rajagukguk 2011). Oleh karena itu untuk menentukan karakteristik arus bocor pada

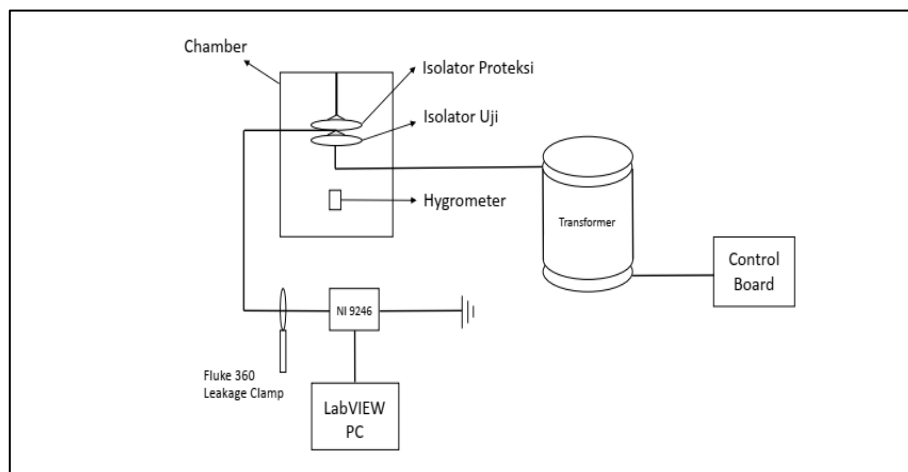
isolator yang terkontaminasi lumut maka dilakukan penelitian menggunakan metode transformasi fourier untuk mendapatkan arus dalam spektrum frekuensi yang akan dikaitkan dengan total harmonik distortion (THD). Berdasarkan IEEE STD 519-2014, nilai THD tegangan maksimum yaitu 8% dan THD arus maksimum 15% (Adam 2023) (Koerniawan dan Hasanah 2019). Berdasarkan standar tersebut maka dapat ditentukan apakah nilai THD arus bocor pada isolator yang terkontaminasi lumut melebihi batas maksimum atau minimum sehingga adanya perbedaan antara teori dengan yang terjadi di lapangan (Adam 2023).

Untuk menanggulangi permasalahan ini maka digunakan software LabVIEW dalam pemodelan kontaminasi isolator terkait karakteristik arus bocor. LabVIEW adalah perangkat lunak standar untuk manajemen interaktif, pengolahan dan penyajian data teknis (Trewin 2006). Pemodelan ini dilakukan untuk menghasilkan arus bocor dalam bentuk spektrum frekuensi menggunakan metode transformasi fourier. Transformasi fourier yang digunakan adalah fast fourier transform (FFT). FFT digunakan untuk mengurangi kompleksitas transformasi yang dilakukan di Discrete Fourier Transform (DFT). Sebagai perbandingan, menggunakan DFT, kompleksitas transformasinya adalah $O(N^2)$, sedangkan menggunakan FFT, selain mempercepat waktu konversi, mengurangi kompleksitas transformasi menjadi $O(N \log(N))$. Misalnya menggunakan DFT untuk mendapatkan hanya 2 sampel, dan tingkat kerumitan transformasinya adalah 4, tetapi ketika menggunakan FFT, kompleksitasnya adalah 0,602 (Alfina et al. 2019).

Untuk mengatasi masalah ini, perlu dilakukan Analisa Pengaruh Arus Bocor Terhadap Total Harmonic Distortion (THD) Pada Isolator 150 Kv Yang Terkontaminasi Lumut Menggunakan Transformasi Fourier. Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan karakteristik arus bocor pada isolator yang terkontaminasi oleh lumut pada saluran transmisi 150 kV Koto Panjang-Payakumbuh (Samosir 2015).

METODE PENELITIAN

Pengujian bersifat experimental yang dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi di Universitas Gajah Mada. Metode pengujian arus bocor isolator dengan pengotoran lumut menggunakan pembangkit MWB Jerman 100 kV. Sebelum mempersiapkan peralatan uji, terlebih dahulu persiapkan data isolator yang akan diuji. Proses pengukuran arus bocor dilakukan pada satu isolator uji yang terkontaminasi lumut dengan proses penaikan tegangan secara signifikan yaitu 10578 V, 21063 V dan 30569 V dengan tujuan untuk menentukan nilai THD yang memenuhi standar IEEE STD 519-2014 THD arus maksimum 15 % pada arus bocor. Pada chamber terdapat 2 isolator yaitu isolator proteksi dan isolator yang akan diuji. Pada chamber juga dilakukan seting suhu dan kelembapan udara relatifnya yang diukur oleh hygrometer. Setelah itu arus bocor diukur oleh alat ukur fluke 360 leakage clamp. Setelah itu data arus bocor di tangkap oleh software NI DAQ dalam bentuk tampilan tabulasi sinyal dengan jumlah $N=100.000-105.000$. kondisi ruang lemari uji yang diukur adalah suhu $28,2^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan udara relatif 57,8 %.



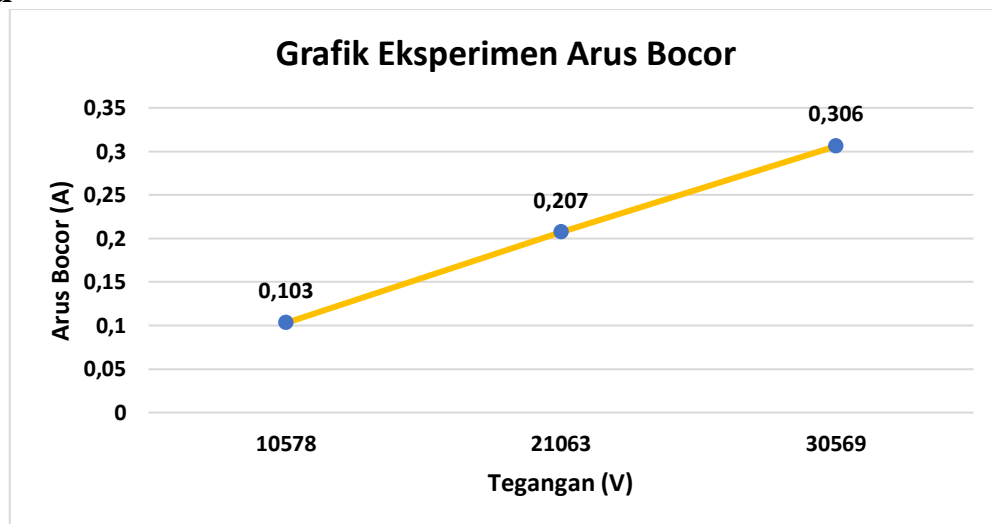
Gambar 1. Rangkaian Percobaan Arus Bocor

Metode pengujian arus bocor terhadap THD isolator dengan kontaminan lumut menggunakan transformasi fourier. Dimana transformasi fourier yang digunakan adalah fast fourier transform (FFT). FFT digunakan untuk mengurangi kompleksitas transformasi yang dilakukan di Discrete Fourier Transform (DFT). Sebagai perbandingan, menggunakan DFT, kompleksitas transformasinya adalah $O(N^2)$, sedangkan menggunakan FFT, selain mempercepat waktu konversi, mengurangi kompleksitas transformasi menjadi $O(N \log(N))$. Misalnya menggunakan DFT untuk mendapatkan hanya 2 sampel, dan tingkat kerumitan transformasinya adalah 4, tetapi ketika menggunakan FFT, kompleksitasnya adalah 0,602. Setelah data diolah oleh FFT maka akan menghasilkan arus dalam tampilan domain frekuensi (If). Data yang didapat dari arus dalam domain frekuensi tersebut digunakan untuk melakukan perhitungan total harmonik distortion.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{n_{max}} M^2_n}}{M_1} \times 100 \% \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Awal



Gambar 2. Hubungan Antara Tegangan dan Arus Bocor Pada Isolator 150 kV

Grafik menunjukkan bahwa saat tegangan uji 10578 V telah terjadi arus bocor sebesar 0,103 mA. Saat tegangan uji 21063 V terjadi arus bocor sebesar 0,207 mA. Saat tegangan uji mencapai 30569 V terjadi arus bocor sebesar 0,306 mA. Pengujian dilakukan pada keadaan suhu 28,2 °C dan kelembapan relatif 57,8 %. Pada grafik menggambarkan hubungan antara tegangan uji dan arus bocor pada isolator 150 kV dengan berbagai tegangan uji yaitu 10278 V, 21063 V dan 30569 V. analisis data menunjukkan bahwa ada korelasi linier yang kuat antara peningkatan tegangan uji dan peningkatan arus bocor. Ketika tegangan meningkat, tekanan tegangan pada isolator meningkat dan kekuatan medan meningkat, mempercepat pelepasan muatan elektron pada permukaan isolator, sehingga menghasilkan arus bocor pada isolator. Ini dapat menunjukkan bahwa sistem kelistrikan atau perangkat yang menggunakan tegangan tinggi memerlukan lebih banyak pengawasan dan perlindungan untuk mengurangi arus bocor yang tidak diinginkan. Arus bocor yang tinggi dapat merusak sistem isolasi atau bahkan menyebabkan kecelakaan listrik. Eksperimen seperti ini juga menunjukkan kondisi operasi ideal untuk perangkat yang beroperasi pada tegangan tinggi, material atau isolasi yang digunakan harus dapat menangani arus mbocor tegangan tinggi untuk menghindari kerusakan atau penurunan kinerja sistem secara keseluruhan.

Analisis Arus Bocor Pada Tegangan Uji 10,578 V

Tabel 1. Arus Bocor Dalam Spektrum Frekuensi Tegangan Uji 10578 V

Frekuensi (Hz)	Arus Bocor (A)
50	9.7E-05
150	5.5E-06
200	6.5E-06
250	6.9E-06
350	4.6E-06
400	6.3E-06
450	1.6E-05
600	4.9E-06
650	1.6E-06

Untuk isolator dengan tegangan uji 10,578 V yang terkontaminasi lumut, arus bocor diukur pada berbagai frekuensi dengan tegangan uji 10,578 V hasilnya dapat dilihat pada tabel 1. Untuk isolator dengan tegangan uji 10,578 V yang terkontaminasi lumut THD dihitung sebagai berikut:

$$THD = \frac{\sqrt{4.48184E - 10}}{9.7E - 05} \times 100 \% = 21.18 \%$$

Jadi total harmonik distortion pada pengujian tegangan uji 10,578 V yang terkontaminasi lumut adalah 21.18 %. Berdasarkan IEEE STD 519-2014, nilai THD arus maksimum yakni 15 % yang berarti nilai THD pengujian tegangan uji 10,578 V yang terkontaminasi lumut melebihi nilai standar yang diterapkan oleh IEEE STD 519-2014.

Analisis Arus Bocor Pada Tegangan Uji 21,063 V

Tabel 2. Arus Bocor Dalam Spektrum Frekuensi Tegangan Uji 21,063 V

Frekuensi (Hz)	Arus Bocor (A)
50	0.00029
150	1.5E-05
200	7.3E-06
250	1.3E-05
350	6.5E-06
400	6.6E-06
450	4.5E-05
550	1.2E-05
600	5.6E-06
650	1.3E-05

Untuk isolator dengan tegangan uji 21,063 V yang terkontaminasi lumut, arus bocor diukur pada berbagai frekuensi dengan tegangan uji 21,063 V hasilnya dapat dilihat pada tabel 2. Untuk isolator dengan tegangan uji 21,063 V yang terkontaminasi lumut THD dihitung sebagai berikut:

$$THD = \frac{\sqrt{2.88094E - 09}}{2.9E - 04} \times 100 \% = 18.26 \%$$

Jadi total harmonik distortion pada pengujian tegangan uji 21,063 V yang terkontaminasi lumut adalah 18.26 %. Berdasarkan IEEE STD 519-2014, nilai THD arus maksimum yakni 15 % yang berarti nilai THD pengujian tegangan uji 21,063 V yang terkontaminasi lumut melebihi nilai standar yang diterapkan oleh IEEE STD 519-2014.

Analisis Arus Bocor Pada Tegangan Uji 30,569 V

Tabel 3. Arus Bocor Dalam Spektrum Frekuensi Tegangan Uji 30,569 V

Frekuensi (Hz)	Arus Bocor (A)
50	0.00035
150	2.1E-05
200	7.7E-06
250	2.2E-05
350	0.00001
400	6.9E-06
450	0.00012
550	7.1E-06
600	5.3E-06
650	6.8E-06
800	3.9E-06

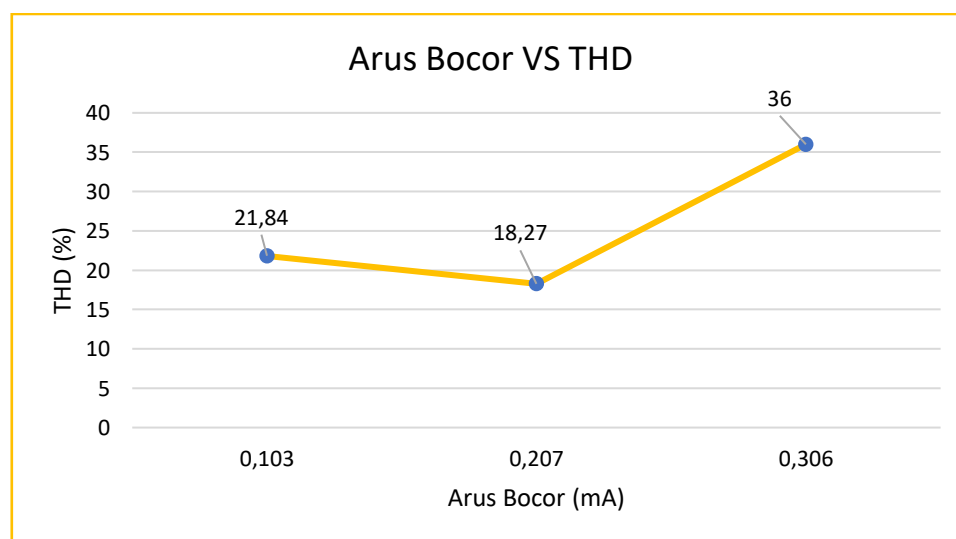
Untuk isolator dengan tegangan uji 30,569 V yang terkontaminasi lumut, arus bocor diukur pada berbagai frekuensi dengan tegangan uji 30,569 V hasilnya dapat dilihat pada tabel 3. Untuk isolator dengan tegangan uji 30,569 V yang terkontaminasi lumut THD dihitung sebagai berikut:

$$THD = \frac{\sqrt{1.56664E-08}}{3.5E-04} \times 100 \% = 36 \%$$

Jadi total harmonik distortion pada pengujian tegangan uji 30,569 V yang terkontaminasi lumut adalah 36 %. Berdasarkan IEEE STD 519-2014, nilai THD arus maksimum yakni 15 % yang berarti nilai THD pengujian tegangan uji 21,063 V yang terkontaminasi lumut melebihi nilai standar yang diterapkan oleh IEEE STD 519-2014.

Analisis Arus Bocor Terhadap Nilai THD Untuk Berbagai Tegangan Uji

Gambar 3 mengilustrasikan hubungan antara arus bocor dengan nilai THD yang dihasilkan untuk berbagai nilai tegangan uji yang diterapkan



Gambar 3. Hubungan Antara Arus Bocor dan THD Pada Isolator 150 kV

Arus bocor sesaat diketahui terbentuk dari komponen harmonik arus bocor. Di sini, THD adalah jumlah akar kuadrat dari komponen harmonik dibagi dengan komponen fundamental. Pada arus bocor 0.103 mA menghasilkan THD sebesar 21.84 %, pada arus bocor 0.207 mA menghasilkan nilai THD sebesar 18.27 dan pada arus bocor sebesar 0.306 mA menghasilkan THD

sebesar 36 %. Pada grafik dapat dilihat bahwa ada penurunan nilai THD pada arus bocor 0.207 mA dari arus bocor 0.103 mA. Ini disebabkan karena nilai arus bocor pada frekuensi fundamental (50 Hz) pada arus bocor 0.103 mA lebih kecil yakni 0.097 mA dari nilai arus bocor pada frekuensi fundamental (50 Hz) arus bocor 0.207 yakni 0.290 mA. Saat arus bocor mencapai 0.306 mA nilai THD meningkat yakni 36 % disebabkan nilai arus bocor pada frekuensi fundamental (50 Hz) lebih besar yakni 0.350 mA. Hal ini menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh yang kuat antara arus bocor dan THD pada isolator yang terkontaminasi lumut. Menurut standar IEEE STD 519-2014 nilai THD arus bocor maksimum sebesar 15 %, berdasarkan standar tersebut dapat ditentukan bahwa isolator 150 kV yang terkontaminasi lumut pada saluran transmisi Koto Panjang-Payakumbuh melebihi nilai standar THD maksimum yang telah ditentukan oleh IEEE STD 519-2014 yang menyebabkan isolator tidak dapat digunakan atau dioperasikan secara aman sebagai isolasi pada saluran transmisi Koto Panjang-Payakumbuh.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Arus bocor yang terjadi pada isolator 150 kV yang terkontaminasi lumut di saluran transmisi Koto Panjang-Payakumbuh memiliki nilai THD yang melebihi batas standar yang ditetapkan oleh IEEE STD 519-2014, yaitu 15%. Pada arus bocor sebesar 0.207 mA, terdapat penurunan nilai THD, namun pada arus bocor yang lebih tinggi 0.306 mA THD meningkat hingga 36%. Hal ini menunjukkan bahwa THD tidak sepenuhnya dipengaruhi oleh besarnya arus bocor pada isolator yang terkontaminasi lumut. Nilai THD yang melebihi standar tersebut mengindikasikan bahwa isolator tidak dapat berfungsi secara aman sebagai isolasi pada saluran transmisi, dan isolator tersebut tidak aman untuk digunakan dalam sistem transmisi Koto Panjang-Payakumbuh.

Saran

Dari penelitian tugas akhir ini didapatkan saran agar dapat melanjutkan penelitian arus bocor isolator yang dipengaruhi oleh variabel yang berbeda atau variabel yang lebih banyak atau variabel khusus yang belum pernah diteliti sebelumnya. Agar dapat mengimplementasikan NI DAdeem untuk mempermudah pekerjaan dalam mengetahui variabel-variabel tertentu yang akan di gunakan.

REFERENSI

- Adam, Febrian. 2023. *Analisa Total Harmonic Distortion Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Aliran Daya Harmonik*.
- Alfina, Riny, Indrawan Arifianto, Dwi Astharini, dan Putri Wuldanari. 2019. "Mendisain GUI Untuk Menampilkan Nilai FFT Dan IFFT Menggunakan LabVIEW." *TESLA: Jurnal Teknik Elektro* 21(1):50. doi: 10.24912/tesla.v21i1.3250.
- Azzahra, Magvira Apriliana. 2022. "Investigasi Eksperimental Kekuatan Dielektrik Isolator Pada Saluran Transmisi 150 KV Koto Panjang – Payakumbuh." *Prosiding Sains Nasional Dan Teknologi* 12(1):539. doi: 10.36499/psnst.v12i1.7205.
- Dimitropoulou, M., D. Pylarinos, K. Siderakis, E. Thalassinakis, dan M. Danikas. 2015. "Comparative Investigation of Pollution Accumulation dan Natural Cleaning for Different HV Insulators." *Engineering, Technology & Applied Science Research* 5(2):764–74. doi: 10.48084/etasr.545.
- Fauzan, Muhamad, Fitri Rahma Yanti, Magvira Apriliana Azzahra, Affalenza Ahmad, dan Yusreni Warmi. 2022. "Investigasi Flashover Pada Saluran Transmisi 150 KV Payakumbuh – Koto Panjang." *Sinarint* 177–84.
- Halomoan, Ravento Viko. 2017. "MENGUNAKAN TEGANGAN IMPULS Ravento Viko

Halomoan Skripsi Ini Ditulis Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Dalam Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO.”

- Heri, Johanadib, dan Abdul Syakur. 2012. “Studi Arus Bocor Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi Silane Dengan Variasi Pengisi Pasir Silika (Dengan Polutan Pantai).” *Transmisi* 14(1):20-37–37.
- Jumari, Joslen Sinaga, dan Sudirman Zega. 2020. “STUDI PENGARUH KONTAMINASI POLUSI UDARA PADA ISOLATOR TEGANGAN MENENGAH 20 KV PADA PT PLN (Persero) UNIT PELAKSANA PELAYANAN PELANGGAN (UP3) MEDAN.” *Jurnal Teknik Elektro* 9(1):31–43.
- Koerniawan, Tony, dan Aas Wasri Hasanah. 2019. “Kajian Harmonisa Pada Pemakaian Tenaga Listrik Gedung STT-PLN Jakarta.” *Kilat* 8(2):180–89. doi: 10.33322/kilat.v8i2.547.
- Luntungan, Renaldi P., Lily S. Patras, dan Glanny MCh Mangindaan. 2018. “Analisa Daerah Lindung Dan Grounding Pada Tower Transmisi Akibat Terjadinya Back Flashover.” *Journal Teknik Elektro Dan Komputer* 7(3):199–206.
- Muhammad Suyanto. 2014. “Pengujian Isolator Pin-Post 20KV Terkontaminasi Garam Mengakibatkan Arus Bocor Flashover Pada Permukaan Isolator.” *Snast* (November):211–16.
- Rajagukguk, Managam. 2011. “Analisis Karakteristik Flashover Dan Arus Bocor Pada Isolator Porselin Yang Dipengaruhi Polutan Lumut Bryum SP.” *Jurnal ELKHA* 3(2):35–38.
- Samosir, A. S. 2015. “Analisis Dan Visualisasi Representasi Deret Fourier Gelombang Sinyal Periodik Menggunakan MATLAB.” *Electrician: Jurnal Rekayasa Dan Teknologi ...* 9(3).
- Setiawan, Awan, Imron Ridzki, dan Priya Surya. 2020. “Pengaruh Tegangan Kerja Terhadap Spektrum Frekuensi Gelombang Arus Bocor Pada Isolator Keramik.” *Jurnal Eltek* 18(2):59. doi: 10.33795/eltek.v18i2.255.
- Trewin, Dennis. 2006. “Diadem Basic.” *Business* 1(325290):1–20.
- Warmi, Yusreni. 2019. “Analisa Pengaruh Panjang Gap Arcing Horn Terhadap Jumlah Trip-out Pada Saluran Transmisi 150 KV Payakumbuh – Koto Panjang.” *Jurnal Teknik Elektro ITP* 8(2):82–86. doi: 10.21063/jte.2019.3133815.
- WARMI, YUSRENI, dan KAZNI FEBRIAN. 2021. “Analisis Variasi Ketebalan Coating Senyawa Glasir Terhadap Daya Tahan Dielektrik Isolator Keramik Saluran Transmisi 150kV.” *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika* 9(2):249. doi: 10.26760/elkomika.v9i2.249.
- Warmi, Yusreni, dan Koji Michishita. 2016. “Investigation of Lightning Tripouts on 150-KV Transmission Lines in West Sumatra in Indonesia.” *IEEE Transactions on Electrical dan Electronic Engineering* 11(5):671–73. doi: 10.1002/tee.22286.
- Warmi, Yusreni, dan Koji Michishita. 2018. “Tower-Footing Resistance dan Lightning Trip-Outs of 150 KV Transmission Lines in West Sumatra in Indonesia.” *MATEC Web of Conferences* 215:4–11. doi: 10.1051/mateconf/201821501022.
- Yanti, Fitri Rahma. 2022. “Analisa Pengaruh Kontaminan Isolator Terhadap Jumlah Flashover Pada Saluran Transmisi 150 KV Koto Panjang-Payakumbuh.” *Prosiding Sains Nasional Dan Teknologi* 12(1):559. doi: 10.36499/psnst.v12i1.7212.