

Analisis Arus Bocor Resistif Pada Sistem Proteksi Lightning Arrester Bay Kedinding Di Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya

Afian Wahyu Ramadhani

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: afian.18072@mhs.unesa.ac.id

Joko, Achmad Imam Agung, Tri Wrahatnolo

S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: joko@unesa.ac.id, achmadimam@unesa.ac.id, wrahatnolo@yahoo.co.id

Abstrak

Indonesia merupakan negara tropis yang kerapatan petirnya cukup tinggi, hal ini dapat membahayakan bagi peralatan penyaluran sistem tenaga di Gardu Induk. Maka dari itu Gardu Induk membutuhkan peralatan *lightning arrester*. *Lightning arrester* yang digunakan sekarang yaitu jenis ZnO. *Arrester* jenis ZnO dapat mengalami degradasi, hal ini dapat menimbulkan arus bocor resistif. Dengan mengukur arus bocor resistif menggunakan alat ukur *leakage current monitoring* dapat menunjukkan kondisi *lightning arrester*. Tujuan dari penelitian ini adalah bagaimana perhitungan arus bocor resistif dan perhitungan kondisi *lightning arrester* dengan membandingkan hasil dengan standart PLN dan bagaimana mencari galat kondisi antara perhitungan dan pengukuran. Metode penelitian yang digunakan menggunakan metode penelitian survei dengan pendekatan kuantitatif. Berdasarkan hasil analisis arus bocor resistif pada Bay Kedinding di Gardu Induk 150kV Kenjeran Surabaya didapatkan perhitungan arus bocor resistif yang dikoreksi bernilai 26 – 46 μA nilai tersebut masih dalam standart arus bocor maksimal yang ditetapkan PLN yaitu harus di bawah 150 μA , untuk hasil kondisi perhitungan didapatkan sebesar 17 – 31 % dan masih dalam standar PLN yaitu $\leq 90\%$ sehingga ukur *leakage current monitoring* tahunan, sedangkan hasil galat kondisi antara perhitungan dan pengukuran sebesar 13%, hal ini dikarenakan adanya kesalahan pada saat menempatkan posisi field probe. Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi PT. PLN (Persero) untuk memperbaiki penempatan field probe sehingga tidak ada kesalahan nilai pada saat pengukuran arus bocor resistif *lightning arrester*.

Kata Kunci: Arus Bocor Resistif, *Lightning Arrester*, *Leakage Current Monitoring*.

Abstract

Indonesia is a tropical country with high lightning density, this can be dangerous for power system equipment in substation. So therefore substation requires lightning arrester equipment. Lightning arrester used now is type ZnO. Arrester type ZnO can be degradation, this can cause a resistive leakage current. With measuring resistive leakage current using a leakage current monitoring, can indicate condition of lightning arrester. Fokus of this research is to how calculate resistive leakage current and calculate condition of lightning arrester with comparing results with PLN standard and how to find the error between calculation and measurement. A quantitative survei research method was used in this research. Based on results of a analyze resistive leakage current at Bay Kedinding at substation 150Kv Kenjeran Surabaya obtained the calculation of resistive leakage current corrected 26 – 46 μA value is still in maximum leakage current standard which is determined by PLN that is must be below 150 μA , for calculation conditions obtained 17 – 31% and is still in the PLN standard that is $\leq 90\%$ so that measuring leakage current monitoring annual, whereas results condition error between calculation and measurement of 13%. This is because there is an error in field probe position. This study can be consulted by PT. PLN (Persero) to correct field probe placement so that there are no error values when measuring lightning arrester resistive leakage current.

Keyword: Resistive Leakage Current, *Lightning Arrester*, *Leakage Current Monitoring*.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki kerapatan petir cukup tinggi tiap tahunnya. Kerapatan petir di Indonesia mulai dari 5 sampai 15 sambaran petir per kilometer tiap tahunnya (Irsal, dkk, 2019). Dengan intensitas yang cukup tinggi itu dapat membahayakan peralatan sistem tenaga listrik terutama yang berada di lokasi Gardu Induk.

Gardu Induk ialah sebuah bagian dari sistem pembangkit listrik yang meliputi pembangkit, transmisi dan distribusi. Dalam penyaluran energi listrik perlu adanya pengamanan pada setiap komponen listrik. Oleh karena itu Gardu induk membutuhkan peralatan yang mampu melindungi dari sambaran petir, peralatan yang dapat melindungi dari gangguan petir yaitu *lightning arrester* (Irsal, dkk, 2019).

Lightning arrester ialah suatu alat pelindung bagi peralatan tenaga listrik terhadap gangguan surja petir, alat ini berfungsi melindungi peralatan tenaga listrik dengan cara pada keadaan normal, *lightning arrester* berlaku sebagai isolator dan apabila timbul tegangan lebih akan bertindak sebagai konduktor dan mengalirkan arus ke tanah. Setelah tegangan lebih hilang, maka *arrester* harus segera menjadi isolator kembali (Rusdjaja, dkk, 2014).

Lightning arrester yang digunakan sekarang yaitu jenis *Zinc Oxide (ZnO)* tanpa gap atau biasa dikenal dengan *Metal Oxide Surge Arrester (MOSA)* (Likitha, dkk, 2018). *Arrester* jenis ini dapat mengalami degradasi secara bertahap di bawah tegangan operasi, tekanan listrik atau mekanik. Hal ini menimbulkan arus bocor terutama komponen resistif *arrester* (Naiborhu, 2014).

Arus bocor resistif dapat menyebabkan panas pada elemen varistor ZnO. Varistor ZnO yang panas saat dialiri tegangan lebih akan meningkatkan arus bocor resistif dan dapat menurunkan performa kerja dari *lightning arrester* (Puspitaningtyas, dkk, 2020). Faktor yang mempengaruhi arus bocor terutama komponen resistif yaitu suhu, jika suhu semakin tinggi maka semakin besar nilai arus bocor yang terjadi pada *arrester*. Sehingga kenaikan suhu berbanding lurus dengan kenaikan arus bocor pada *arrester* (Kumar, dkk, 2018)

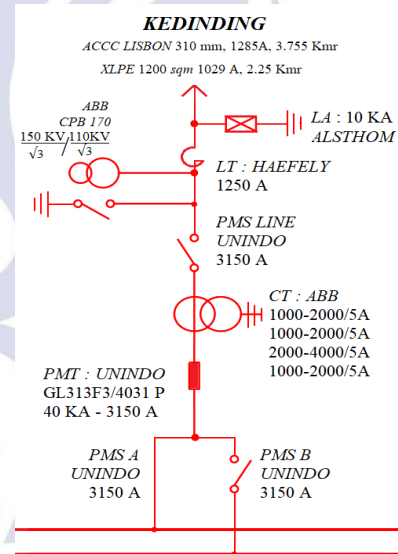
Pengukuran arus bocor resistif menggunakan alat ukur *leakage current monitoring* pada *lightning arrester* dapat digunakan untuk menunjukkan hasil kondisi dari *lightning arrester* tersebut (Latiff, dkk, 2018). Kondisi yang dimaksud ialah penuaan dari *lightning arrester* karena dapat dikaitkan dengan suhu dan tegangan (Wooi, dkk, 2013).

Berdasarkan latar belakang, maka penulis tertarik membuat permasalahan penelitian yaitu bagaimana perhitungan arus bocor resistif, perhitungan persentase arus bocor dengan membandingkan standarisasi arus bocor dan bagaimana mencari galat kondisi antara perhitungan dan pengukuran. Dari permasalahan tersebut, diperoleh tujuan penelitian yaitu mengetahui hasil perhitungan arus bocor resistif *lightning arrester*, mengetahui kondisi kelayakan *lightning arrester* dan mengetahui kesalahan pada saat proses pengukuran arus bocor resistif.

KAJIAN PUSTAKA

Pengertian fungsi *lightning arrester*

Tujuan utama dari *lightning arrester* ialah untuk meminimalisir sejauh mungkin adanya gangguan pada tenaga listrik dan memberikan perlindungan yang maksimal terhadap peralatan listrik, lingkungan dan gangguan lainnya sehingga tidak sampai menimbulkan gangguan permanen (Rusdjaja, dkk, 2014).

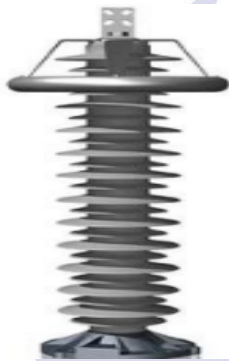


Gambar 1. Diagram Satu Garis Bay Kedinding (Sumber: Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya, 2022)

Terlihat pada Gambar 1. bahwa *arrester* yang berada pada Bay Kedinding di Gardu Induk 150KV Kenjeran Surabaya melindungi peralatan saklar pemisah (PMS), saklar pemutus tenaga (PMT), *current transformer* (CT), dan *potensial transformer* (PT). Dengan masing – masing peralatan memiliki besaran arus yang berbeda – beda, maka dibutuhkanya peralatan *lightning arrester*.

Arrester jenis Zinc Oxide (ZnO)

Arrester ini terdiri dari tabung isolasi dan elektroda yang terisolasi dimana diantara batang elektroda tersebut tidak ada gap atau tanpa celah udara dan dilengkapi oleh material sebagai tahanan nonlinier (Andriawan, 2014). Material yang dimaksud yaitu Zinc Oxide (ZnO). Dalam penerapannya, jenis arrester ZnO tanpa sela lebih baik daripada jenis arrester Silicon Carbide (SiC) karena mampu menyerap energi yang relatif stabil pada saat terjadi lonjakan gelombang (Din dan Nor, 2021). Lightning arrester jenis ZnO dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Arrester Jenis ZnO (Sumber: Rusdjaja, dkk, 2014)

Degradasi kualitas arrester Zinc Oxide (ZnO)

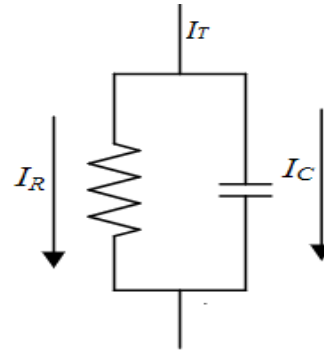
Pada arrester jenis ZnO juga dapat mengalami kegagalan dalam melindungi peralatan, Contohnya sebagai berikut.

- Pembungkus arrester yang cacat sehingga menyebabkan masuknya kelembapan.
- spesifikasi arrester yang tidak sesuai dengan tegangan actual dan nilai tahanan yang lebih.
- kelebihan beban dikarenakan tegangan lebih transien.

Apabila telah terjadi gangguan di atas maka salah satu konsekuensinya ialah meningkatnya waktu komponen resistif dari kebocoran arus kontinu yang mengalir melalui arrester. Nilai arus bocor resistif yang meningkat akan menyebabkan meningkatnya kerugian daya dan juga meningkatnya suhu pada varistor ZnO (Novizon, dkk, 2018).

Arus bocor arrester

Banyaknya arus bocor yang mengalir pada arrester dipengaruhi oleh beberapa hal seperti tegangan sistem dan adanya peningkatan suhu yang menyebabkan terjadinya degradasi pada varistor ZnO sehingga membuat tahanan arrester semakin kecil dan arus bocor bertambah besar (Khavari, dkk, 2020). Model sederhana arus bocor pada arrester dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Model Sederhana Arus Bocor (Sumber: Rusdjaja, dkk, 2014)

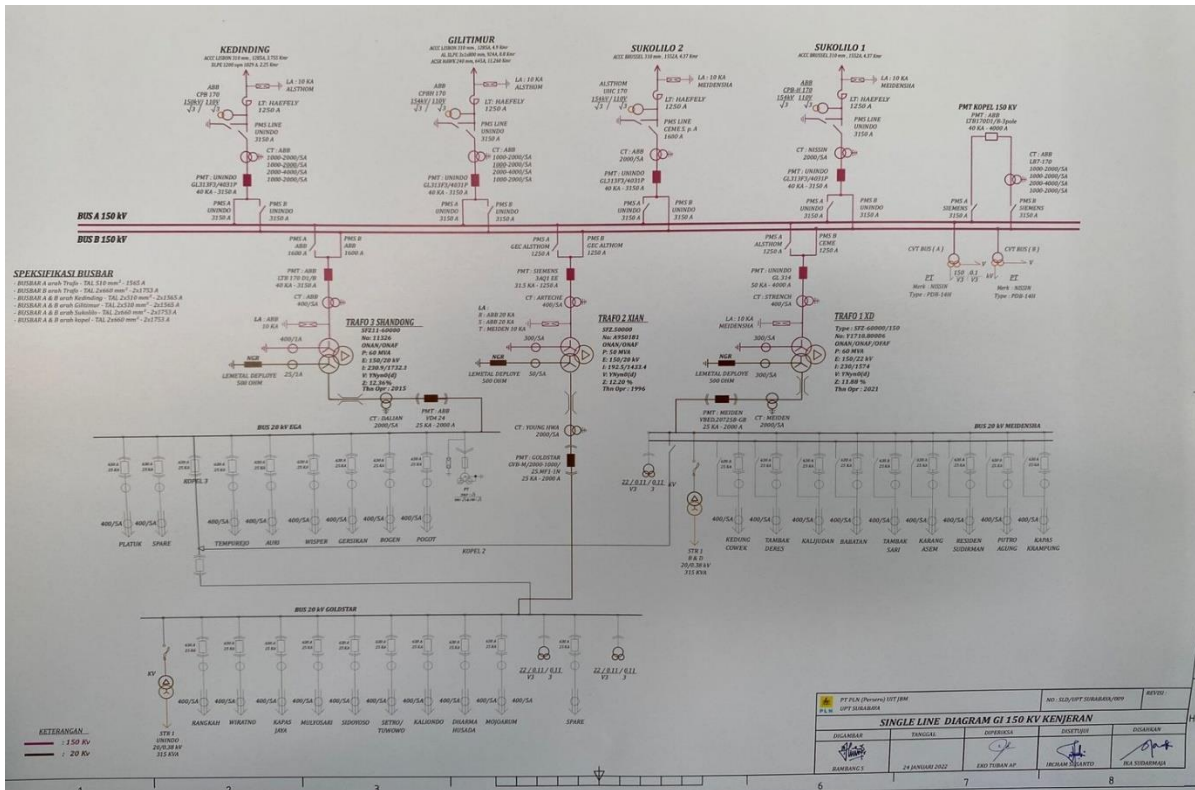
Dimana I_T ialah dari total arus bocor arrester ZnO. I_C ialah besar arus bocor komponen kapasitif yang nilainya bervariasi tergantung pada diameter varistor, jumlah blok varistor paralel, kapasitansi bocor dan tegangan operasi. Sedangkan I_R ialah arus bocor komponen resistif yang besarnya dipengaruhi oleh suhu dan tegangan operasi (Rusdjaja, dkk, 2014).

Leakage current monitoring (LCM)

Leakage current monitoring (LCM) atau biasa disebut dengan pengukuran arus bocor resistif pada lightning arrester ialah suatu alat uji yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar arus bocor resistif yang mengalir pada lightning arrester (Pramod dan Bombale, 2017). Pada pengujian ini memerlukan peralatan bantu khusus. Pengujian ini dilaksanakan setiap 1 tahun sekali dan pada saat pengujian, lightning arrester harus dalam keadaan beroperasi atau masih dialiri tegangan dan arus (Ain dan latiff, 2018). Alat leakage current monitoring ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Alat Leakage Current Monitoring (Sumber: Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya, 2022)



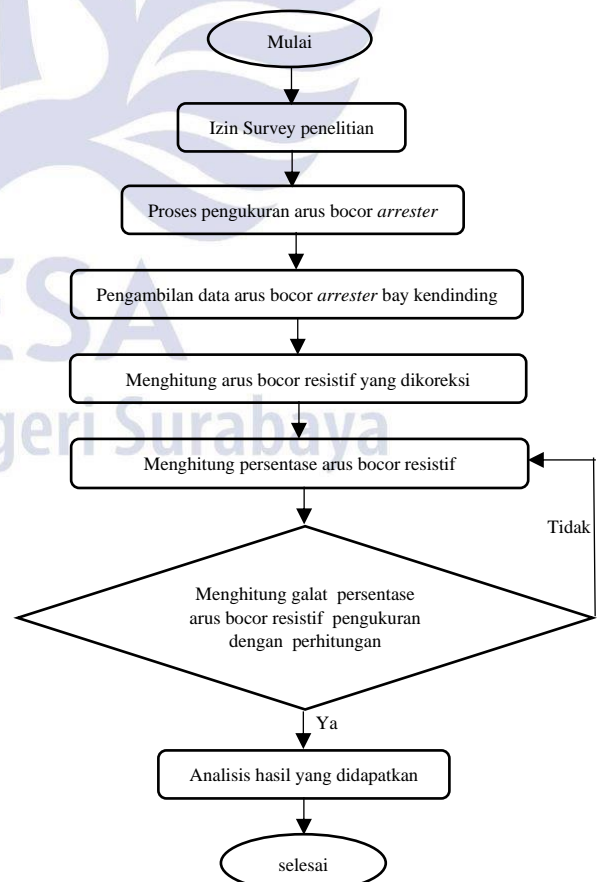
Gambar 5. Diagram Satu Garis GI Kenjeran Surabaya
(Sumber: Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya, 2022)

Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya

Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya memiliki 3 buah trafo yang masing – masing trafo memiliki kapasitas yang sama yaitu 60 MVA. Pada Gardu Induk Kenjeran memiliki 7 lightning arrester dengan merk dan tahun pembuatan yang berbeda – beda. Penempatan lightning arrester dibagi di beberapa tempat seperti di Trafo 1, 2 dan 3 kemudian di Bay Kedinding, Bay Gilitimur, Bay Sukolilo 1 dan 2. Lightning arrester yang akan dianalisis berada pada Bay Kedinding. Gambar diagram satu garis GI Kenjeran Surabaya ditunjukkan pada Gambar 5.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode survei dengan pendekatan kuantitatif. Data yang diambil yaitu data hasil pengukuran arus bocor arrester menggunakan alat ukur leakage current monitoring, mulai dari arus bocor resistif, suhu, tegangan sistem hingga tegangan rating LA setelah data didapatkan maka data tersebut dihitung rasio tegangan, suhu dan arus bocor resistif yang dikoreksi. Untuk diagram alirnya dapat dilihat pada Gambar 6.

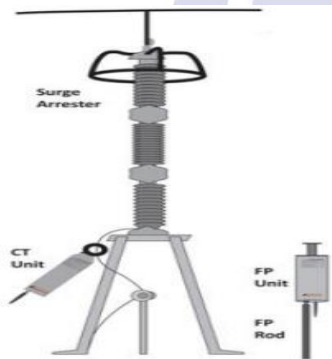


Gambar 6. Diagram Alir

Proses pengukuran arus bocor arrester

Berikut adalah langkah-langkah dalam melakukan pengukuran arus bocor (Rusdjaja, dkk, 2014).

- a. Pertama siapkan semua peralatan yang diperlukan pada saat pengukuran arus bocor resistif.
- b. Kemudian Pasang antena penerima signal. Nyalakan tang ampere dengan menekan tombol power. Tang ampere akan terhubung otomatis ke unit LCM. Tang amper kemudian dihubungkan ke earthing konduktor dari *arrester*, tepatnya di atas counter.
- c. Setelah antena terpasang. Kemudian hubungkan *field probe* (FP Unit) ke FP Rod dengan menghubungkan baut yang ada pada FP unit. Untuk FP Rod dapat di adjust ketinggiannya. Tempatkan *field probe* tepat pada dasar *arrester*. Lalu tekan tombol power, komunikasi ke unit LCM500 akan terhubung otomatis. Pemasangan alat dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pemasangan Alat (Sumber: Rusdjaja, Dkk, 2014)

Setelah alat uji dirangkai, Maka pengujian arus bocor dapat dilakukan melalui tombol yang terdapat pada bagian bawah layar LCD. Data pengujian yang telah diperoleh dapat disimpan dan langsung diprint.

Menghitung arus bocor resistif yang dikoreksi

Perhitungan dilihat dari data hasil pengukuran menggunakan alat ukur *leakage current monitoring* kemudian dilakukan perhitungan, selanjutnya hasil perhitungan dibandingkan dengan hasil pengukuran dan dievaluasi berdasarkan standar arus bocor *arrester*. Sebelum menghitung arus bocor yang ada pada data hasil pengukuran *leakage current monitoring* terlebih dahulu menghitung tegangan sistem dan rasio tegangan pada *arrester*. Untuk menghitung tegangan sistem dan rasio tegangan menggunakan rumus persamaan 1 dan 2.

$$\text{Tegangan Sistem} = \frac{\text{Tegangan sistem fasa}}{\sqrt{3}} \quad (1)$$

$$\text{Rasio Tegangan} = \frac{\text{Tegangan sistem}}{\text{Tegangan Rating Arrester}} \quad (2)$$

Setelah mendapatkan hasil rasio tegangan, kemudian hasil tersebut dikoreksi menggunakan faktor koreksi perkalian. Selanjutnya untuk menghitung nilai arus resistif yang dikoreksi, menggunakan rumus persamaan 3.

$$I_{r\text{Corr}} = I_r \times \text{FKT} \times \text{FKS} \quad (3)$$

Keterangan :

$I_{r\text{corr}}$ = Arus resistif yang telah dikompensasi oleh tegangan dan suhu (μA).

I_r = Arus resistif yang diukur (μA).

FKT = Faktor koreksi tegangan.

FKS = Faktor koreksi suhu.

Untuk mendapatkan nilai faktor koreksi rasio tegangan dan faktor koreksi suhu bisa dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Tabel Koreksi Rasio Tegangan

Rasio Tegangan U/Ur	Faktor Koreksi Perkalian	Rasio Tegangan U/Ur	Faktor Koreksi Perkalian
0,4	3,4	0,65	1,3
0,41	3,3	0,66	1,2
0,42	3,2	0,67	1,1
0,43	3,1	0,68	1,1
0,44	3	0,69	1
0,45	2,9	0,7	1
0,46	2,8	0,71	0,9
0,47	2,7	0,72	0,8
0,48	2,7	0,73	0,8
0,49	2,6	0,74	0,7
0,5	2,5	0,75	0,7
0,51	2,4	0,76	0,7
0,52	2,3	0,77	0,6
0,53	2,2	0,78	0,6
0,54	2,1	0,79	0,6
0,55	2,1	0,8	0,5
0,56	2	0,81	0,5
0,57	1,9	0,82	0,5
0,58	1,8	0,83	0,4
0,59	1,7	0,84	0,4
0,6	1,7	0,85	0,4
0,61	1,6	0,86	0,4
0,62	1,5	0,87	0,3
0,63	1,4	0,88	0,3
0,64	1,4	0,89	0,3

Tabel 2. Tabel Koreksi Suhu

Suhu (°C)	Faktor Koreksi Perkalian	Suhu (°C)	Faktor Koreksi Perkalian
0	1,4	21	0,96
1	1,37	22	0,94
2	1,35	23	0,92
3	1,33	24	0,92
4	1,33	25	0,9
5	1,3	26	0,88
6	1,28	27	0,87
7	1,26	28	0,85
8	1,24	29	0,83
9	1,22	30	0,82
10	1,2	31	0,81
11	1,17	32	0,79
12	1,15	33	0,78
13	1,13	34	0,77
14	1,12	35	0,75
15	1,1	36	0,74
16	1,08	37	0,73
17	1,06	38	0,71
18	1,04	39	0,7
19	1,02	40	0,69
20	1	41	0,69

Untuk standart arus bocor yang ditetapkan oleh PT. PLN yaitu sebesar 150 μA. Batas maksimum arus bocor bisa dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Batas Maksimum Arus Bocor

Tegangan Sistem (kV)	Arus bocor reistif maksimum (iR, μA)
70	100
150	150
500	250

Menghitung persentase arus bocor

Untuk mengetahui persentase (Kondisi) arus bocor yang terjadi pada *lightning arrester* dapat menggunakan rumus persamaan 4.

$$\text{Kondisi arrester \%} = \frac{I_r \text{ Corr}}{\text{Batasan arus bocor}} \times 100\% \quad (4)$$

Untuk mendapatkan nilai batasan arus bocor dapat dilihat pada Tabel 3. Batas maksimum arus bocor. Setelah mendapat hasil kondisi arrester dari perhitungan, ada rekomendasi yang diberikan oleh PLN untuk *arrester* yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekomendasi Hasil Ukur LCM

% dari ires max	Rekomendasi
≤ 90	Ukur LCM Tahunan
91 - 99	Ukur LCM 6 bulan kemudian
≥ 100	Penggantian LA

Menghitung galat kondisi arus bocor perhitungan dan pengukuran

Untuk menghitung perbandingan kondisi arus bocor antara pengukuran dan perhitungan maka dibutuhkan rumus persamaan 5.

$$\text{Galat} = \frac{\text{Kondisi Pengukuran} - \text{Kondisi perhitungan}}{\text{Kondisi pengukuran}} \times 100\% \quad (5)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data spesifikasi *arrester*

Lightning Arrester bay Kedinding yang akan dilakukan pengukuran arus bocor resistif memiliki spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Spesifikasi *Arrester*

Spesifikasi	
Merk	GEC ALSHTOM
TYPE	PSC 150YL
Rated Voltage	150 Kv
System Voltage	150 Kv
Rated Frequency	50/60 hz
Year Of Manufacture	1991
Serial Number	26915290

Hasil perhitungan arus bocor yang dikoreksi

Berikut hasil arus bocor resistif pada bay Kedinding melalui pengukuran *leakage current monitoring*. Hasil pengukuran arus bocor ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data Pengukuran Arus Bocor Bay Kedinding Gardu Induk 150kV Kenjeran Surabaya

Fasa	Hasil Pengujian (μA)				
	Ir (μA)	Ir Corr (μA)	It (μA)	Suhu (°C)	Harmonic (%)
R	35,0	53,90	526,4	39,0	0,5
S	19,9	30,60	546,1	39,0	0,5
T	34,7	54,20	565,5	38,0	0,4

Dari data pengukuran tersebut, hasil yang akan dihitung yaitu Ir (μA). Untuk menghitung arus bocor yang dikoreksi terlebih dahulu menggunakan rumus persamaan (1) dan (2) setelah hasil rasio tegangan didapatkan kemudian hasil tersebut dikoreksi menggunakan faktor koreksi perkalian begitu juga dengan suhu pada data pengukuran. Selanjutnya menggunakan rumus persamaan (3).

Analisis Arus Bocor Resistif Pada Sistem Proteksi Lightning Arrester Bay Kedinding Di Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya

Analisis perhitungan dilakukan menggunakan rumus persamaan (1) dan (2) kemudian faktor koreksi rasio tegangan, faktor koreksi suhu dan selanjutnya persamaan (3) pada fasa R, S dan T yaitu untuk fasa R didapatkan hasil tegangan sistem sebesar 86,6 kV, hasil rasio tegangan sebesar 0,57 faktor koreksi rasio tegangan sebesar 1,9 faktor koreksi suhu sebesar 0,7 dan hasil perhitungan arus bocor yang dikoreksi didapatkan hasil sebesar 46,55 μ A. Untuk fasa S didapatkan hasil tegangan sistem sebesar 86,6 kV, hasil rasio tegangan sebesar 0,57. faktor koreksi rasio tegangan sebesar 1,9, faktor koreksi suhu sebesar 0,7 dan hasil perhitungan arus bocor yang dikoreksi didapatkan hasil sebesar 26,46 μ A, sedangkan untuk fasa T didapatkan hasil tegangan sistem sebesar 86,6 kV, hasil rasio tegangan sebesar 0,57. faktor koreksi rasio tegangan sebesar 1,9, faktor koreksi suhu sebesar 0,71 dan hasil perhitungan arus bocor yang dikoreksi didapatkan hasil sebesar 46,81 μ A. Hasil keseluruhan perhitungan arus bocor dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Arus Bocor

Fasa	Standart	Ir corr		
		Perhitungan (μ A)	FKT	FKS
R	SKDIR	46,55	1,9	0,7
S	0520	26,46	1,9	0,7
T	150 μ A	46,81	1,9	0,71

Berdasarkan hasil perhitungan arus bocor resistif yang dikoreksi dapat disimpulkan bahwa nilai arus bocor resistif yang dihitung pada bay Kedinding masih dalam batas standart arus bocor menurut PLN yaitu kurang dari 150 μ A.

Hasil perhitungan persentase arus bocor

Setelah didapatkan hasil perhitungan arus bocor yang dikoreksi selanjutnya menghitung persentase (kondisi) Ir corr perhitungan dengan Ir corr pengukuran. Untuk menghitung persentase (kondisi) arus bocor menggunakan rumus persamaan (4).

Analisis perhitungan yang dilakukan dengan rumus persamaan (4) pada fasa R, S dan T didapatkan hasil untuk fasa R yaitu kondisi (pengukuran) sebesar 35,93% sedangkan kondisi (perhitungan) sebesar 31,03%, Untuk fasa S didapatkan hasil kondisi (pengukuran) sebesar 20,4% sedangkan kondisi (perhitungan) sebesar 17,64%, dan untuk fasa T didapatkan hasil kondisi (pengukuran) sebesar 36,13% sedangkan kondisi (perhitungan) sebesar 31,20%. Hasil

persentase pengukuran dan perhitungan arus bocor *arrester* ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Persentase Pengukuran dan Perhitungan

Fasa	Standart	Kondisi <i>arrester</i> pengukuran (%)	Kondisi <i>arrester</i> perhitungan (%)
R	SKDIR	35,93	31,03
S	0520	20,4	17,64
T	$\leq 90\%$	36,13	31,20

Dari hasil kondisi pengukuran dan perhitungan arus bocor pada *arrester* bay Kedinding di Gardu Induk Kenjeran Surabaya didapatkan bahwa semua kondisi *arrester* dalam keadaan baik, terlihat kondisi *arrester* $\leq 90\%$ dari arus resistif maksimal. Sehingga rekomendasi perlakuan yang harus dilakukan terhadap *arrester* yaitu pengujian LCM tahunan.

Hasil galat kondisi arus bocor perhitungan dan pengukuran

Setelah mendapatkan hasil persentase Ir corr perhitungan dan Ir corr pengukuran, selanjutnya menghitung galat persentase (kondisi) arus bocor antara kondisi pengukuran dan kondisi perhitungan dengan menggunakan rumus persamaan (5).

Analisis perhitungan yang dilakukan dengan rumus persamaan (5) pada fasa R, S dan T didapatkan hasil untuk fasa R sebesar 13,63%, fasa S didapatkan nilai sebesar 13,52%, sedangkan fasa T didapatkan nilai sebesar 13,64%. Hasil perhitungan galat kondisi arus bocor antara kondisi perhitungan dan pengukuran ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Galat Kondisi Perhitungan dan Pengukuran

Fasa	Galat kondisi <i>arrester</i> (%)	
	Nilai galat <i>arrester</i>	
R	13,63	
S	13,52	
T	13,64	

Dari hasil galat yang didapatkan antara pengukuran dan perhitungan sebesar 13%. Hal ini terjadi karena nilai arus resistif yang dihitung tentunya ada perbedaan dengan nilai pengukuran. Penyebabnya ialah adanya kesalahan dalam pengukuran, contohnya dalam penggunaan *field probe* yang seharusnya ditempatkan sedekat mungkin dengan basis *arrester* tanpa melebihi jarak batas aman dan dibawah *overhead line*.

PENUTUP

Simpulan

Setelah melakukan perhitungan arus bocor yang dikoreksi, perhitungan persentase (kondisi) *arrester* dengan membandingkan hasil dengan standarisasi PLN dan perhitungan galat kondisi antara pengukuran dan perhitungan didapatkan hasil.

Berdasarkan hasil perhitungan arus bocor resistif yang dikoreksi didapatkan bahwa nilai arus bocor resistif *Lightning Arrester* pada bay Kedinding di Gardu Induk Kenjeran masih dalam nilai standar PLN yaitu sebesar 150 μ A, dimana nilai perhitungan arus bocor berkisar antara 26-46 μ A.

Berdasarkan hasil perhitungan persentase (kondisi) *arrester* bay Kedinding di Gardu Induk Kenjeran dalam kondisi baik karena bernilai $\leq 90\%$ dari batasan arus resistif maksimal yaitu berkisar antara 17-31%. Sehingga rekomendasi yang harus dilakukan yaitu ukur LCM tahunan.

Berdasarkan hasil galat kondisi antara perhitungan dengan pengukuran didapatkan nilai sebesar 13%. Hal ini dikarenakan ada kesalahan pada saat pengukuran yaitu posisi *field probe* yang berubah sehingga mempengaruhi nilai pengukuran. Pada penelitian ini telah dibuktikan bahwa menggunakan perhitungan arus bocor resistif dengan cara manual dapat menemukan perbedaan nilai pada saat pengukuran arus bocor resistif.

Saran

Bagi perusahaan, sebaiknya dalam melakukan pekerjaan pemeliharaan arus bocor *arrester* petugas yang bekerja harus memperhatikan penempatan *field probe* yang tepat agar tidak terjadi perbedaan nilai pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Ain. Nurul, dan Latiff. Abdul. 2018. *Optimization of Zinc Oxide Surge Arrester Design in Reducing Leakage Current*. Thesis, University of Malaya.
- Andriawan. Deni. 2014. *Kinerja Arrester Yang Sudah Berusia Lebih Dari 10 Tahun di Gardu Induk 150Kv Ungaran-Semarang*. Artikel Ilmiah Skripsi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- Din. Hanis Hamizah Hizamul, dan Nor. Normiza Mohamad. 2021. *Analysis of Zinc Oxide (ZnO) Surge Arrester Connected to Various Ground Electrodes*. Journal Energies, Volume 14, No. 12, pp 1-19.
- Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya. 2022. *Data Single Line Diagram, Data Spesifikasi Lightning Arrester Bay Kedinding, Data Pengukuran Arus Bocor Resistif Lightning Arrester Bay Kedinding*. PT. PLN (Persero). Surabaya, Indonesia
- Irsal. Abdurrauf, Denov. Bryan, dan Zoro. Reynaldo. 2019. *Lightning Protection System on Substation Extra High Voltage 500 kV Sumatera, Indonesia*. IEEE – Internasional Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI). Bandung, Indonesia.
- Khavari. Amir Hesam, Munir. Abdullah, dan Malek. Zulkurnain Abdul. 2018. *Circuit-Based Method for Extracting the Resistive Leakage Current of Metal Oxide Surge Arrester*. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics. Volume 9, No. 6, pp 2213-2221.
- Kumar. Deepak, dan Mahmadi. Ansari. 2018. *Condition Monitoring of Electrical Assets Using Digital IRT and AI Technique*. Journal of Electrical Systems and Information Technology. Volume 5, No. 5, pp 623-634.
- Latiff. Nurul A.A., Illias. Hazlee A., Bakar. Ab H.A., dan Dabbak. Sameh Z.A. 2018. *Measurement and Modelling of Leakage Current Behaviour in ZnO Surge Arresters under Various Applied Voltage Amplitudes and Pollution Conditions*. Journal Energies. Volume 11, No. 4, pp 875.
- Likitha. S., Kanyakumari. Muppaneni, P. Jithin Pauly, S. Shivakumara Aradhya R., dan Vasudev. N. 2018. *Estimation of Critical Resistive Leakage Current of Polymer Housed ZnO Surge Arrester by Electro-Thermal Modelling*. Journal of Electrical Systems and Information Technology. Volume 5, No. 3, pp 861-873.
- Naiborhu. G. Riana. 2014. *Pengujian Dalam Penggunaan dan Diagnosis Arrester Metal Oxide Tanpa Celah*. JETRI – Jurnal Ilmiah Teknik Elektro. Volume 11, No. 2, pp 79-94.
- Novizon, Malek. Zulkurnain Abdul, Aulia, Waldi. Eka Putra, Rajab. Abdul, dan Darwison. 2018. *Prediction of ZnO Surge Arrester Degradation Based on Temperature and Leakage Current Properties*. Jurnal Nasional Teknik Elektro. Volume 7, No. 2.
- Pramod. Koli Pradnya, dan Bombale. Dr. Uttam L. 2017. *Leakage Current Measurement and Health Monitoring of Surge Arrester*. Internasional Journal of Latest Trends in Engineering and Technology. Volume 8, No. 4, pp 143-148.

Analisis Arus Bocor Resistif Pada Sistem Proteksi Lightning Arrester Bay Kedinding Di Gardu Induk 150 KV Kenjeran Surabaya

Puspitaningtyas, Erena Rosetta, Nisworo, Sapto, dan Trihasto. Agung. 2020. *Prediksi Sisa Usia Pakai Arrester ZnO Transformator Utama Berdasarkan Pengukuran Arus Bocor Resistif Korektif Menggunakan Metode Regresi Polinomial*. Thesis, Universitas Tidar Magelang.

Rusdjaja. Tatang, Yani. Christi, Tjahja. Indra, Delyuzar, Hartanti. Hesti, Sumaryadi, Munthe. James, dan Tonapa. Jhon H. 2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester (LA)*. SKDIR 0520-2.K/DIR/2014 Jakarta: PT.PLN (Persero).

Wooi. C.L., Malek. Zulkurnain Abdul, dan Mashak. Saeed Vahabi. 2013. *Effect of Ambient Temperature on Leakage Current of Gapless Metal Oxide Surge Arrester*. Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering), Volume 64, No. 4, pp 157- 161.

