

Analisa Pengaruh Arus Bocor Terhadap Daya Tahan Dielektrik pada Isolator Berlumut 150 Kv Saluran Transmisi Koto Panjang -Payakumbuh

Halisa Hilmi¹ Sitti Amalia² Yusreni Warmi³ Arfita Yuana Dewi⁴ Erhaneli⁵

Program Studi Teknik Elektro Sarjana, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang, Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat, Indonesia^{1,2,3,4,5}

Email: 2020310010.halisa@itp.ac.id

Abstrak

Saluran transmisi 150 kV di Koto Panjang - Payakumbuh, Sumatera Barat, menghadapi tantangan akibat tingginya aktivitas petir, dengan rata-rata laju petir tahunan mencapai 173 hari/tahun. Panjang saluran 86 km dan 248 menara yang sebagian besar berada di perbukitan, isolator rentan terhadap kontaminasi lumut, terutama saat cuaca lembab. Lumut yang menempel dapat menurunkan kualitas isolasi dan meningkatkan risiko flashover serta arus bocor. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh arus bocor terhadap daya tahan dielektrik isolator lumut menggunakan Metode Anderson yang di validasi menggunakan nilai ESDD dan NSDD serta dengan hasil pengujian eksperimen. Metode Anderson ini diharapkan dapat menghasilkan perhitungan yang tepat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi arus bocor maka daya tahan dielektrik semakin menurun. Berdasarkan hasil dari perhitungan Anderson dan eksperimen yang telah dilakukan, hasil menunjukkan bahwa arus bocor yang sangat rendah (0,82 mA dan 0,86 mA) menyebabkan penurunan daya tahan dielektrik sebesar 20,4 kV dan 19,4 kV, mengindikasikan isolator masih dapat menahan tegangan meskipun arus bocor meningkat. Namun, penurunan signifikan terjadi saat arus bocor mencapai titik kritis sekitar 12 mA, dengan penurunan sebesar 13,8 kV yang menandakan kerusakan pada isolator. Penurunan daya tahan dielektrik berlanjut, mencapai risiko kegagalan yang meningkat berdasarkan standar IEC untuk BIL isolator, dengan penurunan daya tahan mencapai 18,3% hingga 10,3% pada titik terendah. Ini menegaskan bahwa peningkatan arus bocor berdampak serius pada kinerja isolator dan menunjukkan perlunya pemeliharaan berkelanjutan untuk mengurangi risiko gangguan pada sistem transmisi listrik. Penelitian ini penting untuk meningkatkan keandalan sistem dengan memahami interaksi antara arus bocor dan daya tahan dielektrik dalam kondisi lingkungan yang ekstrem.

Kata Kunci: Arus Bocor, Daya Tahan Dielektrik, Isolator Lumut, ESDD dan NSDD, Metode Anderson.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Posisi menara dan aktivitas petir yang tinggi dapat mempengaruhi tingkat *flashover* yang terjadi pada isolator tersebut, isolator yang terkontaminasi akan lebih mudah untuk dialiri arus dan menyebabkan *flashover* yang mana *flashover* ini dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada permukaan isolator sehingga akan mengurangi kekuatan dielektrik dari isolator tersebut dan dapat memberikan jalan yang lebih mudah untuk dialiri arus sehingga dapat meningkatkan arus bocor (Warmi dan Ismail, 2018). Isolator memiliki kemampuan dielektrik yang menunjukkan seberapa baik bahan isolator dapat bertahan dari tegangan listrik tanpa merusak sifat isolasinya (Harinata, Ilham and Yusuf, 2019). Daya tahan dielektrik dari isolator dapat menyebabkan kegagalan dalam isolasi yang berakibat terhentinya pelayanan dalam operasi tenaga listrik (Hani, 2016). Sehingga isolator yang baik harus mempunyai daya tahan dielektrik yang besar agar dapat menjalankan fungsinya dengan baik sehingga diharapkan bisa membuat kinerja sistem menjadi lebih handal dan optimal (Rasyid dan Murdiya, 2017).

Faktor utama yang mengakibatkan kegagalan pada isolator adalah adanya polutan yang menempel pada isolator sehingga mengakibatkan arus bocor (Warmi, Yusreni Fauzan *et al.*,

2022). Di daerah perbukitan, kelembaban tinggi saat cuaca berkabut dan hujan dapat menyebabkan lumut menempel pada permukaan isolator, lumut yang menempel pada permukaan isolator bersifat konduktif terutama dalam keadaan cuaca lembab, berkabut dan hujan, jika cuaca seperti ini terjadi maka akan mengalir arus bocor dari kawat fasa ke tanah melalui lapisan lumut yang menempel di permukaan isolator dan tiang penyangga, arus bocor ini memicu terjadinya peluahan parsial pada permukaan isolator (Rajagukguk, 2011). Apabila arus bocor meningkat, maka akan menyebabkan terjadinya penurunan daya tahan dielektrik pada isolator (Muhammad Suyanto, 2014). Hal ini tentu akan berpengaruh terhadap penyaluran daya yang tidak optimal dalam saluran transmisi karena isolator yang rusak.

Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dilakukan analisa pengaruh arus bocor terhadap daya tahan dielektrik pada isolator berlumut dengan menggunakan metode Anderson. Metode Anderson merupakan sebuah metode yang digunakan untuk menghitung arus bocor pada isolator. Pada penelitian sebelumnya metode Anderson telah digunakan untuk menyelesaikan beberapa permasalahan seperti menghitung pengaruh sambaran petir pada kawat fasa akibat gangguan *back-flashover*, menghitung pengaruh kontaminan terhadap tegangan *flashover* serta menghitung pengaruh kelembaban dan suhu terhadap tegangan *flashover* pada isolator, sehingga pada penelitian ini, penulis menggunakan metode Anderson untuk menghitung pengaruh arus bocor terhadap daya tahan dielektrik pada isolator berlumut di saluran transmisi koto panjang payakumbuh. Analisa ini dilakukan dengan memasukkan variabel nilai ESDD dan NSDD dari isolator yang terkontaminasi lumut ke persamaan yang ada pada metode Anderson. Nilai ESDD dan NSDD ini didapatkan dari hasil pengujian laboratorium yang mana nilai tersebut digunakan untuk mencari luas dari permukaan isolator yang terkontaminasi sehingga nantinya nilai tersebut dimasukkan ke perhitungan metode Anderson dalam menghitung nilai arus bocor dan daya tahan dielektrik. Hasil perhitungan dengan menggunakan metode Anderson ini akan dibandingkan dengan arus bocor berdasarkan hasil eksperimen pada *Labview*.

METODOLOGI PENELITIAN

1. Jenis Penelitian. Jenis penelitian ini adalah analisa untuk mengetahui pengaruh arus bocor terhadap daya tahan dielektrik pada isolator lumut 150 kV pada saluran transmisi Koto Panjang – Payakumbuh dengan menggunakan metode Anderson dan divalidasi dengan ESDD dan NSDD.
2. Lokasi Penelitian. Penulis mengambil lokasi kajian penelitian ini di Laboratorium UGM untuk melakukan eksperimen dan di Laboratorium Teknik Elektro ITP untuk menganalisis hasil eksperimen.
3. Data yang dibutuhkan. Data yang dibutuhkan yaitu data isolator kontaminasi lumut pada saluran transmisi Koto Panjang – Payakumbuh, data nilai ESDD dan NSDD dari isolator lumut yang mengalami *flashover* dan data arus bocor dari isolator lumut yang mengalami *flashover*.
4. Metode Pengambilan data. Metode pengambilan data yang dipakai pada penelitian mengenai eksperimental kekuatan dielektrik isolator adalah: data primer berupa pengujian berat ESDD dan NSDD dengan menggunakan metode swab technique berdasarkan standard IEC TS 60815-1-2008 serta data arus bocor dengan pengujian menggunakan alat MWB jerman 100 Kv yang diukur dengan memvariasikan nilai suhu sebesar 28° dan kelembaban 58,2%. Untuk data sekunder yaitu Pengumpulan data – data yang dilakukan berdasarkan teori seperti data-data yang berasal dari buku referensi, jurnal ilmiah. Dan data-data yang terdapat pada PT. PLN (persero) yang berkaitan dengan saluran transmisi 150 kV Koto Panjang – Payakumbuh.

5. Metode Pengujian

- Pengujian Arus Bocor. Adapun untuk nilai arus bocor hasil eksperimen, dilakukan pengujian dilaboratorium Teknik tegangan tinggi UGM menggunakan alat ukur MWB jerman 100 kV. Alat ini merupakan instrument pengukuran yang digunakan untuk memantau dan merekam arus bocor pada sistem tegangan tinggi.
- Pengambilan Data ESDD dan NSDD. Pengujian berat ESDD dan NSDD dilakukan dengan menggunakan metode swab technigue berdasarkan standard IEC TS 60815-1-2008
- Analisis data metode Anderson. Setelah diketahui nilai arus bocor selanjutnya dilakukan analisis menggunakan perhitungan Anderson yang divalidasi dengan nilai ESDD dan NSDD.

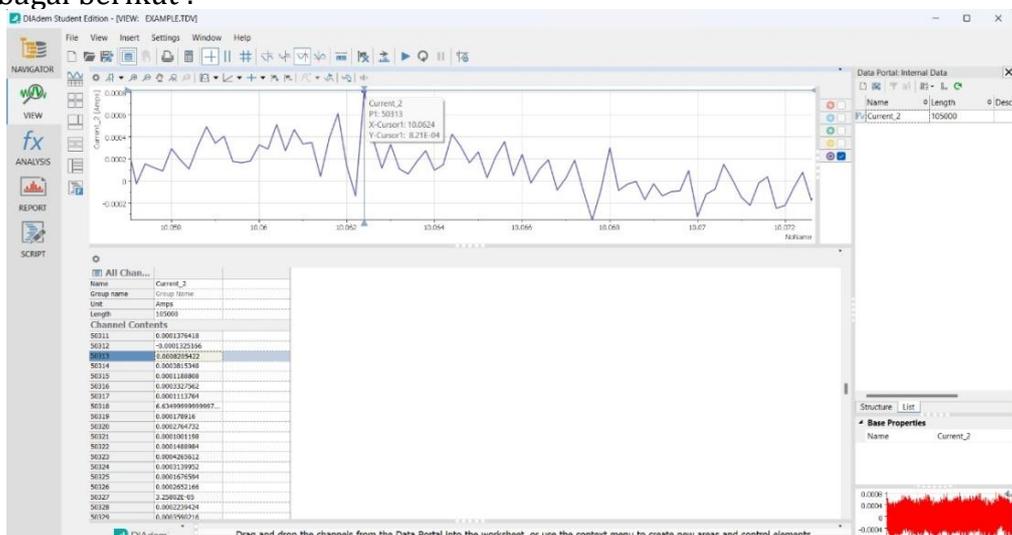
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

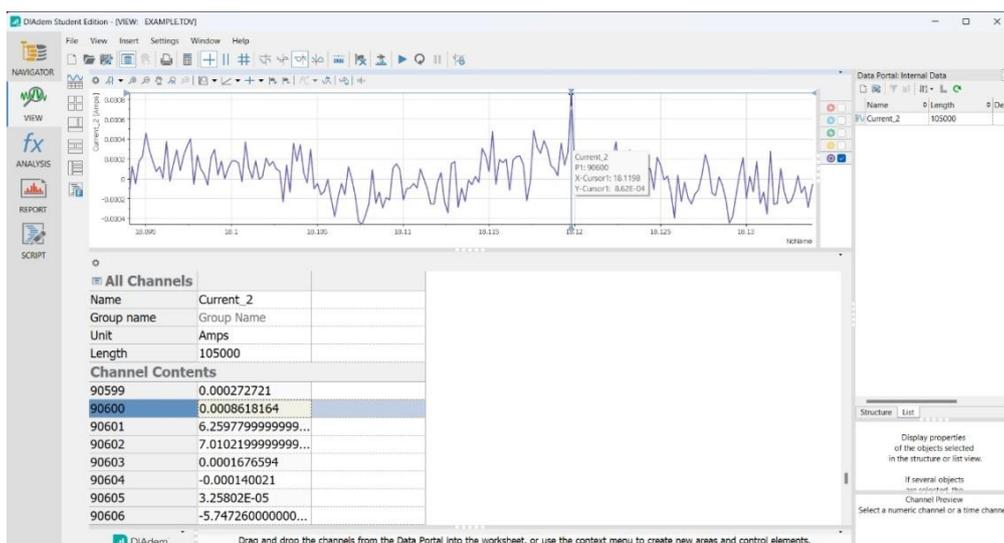
Analisa dan Pembahasan

Analisa pengaruh arus bocor terhadap daya tahan dielektrik pada isolator akan ditinjau dari nilai resistansi pentanahan yang terdapat pada jalur 150 kV saluran transmisi Koto Panjang – Payakumbuh yang telah mengalami flashover akan ditinjau dari nilai resistansi pentanahan dengan mensubtitusikan nilai ESDD dan NSDD dari isolator berlumut yang telah mengalami flashover ke dalam rumus resistansi pentanahan tersebut yang mana dari nilai resistansi pentanahan tersebut akan dikaitkan dengan dengan nilai resistansi efektif yang terdapat dalam metode Anderson. Analisa ini dilakukan pada tower didaerah IKL 174 hari/tahun yang mana terdapat 284 tower. Sebanyak 68 tower terdata mengalami gangguan (trip out). Setelah di klasifikasi terdapat 1 tower dengan gangguan paling banyak yaitu 9 kali pada nomor tower 17. Dengan menggunakan Metode J.G. Anderson sebagai perhitungannya seperti yang telah dipaparkan pada pembahasan sebelumnya maka akan mempermudah untuk melakukan perhitungan.

Perhitungan Daya tahan dielektrik Pada Eksperimen

Berdasarkan pengujian menggunakan MWB jerman yang telah dipaparkan sebelumnya didapatkan nilai arus bocor dari hasil eksperimen yang telah divisualisasikan ke dalam software NI DIADEM yang dapat kita gunakan sebagai acuan membandingkan dengan nilai arus bocor hasil perhitungan. Terdapat 2 data yang digunakan untuk perbandingan perhitungan, yang mana data ini di dapatkan dari hasil eksperimen, Adapun data tersebut adalah sebagai berikut :





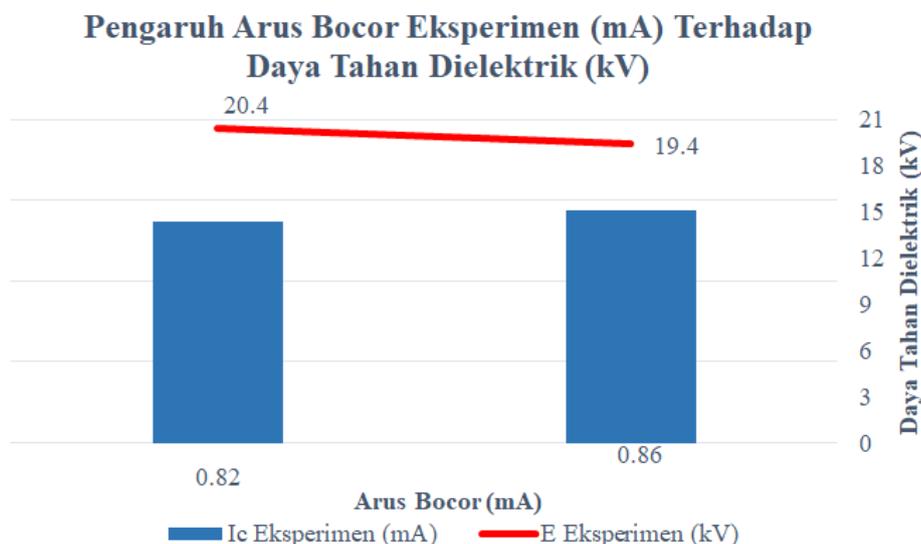
Gambar 1. Pengujian Arus Bocor Menggunakan MWB Jerman 100 kV

Dari hasil pengujian diatas maka didapatkan nilai arus bocor terendah sebesar 0,82 mA dan tertinggi sebesar 0,86 mA. Setelah dilakukan perhitungan nilai daya tahan dielektrik untuk masing-masing nilai arus bocor eksperimen, maka didapatkan tabel seperti di bawah ini:

Tabel 1. Nilai Ic Eksperimen Dan Nilai Daya Tahan Dielektrik Eksperimen

Ic Eksperimen (mA)	Daya Tahan Dielektrik / E Eksperimen (kV)
0.82	-20,4
0.86	-19,4

Berdasarkan tabel diatas, dapat dilihat bahwa nilai untuk daya tahan dielektrik menunjukkan nilai negatif, yang berarti nilai tersebut menunjukkan adanya penurunan nilai daya tahan dielektrik dari masing-masing nilai arus bocor hasil eksperimen. Berikut ini merupakan gambar grafik pengaruh arus bocor terhadap daya tahan dielektrik dari isolator kontaminan lumut berdasarkan hasil eksperimen tabel 1. :



Gambar 2. Grafik Arus Bocor Terhadap Daya Tahan Dielektrik Pada Eksperimen

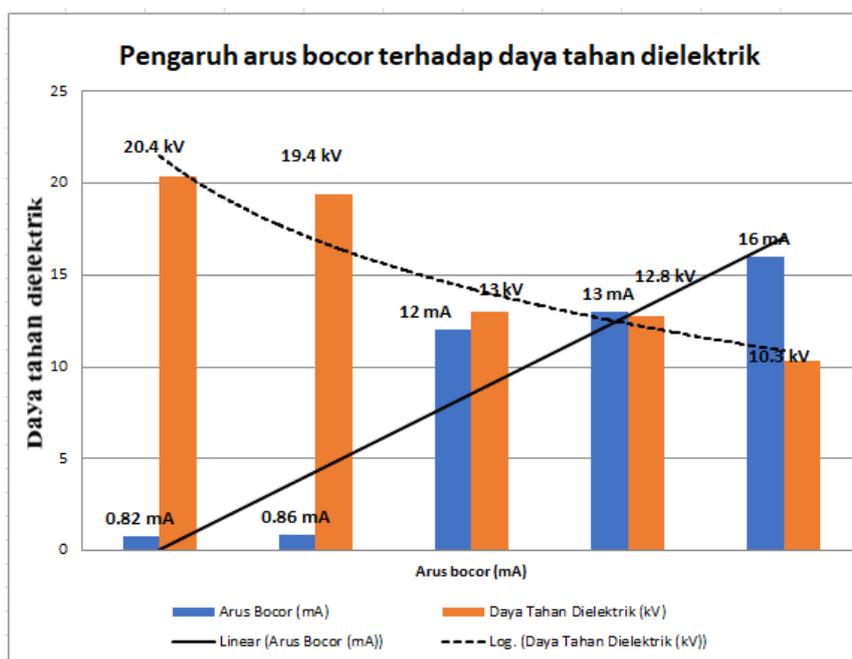
Analisa Pengaruh Arus Bocor Terhadap Daya Tahan Dielektrik Isolator

Setelah nilai daya tahan dielektrik akibat arus bocor di dapatkan melalui perhitungan Anderson dan eksperimen, analisis dapat dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh arus bocor terhadap daya tahan dielektrik hal ini dapat dicapai dengan menginterpolasi nilai arus bocor yang diperoleh dari metode Anderson dan eksperimen Berikut ini merupakan data nilai arus bocor dan daya tahan dielektrik berdasarkan hasil eksperimen dan perhitungan Anderson.

Tabel 2. Pengaruh Arus Bocor Terhadap Daya Tahan Dielektrik

Metode Perhitungan	Arus Bocor (mA)	Daya Tahan Dielektrik (kV)
Eksperimen	0.82	20.4
	0.86	19.4
Metode Anderson	12	13.8
	13	12.8
	16	10.3
	13	12.8

Berdasarkan tabel diatas, perbedaan nilai arus bocor antara eksperimen dengan hasil perhitungan Anderson yang cukup signifikan bisa terjadi karena disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya dalam metode Anderson didasarkan pada model matematis dengan memperhatikan beberapa variabel tambahan seperti nilai ESDD, NSDD dan resistansi tahanan (R_t), yang mana variabel tersebut sangat mempengaruhi hasil akhir perhitungan, sementara dalam pengujian arus bocor eksperimen, nilai arus bocor yang dihasilkan adalah hasil pengukuran langsung pada isolator uji dalam kondisi lingkungan tertentu tanpa memperhitungkan secara detail faktor tambahan lainnya seperti dalam metode Anderson. Perhitungan Anderson berfokus pada teori dengan mempertimbangkan faktor tambahan seperti ESDD, NSDD dan resistansi tahanan (R_t). Dalam eksperimen, hasil langsung pada isolator uji dengan kondisi lingkungan yang sesungguhnya. Perbedaan hasil ini wajar terjadi karena pendekatan ideal dalam metode Anderson tidak selalu mencerminkan kondisi eksperimen. Jika dilihat dari keakuratan terhadap kondisi nyata eksperimen lebih valid karena dilakukan dalam kondisi sesungguhnya tanpa asumsi tambahan.



Gambar 3. Grafik Pengaruh Arus Bocor Terhadap Daya Tahan Dielektrik

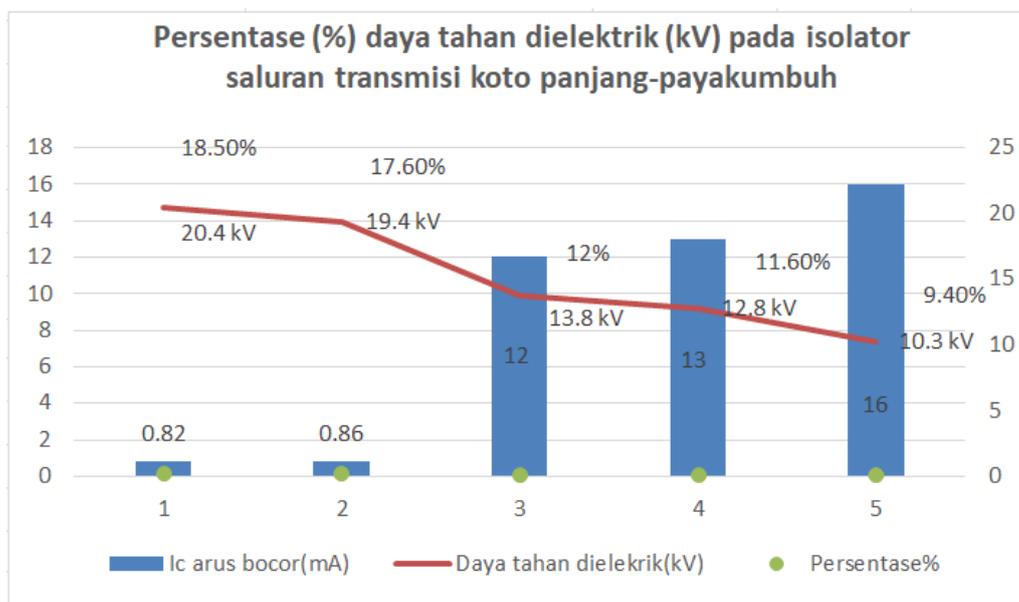
Dapat dilihat dari gambar 3. hubungan antara pengaruh arus bocor terhadap daya tahan dielektrik pada isolator lumut. Grafik menunjukkan penurunan daya tahan dielektrik seiring dengan peningkatan arus bocor hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan semakin besar arus bocor yang terjadi maka daya tahan dielektrik dari isolator menurun. Ketika nilai arus bocor 0.82 mA maka daya tahan dielektrik sebesar 20.4 kV ini menunjukkan bahwa arus bocor memberikan pengaruh terhadap daya tahan dielektrik sekitar 18.50% dari batas BIL isolator. Pada rentang arus bocor yang rendah yaitu 0.82 mA dan 0.86 mA dengan daya tahan dielektrik 19.4kV dengan persentase penurunan 17.60% dari batas standar BIL isolator. Daya tahan dielektrik masih tinggi ini menunjukkan bahwa kondisi normal atau hampir normal isolator memiliki kemampuan yang cukup baik untuk menahan tegangan seiring dengan peningkatan arus bocor yang terjadi. Seiring peningkatan arus bocor pada titik kritis yaitu sebesar 12 mA dengan daya tahan dielektrik yaitu 13,8kV dengan persentase penurunan 12% dari standar BIL. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat arus bocor ini, isolator telah mengalami kerusakan yang cukup signifikan sehingga kemampuannya untuk menahan tegangan menurun.

Peningkatan arus bocor sebesar 13 mA dan daya tahan dielektrik sebesar 12.8kV, dengan persentase penurunan 11.60% dari batas standar BIL, menunjukkan daya tahan dielektrik setelah titik kritis. Arus bocor ini mempengaruhi kinerja isolator dengan penurunan yang signifikan dalam daya tahan dielektrik. Yang terakhir peningkatan arus bocor sebesar 16 mA dengan daya tahan dielektrik sebesar 10.3 kV dengan persentase 9.40% dari standar BIL menunjukkan bahwa isolator telah rusak secara signifikan dan tidak dapat beroperasi dengan baik sehingga pemeliharaan berkelanjutan perlu dilakukan. Secara umum, diketahui bahwa tingkat arus bocor yang terjadi terkait dengan penurunan daya tahan dielektrik isolator, ini disebabkan oleh kontaminan yang tinggi pada permukaan isolator yang membuat daya tahan dielektrik isolator menurun dimana seharusnya daya tahan dielektrik dari Isolator berada pada standar BIL (Level Insulated Basic) 110 kV, tetapi penurunan dielektrik yang disebabkan oleh arus bocor terjadi di bawah 110 kV seperti yang ditunjukkan pada table persentase penurunan di bawah ini:

Tabel 3. Persentase Penurunan Daya Tahan Dielektrik Isolator

BIL	Arus Bocor (mA)	Daya Tahan Dielelctrik (kV)	Persentase%	Persentase% Daya Tahan Dielektrik
110	0.82	20.4	18.5	81.5
	0.86	19.4	17.6	82.4
	12	13.8	12	88
	13	12.8	11.6	88.4
	16	10.3	9.4	90.6

Berdasarkan table di atas, menunjukkan penurunan daya tahan dielektrik isolator berdasarkan arus bocor yang diukur, seiring dengan meningkatnya arus bocor (dari 0.82 mA hingga 16 mA), daya tahan dielektrik isolator mengalami penurunan dari 20.4 kV menjadi 10.3 kV. Ini menunjukkan bahwa semakin besar arus bocor, semakin rendah kemampuan isolator dalam menahan tegangan listrik.



Gambar 4. Persentase Daya tahan Dielektrik Pada Isolator

Berdasarkan gambar 4. dapat dilihat besarnya nilai persentase penurunan daya tahan dielektrik yang diakibatkan oleh arus bocor, hal ini menunjukkan batas kemampuan daya tahan dielektrik dari isolator untuk menahan tegangan sesuai dengan batas standar BIL yang masih dapat ditahan hingga batas tertentu. Namun, seiring meningkatnya arus bocor, persentase daya tahan dielektrik isolator menurun jika dilihat dari standar IEC BIL, dengan persentase berkisar 18,50%, 17,60%, 12%, 11,60%, dan 9,40% pada titik terendah. Secara keseluruhan, terlihat jelas bahwa peningkatan arus bocor, yang disebabkan oleh kontaminan lumut yang menempel pada permukaan isolator, mengurangi daya tahan dielektrik isolator. Tegangan flashover yang lebih besar dari tegangan isolator memicu terjadinya arus bocor lebih mudah. Daya tahan dielektrik berbanding terbalik dengan arus bocor. Sehingga semakin tinggi arus bocor maka daya tahan dielektrik akan semakin menurun. Seperti pada table 4.8 ketika arus bocor sebesar 0.82 mA maka daya tahan dielektriknya yaitu 20,4 kV dan ketika arus bocor meningkat menjadi 16 mA maka daya tahan dielektriknya menurun menjadi 10,3 kV yang menunjukkan penurunan yang signifikan. Perbandingan kenaikan arus bocor tersebut disebabkan oleh adanya tingkat kontaminan yang menempel yang dapat membentuk jalur konduktif dan memungkinkan terjadinya arus bocor.

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan Metode Anderson dan hasil eksperimen yang telah dilakukan, Didapatkan peningkatan arus bocor secara konsisten mengakibatkan penurunan daya tahan dielektrik. penelitian ini menunjukkan bahwa pada isolator lumut saluran transmisi 150 kV Koto Panjang – Payakumbuh, arus bocor berdampak pada daya tahan dielektrik. Berdasarkan hasil eksperimen penurunan daya tahan dielektrik terbesar terjadi Ketika Tingkat arus bocor yang terkecil, yaitu sekitar 0,82 mA dan 0.86 mA, dengan daya tahan dielektrik sebesar 20,4 kV dan 19,4 kV. Hal ini menunjukkan bahwa isolator masih mampu menahan tegangan saat arus bocor meningkat. Namun, daya tahan dielektrik mulai menurun signifikan saat arus bocor mencapai titik kritis sekitar 12 mA, di mana terjadi penurunan dielektrik sebesar 13,8 kV, menandakan isolator mengalami kerusakan dan kemampuannya untuk menahan tegangan menurun drastis. Ketika nilai arus bocor 16 mA terjadi Penurunan daya tahan dielektrik sebesar 10,3 kV menunjukkan bahwa kerusakan akibat arus bocor berdampak

serius pada kinerja isolator. Semakin besar arus bocor, kemampuan isolator untuk menahan tegangan semakin menurun. Berdasarkan standar IEC untuk BIL isolator, penurunan mencapai 18,3% hingga 10,3% pada titik terendah, menunjukkan risiko kegagalan isolator yang meningkat sehingga diperlukan pemeliharaan berkelanjutan. Dengan kata lain, peningkatan arus bocor mengakibatkan penurunan daya tahan dielektrik isolator, sehingga meningkatkan risiko gangguan pada sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Agung, W. et al. (2022) 'Polimer Silicone Rubber', *Jurnal EKSITASI*, 1(2), p. 2022.
- Ahmad, R. (2015) 'Penentuan Ketentuan Kelayakan Arus Bocor Lightning Arrester Di Gardu Induk 150 Kv Cepu', *Paper Knowledge . Toward A Media History Of Documents*, 3(April), Pp. 49–58.
- Ambabunga, Y.M. and Masiku, H. (2023) 'Analisis Kerusakan isolator Saluran Transmisi Tegangan Tinggi Akibat Pengaruh Polutan (Kondisi Kering Dan Basah)', *Journal Dynamic Saint*, 6(2), pp. 7–12. Available at: <https://doi.org/10.47178/dynamicsaint.v6i2.1369>.
- Aprianto, A., Syakur, A. and Yuningtyastuti (2012) 'Pengaruh Kelembaban dan Suhu Terhadap Karakteristik Arus Bocor pada Isolator Bahan Resin Epoksi dengan Pengisi Bahan Pasir Silika', pp. 1–12.
- Arif, kasman deti (2021) 'Tesis Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister Program Studi Adminstrasi Rumah Sakit Disusun dan diajukan oleh ':
- Armansyah (2021) 'Analisa Pengaruh Endapan Polutan Garam Pada Isolator Terhadap Arus Bocor', *Journal of Electrical Technology*, 6(2), pp. 76–84. Available at: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/4391%0Ahttps://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/download/4391/3167>.
- Cheng, J., Wang, L. and Xiong, Y. (2018) 'Modified cuckoo search algorithm and the prediction of flashover voltage of insulators', *Neural Computing and Applications*, 30(2), pp. 355–370. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00521-017-3179-1>.
- Fauzan, N.H. et al. (2023) 'Study of the Effect of Humidity and Pollutants on the Performance of 20 kV Arrester Isolators', 12(2), pp. 151–157.
- Fauziah, D., Waluyo, W. and Khaidir, I.M. (2020) 'Studi Pola Arus Bocor Isolator Keramik Selama Waktu Pemakaian 24 Jam', *Jurnal Rekayasa Hijau*, 3(3), pp. 233–239. Available at: <https://doi.org/10.26760/jrh.v3i3.3433>.
- Hani, S. (2016) 'Pengujian Tegangan Tembus Pada Isolasi Rubber Dalam Rendaman Minyak', *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 9(1), pp. 73–80.
- Harinata, I.M.D., Ilham, J. and Yusuf, T.I. (2019) 'Karakteristik Tegangan Tembus Isolasi Cair dan Isolasi Udara pada Beberapa Perubahan Suhu dan Diameter Elektroda', *Jurnal Teknik*, 17(1), pp. 1–18. Available at: <https://doi.org/10.37031/jt.v17i1.39>.
- Hartono, J. et al. (2018) 'Air Pollution Influences on 150 kV Transmission Insulators Performance', 2018 2nd Borneo International Conference on Applied Mathematics and Engineering, BICAME 2018, pp. 207–212. Available at: <https://doi.org/10.1109/BICAME45512.2018.1570505929>.
- Lumeno, F., Patras, L. and Lisi, F. (2016) 'Pengukuran Indeks Polusi Pada Sistem', *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*, 5(2), pp. 50–58.
- Muhammad Suyanto (2014) 'Pengujian Isolator Pin-Post 20KV Terkontaminasi Garam Mengakibatkan Arus Bocor Flashover Pada Permukaan Isolator', *Snast*, (November), pp. 211–216.

- Negara, I.M.Y. et al. (2021) 'Effect of seawater and fly ash contaminants on insulator surfaces made of polymer based on finite element method', *Energies*, 14(24). Available at: <https://doi.org/10.3390/en14248581>.
- Permatasari, A.Y. (2023) 'BAB II Tinjauan Pustaka BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1. 1-64', *Gastronomía ecuatoriana y turismo local.*, 1(69), pp. 5-24.
- Prasetyo, M.T. (2014) 'Sebagai Material Pengisi Bahan Isolasi Resin Epoksi Untuk Isolator Listrik', *Media ElektriKA*, 7(2), pp. 1-14.
- Rajagukguk, M. (2011) 'Analisis Karakteristik Flashover Dan Arus Bocor Pada Isolator Porselin Yang Dipengaruhi Polutan Lumut Bryum SP', *Jurnal ELKHA*, 3(2), pp. 35-38.
- Rasyid, A. and Murdiya, F. (2017) 'Karakteristik Tegangan Tembus Ac Pada Material Isolasi Padat Campuran Resin Dengan Alumina (Al₂O₃)', *Journal of Chemical Information and Modeling*, 4(2), pp. 1-6.
- Setiawan, A., Ridzki, I. and Surya, P. (2020) 'Pengaruh tegangan kerja terhadap spektrum frekuensi gelombang arus bocor pada isolator keramik', *Jurnal Eltek*, 18(2), p. 59. Available at: <https://doi.org/10.33795/eltek.v18i2.255>.
- Sri Kurniati, Sudirman Syam, N. (2022) 'Analisis Sifat Kimiawi Dan Tingkat Polutan Saluran Transmisi', *Seminar Nasional Kimia (SENAKI) XV 2019*, 4(November 2021), pp. 23-24.
- Tambi et al. (2023) 'Mekanisme Respon Arus Bocor Isolator Luar Ruangan Di Bawah Pengaruh Iklim Tropis', *Jurnal Fokus Elektroda*, 8(2), pp. 134-140.
- Warmi, Y. and Azzahra, magvira apriliana (2022) 'investigasi eksperimental kekuatan dielektrik isolator pada saluran transmisi 150 kv koto panjang payakumbuh', pp. 539-545.
- Warmi, Y. And Febrian, K. (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), P. 249. Available At: <https://doi.org/10.26760/Elkomika.V9i2.249>.
- Warmi, Y. and Ismail, F. (2018) 'Perbaikan Desain Proteksi Petir Saluran Transmisi 150 kV Payakumbuh - Koto Panjang', *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 7(1), pp. 1-6. Available at: <https://doi.org/10.21063/jte.2018.3133701>.
- Warmi, Y. and Michishita, K. (2016) 'Investigation of lightning tripouts on 150-kV transmission lines in West Sumatra in Indonesia', *IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 11(5), pp. 671-673. Available at: <https://doi.org/10.1002/tee.22286>.
- Warmi, Y. and Viyoldi, T.O. (2019) 'Analisa Pengaruh Panjang Gap Arcing Horn Terhadap Jumlah Trip-out Pada Saluran Transmisi 150 kV Payakumbuh - Koto Panjang', 8(2), pp. 82-86.
- Warmi, Y. et al. (2022) 'Experimental Investigation of Insulator Dielectric Strength of Transmission Tower in Rocky Areas', *Res Militaris*, 12(1), pp. 2-8.
- Warmi, Yusreni Fauzan, M. et al. (2022) 'Investigasi Flashover Pada Saluran Transmisi 150 kV Payakumbuh - Koto Panjang', *Sinarint*, pp. 177-184.
- Werneck, M.M. et al. (2022) 'Optical Sensor for Monitoring Leakage Current and Weather Conditions in a 500-kV Transmission Line', *Sensors*, 22(13). Available at: <https://doi.org/10.3390/s22135034>.
- Yandri, V.R. and Nurhatsiyah (2012) 'Fenomena Flashover Akibat Arus Bocor Pada Isolator Keramik Dan Resin Epoksi', *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 1(2), pp. 1-6.
- Yanti, F.R. (2022) 'Analisa Pengaruh Kontaminan Isolator Terhadap Jumlah Flashover pada Saluran Transmisi 150 kV Koto Panjang-Payakumbuh', *Prosiding Sains Nasional dan Teknologi*, 12(1), p. 559. Available at: <https://doi.org/10.36499/psnst.v12i1.7212>.
-