

Peningkatan Faktor Penuaan Arester Tanpa Sela Isolasi Polymer Akibat Kontaminan Kalsium Karbonat

Novizon*, Nofriadi, Dano Yustasia

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

*Corresponding author, e-mail: novizon@eng.unand.ac.id

Abstrak—Arus bocor arester tanpa sela dapat digunakan sebagai indikator untuk menentukan tingkat penuaan arester. Arus bocor dipengaruhi oleh kontaminan yang ada pada isolasi arester. Paper ini menganalisa pengaruh kontaminasi terhadap arus bocor arester sebagai indikator penuaan arester. Kontaminan yang digunakan adalah kalsium karbonat di tambah kaolin yang di larutkan kedalam air, untuk menentukan tingkat kontaminan kalsium karbonat maka digunakan metode ESDD (*Equivalent Salt Deposit Density*). Arestor yang sudah berkontaminasi diukur arus bocor yang mengalir pada elemen blok dan pada isolasi arester. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, kenaikan arus bocor arester pada elemen blok bahwa kenaikan arus bocor untuk tingkat kontaminasi ringan, sedang dan berat naik rata-rata 17.5 % untuk semua tegangan uji. Sementara pada kontaminasi rendah dan sedang arus bocor yang terjadi pada isolasi polimer arester tidak signifikan berubahannya, Arus bocor yang dihasilkan linier dengan tingkat kontaminan pada badan arester. Secara jelas dapat disimpulkan bahwa pengaruh kontaminasi sangat signifikan dalam perubahan arus bocor.

Kata Kunci : Arestor tanpa sela, Arus bocor, Kontaminasi, Penuaan,

Abstract—Gapless arester leakage current can be used as an indicator to determine the aging level of the arester. Leakage current is influenced by contaminants present in the arester insulation. This paper analyzes the effect of contamination on arester leakage currents as an indicator of arester aging. Contaminants used are calcium carbonate plus kaolin dissolved into water, to determine the level of calcium carbonate contaminants, the ESDD (*Equivalent Salt Deposit Density*) method is used. Contaminated aresters are measured as leakage currents flowing to the block elements and to the arester insulation. Based on experiments that have been carried out, the increase in leakage current of the arester on the block element that increases the leakage current to the level of light, medium and heavy contamination rises by an average of 17.5% for the voltage of all test voltages. While at low and moderate contamination the leakage current that occurs in the polymer arester insulation does not significantly change, the leakage current generated is linear with the level of contaminants in the arester body. It can clearly be concluded that the effect of contamination is very significant in changes in leakage currents.

Keywords : Gapless arester, Leakage current, Contamination, Aging,

1. Pendahuluan

Tegangan lebih dari awan ke tanah adalah suatu peristiwa alam yang tidak terdeteksi kapan dan dimana terjadinya. Hal ini merupakan ancaman bagi sistem tenaga atau bangunan diatas tanah [1].

Dengan posisi yang terletak di jalur khatulistiwa maka Indonesia merupakan negara beriklim tropis. Curah hujan yang tinggi merupakan ciri-ciri negara beriklim tropis seperti Indonesia dengan hari Guruh sebesar 200 hari guruh/tahun. Curah hujan yang tinggi berdampak pada jumlah hari guruh pertahun yaitu 200 hari guruh per tahunnya. Secara statistik angka ini jauh lebih besar dari pada beberapa negara di dunia seperti

Amerika Serikat 100, Afrika dan Brasil masing-masing 60 dan 40 hari guruh/tahun [2]. Dengan demikian hari guruh kerapatan petir di Indonesia dapat mencapai 10 sambaran/km²/tahun [3].

Tanpa peralatan pelindung dari sambaran petir maka sistem tenaga listrik sangat dan mudah terkena sambaran petir. Sistem perlindungan petir sangat dibutuhkan di daerah dengan kerapatan petir yang tinggi. Untuk perlindungan petir umumnya digunakan adalah arester. Arestor akan bekerja bila ada tegangan lebih hingga mencapai batas aman peralatan tersebut Tingkat ketahanan Isolasi (*BIL*). Pada keadaan normal tanpa gangguan arester bersifat sebagai isolator. Walaupun pada keadaan

Received date 2019-12-05, Revised date 2020-06-08, Accepted date 2020-06-13

<https://doi.org/10.25077/jnte.v9n2.733.2020>

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

normal arester bersifat isolator tetapi arus bocor tetap mengalir dalam orde mikroamper.

Untuk menentukan tingkat penuaan atau degradasi arester maka arus bocor dapat digunakan [4-6]. Arus bocor yang terjadi pada arester merupakan gabungan dari arus bocor dalam akibat elemen blok arester dan arus bocor luar akibat pengotoran dari isolasi arester. Arus bocor dalam (internal) adalah arus bocor akibat dari penuaan elemen arester dan arus bocor eksternal adalah arus bocor akibat kontaminasi yang terjadi pada badan arester. Pada keadaan bersih (tanpa kontaminasi) hanya ada arus bocor internal yang mengalir ke tanah, inilah yang mengakibatkan penuaan pada elemen arester. Jika ada kontaminasi pada bodi arester, maka arus bocor adalah kontribusi dari arus bocor akibat penuaan elemen arester dan akibat kontaminasi [7]. Untuk mengetahui seberapa banyak pengaruh arus bocor eksternal terhadap penuaan arester maka kedua arus bocor ini perlu dipisahkan.

Pengaruh kalium karbonat terhadap pengotoran isolasi arester dan hubungan dengan arus bocor dijelaskan secara rinci pada jurnal ini. Arus bocor pada arester terdiri dari arus bocor dalam blok arester dan arus bocor yang terjadi di luar yaitu pada isolasi atau bodi arester itu sendiri. Untuk mengetahui pengaruh kontaminasi pada isolasi arester maka pengukuran arus bocor dilakukan di kedua sumber arus bocor tersebut.

2. Arestor Tanpa Sela

Arestor tanpa sela yaitu jenis arester dengan material non linearnya dominan berupa material Zinc Oxide. Arestor jenis ini adalah jenis tanpa sela sehingga yang berperan menahan arus pada keadaan normal adalah tahanan dari elemen blok arester itu sendiri [8]. Tahanan arester ini akan menjadi sangat kecil ketika terjadi tegangan lebih akibat sambaran petir atau suja hubung. Pada saat itu arester berperan sebagai konduktor yang mengalirkan arus lebih ke tanah. Dan apabila gangguan tegangan lebih berakhir maka fungsi arester akan kembali seperti semula [9].

Kelebihan arester tanpa sela ini bahwa respon yang sangat cepat ketika tegangan lebih terjadi sehingga pembuangan arus lebih ke tanah dapat diatasi secepatnya. Kelemahan arester tanpa sela sangat tergantung pada material dalam arester tersebut. Tahanan dalam arester blok dan arus bocor mempengaruhi suhu pada arester tersebut. Selain dari itu pengotoran pada isolasi arester juga mempengaruhi kinerja dari arester.

3. Isolasi Polymer

Untuk isolasi digunakan material polymeric seperti dalam Gambar 1. Material polymeric adalah senyawa non logam yang terbuat dari material organik. Bahan bukan logam mempunyai sifat afinitas yang membagi elektron dengan membentuk ikatan kovalen. Ikatan kovalen adalah ikatan antara gabungan dua atau lebih atom yang sama atau berbeda untuk membentuk molekul yang besar atau makro.



Gambar 1. ZnO arester dengan isolasi polimer

Material kontaminasi mempunyai massa jenis. Parameter ini menentukan bobot dari material itu sendiri. Massa jenis kecil dalam volume yang sama jauh lebih ringan dari material dengan massa jenis tinggi. Polimer merupakan material dengan massa jenis yang kecil sehingga berat polimer lebih ringan dari pada berat material logam. Sifat ini menjadi ciri khas dari material polimer disamping itu juga mempunyai sifat menolak air atau lebih dikenal dengan sifat hydrophobicity atau sifat menolak air (*water repellent*) [10].

4. Kontaminasi

Pengotoran atau kontaminasi di isolasi arester dapat terjadi yang dapat mengakibatkan kenaikan kebocoran arus pada isolasi arester tersebut. Hal ini disebabkan oleh material yang menempel pada lapisan isolasi dan dapat membentuk jalur jalan bagi arus menuju ke tanah. Semakin besar arus yang mengalir maka bisa dikatakan tahanan isolasi tersebut berkurang. Arus ini akan bertambah sebanding dengan kelembaban yang terjadi. Jika hal ini tidak diatasi, maka jalur jalan arus pada permukaan isolasi semakin terbentuk dan nilai konduktivitasnya semakin tinggi [11].

Sifat konduktor dari kontaminasi dapat mengalirkan arus listrik ke tanah melalui konduktor pentanahan. Sifat konduktif ini disebabkan oleh kandungan beberapa zat yang bersifat garam seperti natrium klorida (NaCl),

magnesium klorida ($MgCl_2$), kalsium karbonat ($CaCO_3$), dan natrium sulfat (Na_2SO_4). Larutan garam ini dapat terurai secara mudah dan bisa mengakibatkan tahanan permukaan pada isolasi polimer berubah karena lapisan ini akan membentuk suatu endapan konduktif pada permukaan arester. Lapisan garam yang tidak mudah larut akan mempengaruhi tahanan permukaan lebih kecil dibandingkan dengan lapisan garam yang mudah larut. Beberapa komponen konduktif pada daerah industri dapat larut membentuk larutan asam yang bersifat konduktif, seperti gas SO_2 , yang dapat membentuk H_2SO_4 . Tabel 1 adalah pengaruh area terhadap nilai ESDD menurut standar IEC. 815

Tabel 1 Pengaruh area terhadap nilai ESDD menurut standar IEC 815.

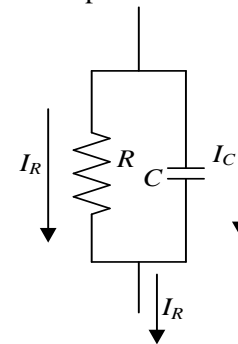
Tingkat Polusi	Area Daerah	ESDD (mg/cm^2)
Kurang	<ul style="list-style-type: none"> - Daerah industri dan pemukiman penduduk dengan tempat pembakaran rendah. - Daerah pertanian, pupuk dapat meningkatkan polusi dan pegunungan. - Daerah dengan jarak kurang lebih 10 km dari laut - Daerah dengan ketinggian antara 10 sampai 20 km dari laut tanpa angin secara langsung. 	0.03 - 0.06
Menengah	<ul style="list-style-type: none"> - Daerah industri tanpa polusi gas. - Daerah dan kawasan industri kepadatan tinggi dengan angin . - Daerah yang berjarak kira-kira tidak terlalu jauh dari pantai. 	0.06 - 0.1
Lebih	<ul style="list-style-type: none"> - Daerah dekat dengan laut dan berangin - Daerah industri dan perkotaan dengan tingkat pembakaran tinggi - Daerah padang pasir tanpa hujan yang berlangsung lama 	> 0.1

5. Arus Bocor

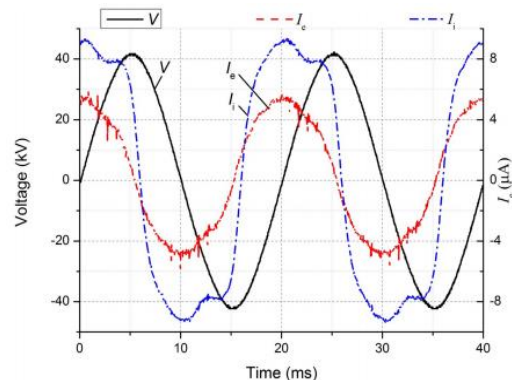
Apabila tegangan yang harus ditahan sebuah arester melebihi dari kemampuan arester maka akan terjadi aliran arus yang disebut dengan arus

bocor. Timbul arus bocor diawali oleh lapisan konduktif pada permukaan badan arester [12]. Lapisan konduktif terbentuk akibat adanya senyawa garam dan bahan tak larut diudara terutama di daerah pantai, akan terbawa angin dan menempel pada permukaan badan arester.

Pada keadaan bersih, permukaan arester memiliki tahanan listrik yang besar [13]. Pembentukan lapisan konduktif disebabkan karena kontaminasi pada permukaan badan arester sehingga menyebabkan penurunan nilai tahanan pada permukaan arester. Penurunan ini menyebabkan terjadi arus bocor pada permukaan arester. Representasi model sederhana arus bocor arester dapat dilihat pada Gambar 2.

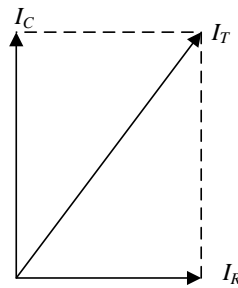


Gambar 2 Pemodelan arus bocor total, resistif dan kapasitif [4].



Gambar 3 Arus total dan kapasitif dari arus bocor arester [4].

Arus kapasitor (I_C) dan arus tahanan (I_R) berbanding lurus terhadap nilai komponen R dan C tersebut [14]. Komponen resistif dari arus bocor tersebut bertanggung jawab terhadap tingkat puaan dari arester blok [15]. Bentuk gelombang arus dapat dilihat Gambar 3.



Gambar 4 Diagram vektor dari I_T , I_R dan I_C

Fungsi arus dan waktu dari arester blok tersebut dapat dilihat pada persamaan dibawah ini. Sementara I_T , I_R dan I_C bisa ditulis sebagai berikut: [6].

$$I_T(t) = I_R(t) + I_C(t) \quad (1)$$

sementara

$$I_R(t) = I_T(t) - I_C(t) \quad (2)$$

Dengan keterangan :

$I_T(t)$ = Arus bocor total arester

$I_R(t)$ = Arus bocor komponen resistif arester

$I_C(t)$ = Arus bocor komponen kapasitif arester

Komponen arus resistif dapat diperoleh dengan mengurangi komponen arus kapasitif dari total kebocoran arus [16]. Seperti yang digambarkan pada vektor diagram pada Gambar 4.

6. Metodologi

Dalam penelitian ini keseluruhan proses yang dilakukan dijelaskan dengan gambar berupa diagram alir penelitian agar mudah di pahami. Selanjutnya setiap proses yang ditampilkan dalam diagram alir tersebut dijelaskan satu persatu.

Gambar 5 menampilkan diagram alir dari alur penelitian yang akan dilakukan pada penelitian ini. Diagram alir penelitian ini pat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini. Secara singkat dapat dijelaskan bahwa sebelum arester diuji dengan memberikan tegangan tinggi sesuai dengan skenario percobaan, maka arester diberi kontaminasi terlebih dahulu sesuai dengan tingkat pengotoran.

Tingkat kontaminasi atau pengotoran dibuat secara manual dengan mencampurkan beberapa unsur-unsur kimia. Campuran dibuat sedemikian rupa dengan kadar dan proses yang sesuai sehingga diperoleh larutan yang dapat digunakan sebagai larutan pengotoran.

Untuk jenis kontaminasi ringan dibuat dengan cara mencampur 40 gr Kaolin dan 100 gr Kalium karbonat (CaCO_3) dengan 6 liter air bersih. Agar kontaminan dapa menempel pada bodi arester maka arester direndam kedalam larutan polutan tersebut dan dibiarkan selama 10 menit. Setelah itu arester diangkat kemudian dikeringkan selama \pm 24 jam dalam suatu ruangan untuk pengeringan.

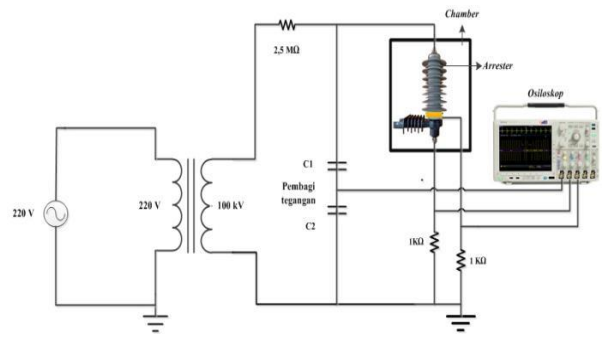
Untuk tingkat pengotoran sedang 6 liter air dicampur dengan 40gr kaolin dan 500gr CaCO_3 . Agar kontaminan dapa menempel pada bodi arester maka arester direndam kedalam larutan polutan tersebut dan dibiarkan selama 10 menit. Setelah itu arester diangkat kemudian dikeringkan selama \pm 24 jam dalam suatu ruangan untuk pengeringan.

Kemudian untuk jenis pengotoran lebih berat dibuat dengan cara menambahkan 40gr Kaolin dan 900gr Kalsium karbonat ke dalam 6 liter air. Untuk menempelkan kontamina pada bodi arester sama seperti proese sebelumnya yaitu dengan proses yang sama dicelupkan kedalam polutan dan dibiarkan selama 10 menit kemudian dikeringkan selama \pm 24 jam dalam suatu ruangan.



Gambar 5 Digram alir penelitian

Rangkaian percobaan untuk menentukan arus bocor arester dapat dilihat pada Gambar 6. Arestor dihubungkan dengan rangkaian pembangkitan tegangan tinggi bolak balik. Tegangan yang diinputkan ke arester diukur menggunakan pembagi kapasitor dan hasilnya di lihat pada channel 1 osiloskop dan arus bocor diperoleh dengan menempatkan tahanan sebesar $1k\Omega$ pada kedua terminal pentanahan arester. Arus bocor dari arester blok ditampilkan pada channel 2 dan arus bocor dari isolasi polimer pada channel 3 osiloskop.



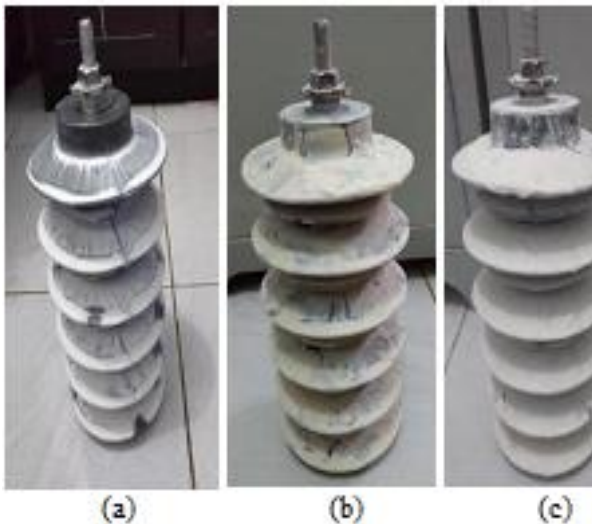
Gambar 6 Rangkaian percobaan

Tabel 2 Arus bocor internal dan eksternal arester isolasi polimer

Tegangan Uji (kV)	Arus bocor dalam blok (μA)			Arus bocor pada isolasi (μA)		
	Ringan	Sedang	Berat	Ringan	Sedang	Berat
14	213.3	279.9	334.7	2.2	2.6	4.5
18	289.4	354.2	423.6	2.9	3.3	6.4
20	312.2	387.9	454.8	3.4	3.6	7.5
22	379.4	420.2	489.2	3.8	4.2	8.6
24	405.7	445.3	521.7	4.6	4.8	9.8

7. Hasil Penelitian

Tingkat kontaminasi ringan, sedang, dan berat dapat dilihat pada Gambar 7 dibawah ini:



Gambar 7 Tingkat kontaminasi arester, (a) ringan (b), sedang dan (c) berat.

Gambar 7 menampilkan hasil dari proses pengotoran yang terdapat pada body arester setelah diberi kontaminasi. Gambar 7 (a) menggambarkan

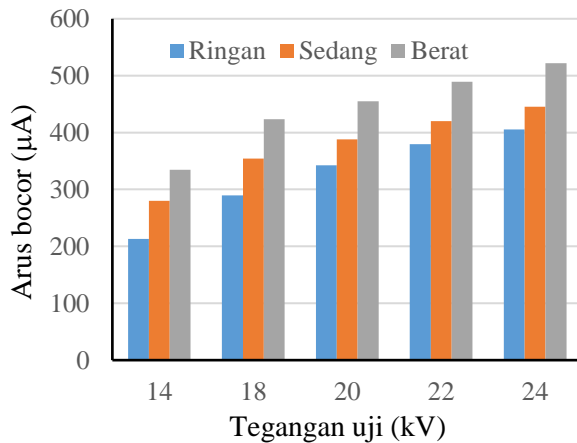
tingkat kontaminasi rendah dimana kontaminan hanya menempel pada ujung isolator. Selanjutnya gambar 7 (b) dan (c) adalah hasil dari proses pengotoran body arester untuk tingkat sedang dan berat.



Gambar 8 Pengujian polymer arester tanpa sela

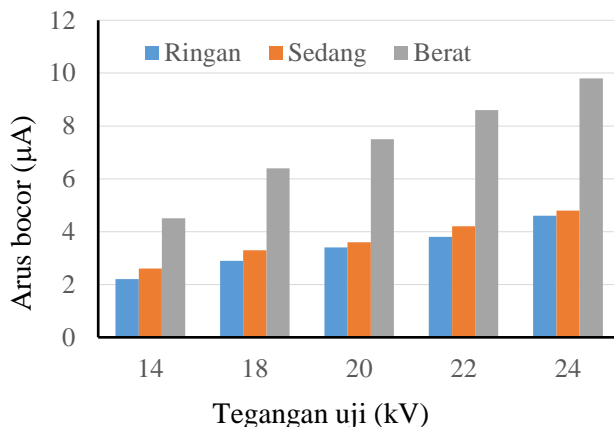
Regulator tegangan berfungsi untuk mengatur tegangan keluaran pada transformator. Trafo tegangan tinggi 100 kV ini berfungsi untuk menghasilkan tegangan tinggi yang akan

diterapkan pada arester. Sementara resistor 40 k Ω , digunakan untuk melindungi trafo dari tegangan yang cukup besar. Kapasitor digunakan sebagai penyearah dari tegangan tinggi AC ke tegangan tinggi DC dan meredam dengung dari tegangan AC. Dan untuk mengukur tegangan tinggi



Gambar 9. Diagram batang arus bocor internal

Gambar 9 dan gambar 10 adalah diagram batang arus bocor yang terjadi didalam blok dan di isolasi arester. Kondisi kontaminasi rendah, sedang dan berat diuji untuk masing masing tegangan 14, 18, 20, 22, dan 24 kV.



Gambar 10. Diagram batang arus bocor eksternal

8. Analisa

Gambar 9 adalah grafik arus bocor pada blok arester untuk kondisi kontaminasi ringan sedang dan berat. Arus bocor yang terjadi di dalam blok arester blok dipengaruhi oleh kontaminasi dari luar. Dapat dilihat pada grafik Gambar 10 bahwa kenaikan arus bocor untuk tingkat kontaminasi ringan, sedang dan berat naik rata-rata 17.5 % untuk

digunakan pembagi kapasitif dengan rasio 1:450. Sebagai sensor arus bocor digunakan resistor sebesar 1k Ω . yang dihubungkan ke osiloskop. Tabel 2 adalah hasil pengukuran arus bocor internal dan eksternal arester isolasi polimer.

tegangan semua tegangan uji. Hal ini disebabkan oleh panas yang dihasilkan akibat stress tegangan sinusoidal pada arester tidak dapat dilepas secara sempurna melalui isolasi polimer karena ditutupi oleh kontaminasi. Panas yang tidak dapat dibuang keluar tersebut akan mengakibatkan kenaikan suhu dalam blok arester sehingga arus bocor dari dalam blok arester menjadi tinggi.

Gambar 10 adalah grafik arus bocor yang terjadi pada isolasi polimer arester. Dari gambar 10 jelas terlihat bahwa kontaminasi pada isolasi polimer arester sangat mempengaruhi arus bocor yang terjadi. Antara kontaminasi rendah dan sedang arus bocor yang terjadi tidak terlalu signifikan perubahannya, tetapi pada kontaminasi berat arus bocor yang terjadi naik menjadi dua kali lipat pada tegangan uji 18 sampai dengan 24 kV. Hal ini menunjukkan bahwa kontaminasi yang terjadi pada isolasi polimer menjadi media untuk mengalirnya arus bocor ke tanah.

9. Kesimpulan

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa arus bocor yang terjadi pada arester berupa arus bocor internal dan eksternal. Pengaruh kontaminasi sangat signifikan dalam perubahan besar arus bocor eksternal dan dapat mempengaruhi perkiraan umur arester. Untuk mengetahui arus bocor yang terjadi pada elemen blok arester maka pengaruh arus bocor dari isolasi ini perlu dipisahkan. Arus bocor yang terjadi pada elemen blok arester adalah arus bocor dikurangi dengan arus bocor yang terjadi pada isolasi polimer. Dengan penelitian yang akurat dapat dinyakan persentasi kontribusi arus bocor isolasi sehingga dapat ditentukan faktor koresi dalam menentukan umur dari arester dengan mengukur arus bocor keseluruhan.

Acknowledment

Terima kasih kepada Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas yang telah membantu pembiayaan penelitian ini melalui skema hibah penelitian jurusan dengan nomor kontrak 091/UN16.09.D/PL/2019.

Daftar Pustaka

- [1]. T. Gunawan, Pandiangan, L. N. L, "Analisis Tingkat Kerawanan Bahaya Sambaran Petir dengan Metode Simple Additive Weighting," 2014
- [2]. H. T. R.D. Purianto, dan Widiastuti, A.N, "Perbandingan Tegangan Residu Arester SiC dan ZnO Terhadap Variasi Front Time," vol. 2.0, p. 8, 2016.
- [3]. L. A. I.E Wibowo, dan M. T. Prasetyo, "Evaluasi Perlindungan Gardu Induk 150 kV Pandean Lamper di Trafo III 60 MVA Terhadap Gangguan Surja Petir," 2012.
- [4]. N. P. Gesang, T.Haryono, dan Suharyanto, "Karakteristik Tegangan Arus Arester Bocor SiC Pada Suhu dan Kelembaban Berbeda," 2014.
- [5]. D. I. S. d. S. Handoko, "Pemakaian dan Pemeliharaan Arester Pada Gardu Induk 150 kV Srandol PT. Pln (Persero) P3B JB Region Jawa Tengah dan DIY UPT Semarang," 2012.
- [6]. Novizon. Z. Abdul-Malek, dan Aulia,, "A New Method to Extract the Resistive Component of the Metal Oxide Surge Arester Leakage Current," 2008.
- [7]. Y.D. Dhimas, "Pengaruh Penambahan CuO Terhadap Karakteristik Elektrik Pada Keramik Varistor ZnO Dengan Suhu Penyinteran 13000 C," 2010.
- [8]. Z.A.-Malek, Novizon, Nouruddeen Bashir, dan Aulia, "Condition Monitoring of Zinc Oxide Surge Arresters," 2011.
- [9]. A. Syakur, "Pengaruh Kelembaban dan Suhu Terhadap Karakteristik Arus Bocor Pada Isolator Bahan Resin Epoksi dengan Pengisi Bahan Pasir Silika," 2015.
- [10]. P. Wahyu, "Analisis Dan Upaya Pengurangan Efek Harmonisa Pada Generator Set (Genset) Dengan Penambahan Beban Non Linier," *Tugas Akhir*, 2014
- [11]. S. Asep Andang, "Unjuk Kerja Permukaan Isolator Pasangan Luar Polimer Epoxy Resin 20 kV pada Berbagai Kondisi Lingkungan," 2005.
- [12]. D. Y. T. Purba, "Pengaruh Temperatur Terhadap Tegangan Lewat Denyar AC Pada Isolator Piring Terkontaminasi Polutan," *Tugas Akhir*, vol. Teknik Elektro USU, 2016.
- [13]. Z. Abdul-Malek, N. Yusoff, and M. F. M. Novizon, "Field experience on surgearrester condition monitoring - Modified Shifted Current Method," in *45th International Universities Power Engineering Conference UPEC2010*, 2010, pp. 1-5.
- [14]. Z. Abdul-Malek, N. Yusoff, and M. F. M. Yousof, "Performance analysis of modified shifted current method for surge arrester condition monitoring," in *2010 International Conference on High Voltage Engineering and Application*, 2010, pp. 649-652.
- [15]. P. M. De Oliveira-De Jesus, "A New Method to Determine Incremental Costs of Transmission Lightning Protection Systems," *Electric Power Components and Systems*, vol. 47, pp. 1759-1774, 2019/12/14 2019.
- [16]. G. Dobric, Z. Stojanovic, and Z. Stojkovic, "MOSA monitoring using unsynchronised measurements of voltage and leakage current," in *Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MedPower 2016)*, 2016, pp. 1-5.