

PREDIKSI SISA USIA PAKAI ARESTER ZnO TRANSFORMATOR UTAMA BERDASARKAN PENGUKURAN ARUS BOCOR RESISTIF KOREKTIF MENGGUNAKAN METODE REGRESI POLINOMIAL

Erena Rosetta Puspitaningtyas¹, Sapto Nisworo², Agung Trihasto³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro FT UNTIDAR

Jl. Kapten S. Parman No. 39 Magelang 56116 INDONESIA

¹erenarosetta@gmail.com, ²saptonisworo@gmail.com, ³agungtrihasto@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan arester diterapkan hampir di semua jenis jaringan tenaga listrik untuk melindungi peralatan listrik dari tegangan lebih guna menjamin operasi yang ekonomis dan andal. Arestor ZnO dapat mengalami degradasi secara bertahap di bawah tegangan operasi, tekanan listrik atau mekanik serta mungkin dapat menjadi lembab karena masalah struktur yang dapat menyebabkan peningkatan arus bocor resistif arester. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi sisa usia pakai arester ZnO transformator utama PLTU Jawa Tengah 2 Adipala berdasarkan pengukuran arus bocor resistif korektif menggunakan metode regresi polinomial yang dapat dimanfaatkan sebagai rujukan waktu penjadwalan penggantian atau perbaikan arester ZnO. Proses pengolahan data dengan bantuan software Matlab R2014a diperoleh hasil sisa usia pakai arester ZnO transformator utama fasa R, S, dan T secara berturut-turut, yaitu 1118 jam (47 hari), 3165 jam (132 hari), dan 1898 jam (79 hari) terhitung sejak pengukuran arus bocor resistif korektif yang terakhir pada jam ke-10656 dengan tegangan sistem konstan 500 kV.

Kata kunci : arester ZnO, sisa usia pakai, arus bocor, regresi polinomial

ABSTRACT

The use of arresters is applied in almost all types of electric power lines to protect electrical equipment from overvoltages to ensure an economical and reliable operation. ZnO arresters can undergo gradual degradation under operating voltage, electrical or mechanical stresses and may become damp due to structural problems that can cause an increase in arrester resistive leakage currents. This study aims to predict the remaining useful lifetime of the ZnO arrester main transformer of PLTU Jawa Tengah 2 Adipala based on the measurement of corrected resistive leakage current using a polynomial regression method that can be used as a reference time scheduling replacement or repair of ZnO arresters. The data processing process with the help of Matlab R2014a software obtained the remaining life of ZnO arrester main phase R, S, and T transformers in a row, namely 1118 hours (47 days), 3165 hours (132 days), and 1898 hours (79 days) since the last corrective resistive leakage measurement at 10656 hours with a constant system voltage of 500 kV.

Keywords : ZnO arrester, remaining useful lifetime, leakage current, polynomial regression

PENDAHULUAN

Tegangan lebih dalam sistem tenaga listrik yang disebabkan oleh petir dan operasi switching dapat mencapai amplitudo yang berbahaya untuk peralatan tegangan tinggi. Untuk melindungi peralatan listrik dan menjamin operasi yang ekonomis dan andal, penggunaan arester diterapkan hampir di semua jenis jaringan tenaga listrik [1].

Di Indonesia, mayoritas arester yang digunakan pada sistem jaringan PLN menggunakan elektroda keping ZnO tanpa gap, atau dikenal juga sebagai *Metal Oxide Surge Arresters* (MOSA). PLTU Jawa Tengah 2 Adipala memiliki satu unit transformator utama yang berfungsi untuk mengonversikan tegangan AC 22 kV dari generator menjadi 500 kV yang kemudian disalurkan ke saluran transmisi tegangan

ekstra tinggi 500 kV. Transformator utama ini dilengkapi dengan tiga buah arester ZnO tanpa gap dengan rating tegangan 420 kV yang terpasang pada masing-masing fasanya. Sungkup arester menggunakan bahan porselen dengan jumlah unit pada satu tiang arester sebanyak tiga buah.

Arester ZnO tanpa gap dapat mengalami degradasi secara bertahap di bawah tegangan operasi, tekanan listrik atau mekanik. Selain itu, beberapa arester ZnO mungkin menjadi lembab karena masalah struktur. Semua ini dapat menyebabkan peningkatan arus bocor, terutama komponen resistif arester. Komponen resistif arus bocor internal yang sebanding dengan harmonik ketiga sangat penting dalam kinerja operasional arester ZnO [2]. Kegagalan pada arester dapat menyebabkan gangguan pasokan daya yang tidak terprogram, kerusakan pada peralatan gardu, dan risiko bagi teknisi [3].

Liu, dkk (2012), memperkenalkan cara baru untuk memprediksi nilai arus bocor resistif arester ZnO dengan menggabungkan prediksi abu-abu dengan jaringan saraf tiruan *back-propagation* melalui algoritma pembobotan yang optimal. Arester ZnO 220 kV yang diproduksi oleh perusahaan pengembangan teknologi daya Beijing Huali yang terpasang pada gardu induk digunakan dalam penelitian ini. Data uji nilai puncak arus resistif yang diuji pada kisaran tahun 2003-2008. Hasil prediksi korelasi dengan model prediksi abu-abu sebesar 0,6141 dan dengan jaringan saraf tiruan *back-propagation* diperoleh nilai kesalahan (*error*) mencapai 10^{-6} .

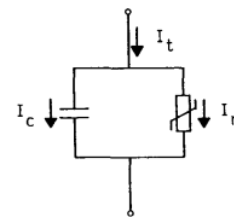
Bokoro dan Jandrel (2016), melakukan pengujian arester ZnO untuk mengukur tingkat penuaan arester berdasarkan total nilai distorsi harmonik (*total harmonic distortion*). Penelitian dilakukan dalam kondisi terputus dari sistem (*off-line*) dengan melakukan pengujian di laboratorium. Ekstrapolasi waktu penuaan yang diperoleh dimodelkan menggunakan distribusi statistik Weibull. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa uji rasio probabilitas ditemukan - 1.2855 dan usia rata-rata yang diperoleh

untuk sampel arester ZnO berkurang 30,13% untuk distorsi harmonik tegangan total 8,5%. Dari studi literatur yang telah dilakukan, belum dikaji lebih lanjut mengenai prediksi sisa usia pakai arester ZnO yang terpasang di sisi transformator utama berdasarkan pengukuran arus bocor resistif korektif pada saat kondisi operasi dengan mempertimbangkan faktor internal maupun eksternal yang dapat mempengaruhi nilai arus bocor arester ZnO. Oleh karena itu, perlunya penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.

TINJAUAN PUSTAKA

Perlindungan sistem tenaga terhadap petir terdiri dari penerapan *surge arrester*, kabel *ground* dan isolator [4]. Peran penting dari *surge arrester* adalah perlindungan peralatan terhadap tegangan berlebih untuk meningkatkan keandalan sistem [5].

Arester surja tanpa celah yang terdiri dari elemen resistor nonlinier yang sebagian besar terdiri dari seng oksida (ZnO) telah digunakan dan diterapkan di seluruh dunia dengan nama Metal Oxide Surge Arrester (MOSA) [6]. Varistor ZnO cenderung menjadi elemen pokok arester tanpa celah karena fitur nonlinier yang tinggi serta respons konduksi yang lebih cepat terhadap tegangan lebih [7].



Gambar 1. Rangkaian ekuivalen ZnO [8]

Pemantauan kondisi peralatan tegangan tinggi, seperti isolator pasak dan arester memberikan informasi penting kepada manajemen sistem untuk menjadi jaringan yang pintar sehingga dapat mengoperasikan sistem secara efisien dan mengurangi risiko kegagalan isolasi ke tingkat yang dapat diterima secara ekonomis dan fungsional, [9]. Pengukuran komponen arus resistif adalah cara terbaik untuk mendapatkan informasi

sensitif dan andal tentang kondisi arester [10].

Arus bocor resistif yang mengalir melalui arester yang dapat meningkat seiring waktu menyebabkan kerugian daya dan peningkatan suhu blok ZnO. Pada saat tertentu, arus bocor resistif dapat melebihi batas kritis sehingga menyebabkan kinerja arester menjadi tidak stabil secara termal dan gagal [11].

Tabel 1. Batas Maksimum Arus Bocor Resistif Korektif [12]

Tegangan sistem (kV)	Arus bocor resistif maksimum (iR, μ A)
70	100
150	150
500	250

Metode berbasis regresi umumnya digunakan dalam industri dan juga dalam bidang akademik untuk memprediksi sisa usia pakai karena kesederhanaannya [13]. Prinsip dasar dari metode ini adalah bahwa kondisi sistem yang diteliti dapat dipetakan oleh beberapa variabel sehingga sisa usia pakai dapat diperkirakan dengan melakukan pemantauan [14]. Regresi menghasilkan nilai *multiple correlation* (R^2) yang menunjukkan sejauh mana model regresi yang dibuat dapat merepresentasikan perilaku dari data-data yang dimiliki. Nilai *multiple correlation* (R^2) berkisar antara 0-1 [15]. Semakin besar nilai *multiple correlation* (R^2) maka semakin bagus model regresi yang dibuat. Di sisi lain, terdapat nilai kuadrat residual yang menunjukkan sejauh mana penyimpangan model regresi terhadap karakteristik data sebenarnya, semakin kecil nilainya maka semakin bagus model regresi yang dibuat [16].

METODE

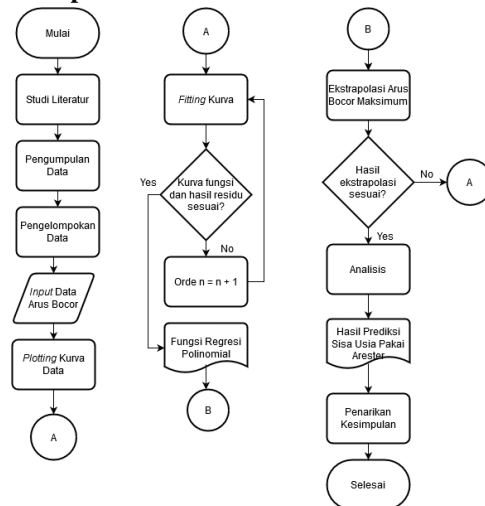
Proses penelitian untuk memprediksi usia pakai arester ZnO di sisi transformator utama PLTU Jawa Tengah 2 Adipala menggunakan metode regresi polinomial. Parameter yang dikaji berupa arus bocor resistif korektif. Adapun hasil yang diperoleh menyatakan nilai X (waktu) pada saat Y (arus bocor resistif korektif) mencapai batas maksimum yang ditetapkan.

Alat dan Bahan

Tabel 2. Alat dan Bahan

Alat	Bahan
PC/ laptop software Matlab R2014a	Data nameplate arester fasa R, S, dan T, data pengukuran arus bocor arester
Smartphone	
Alat tulis	

Tahapan Penelitian



Gambar 2. Tahapan penelitian
Penjelasan dari *flowchart* pada Gambar 2 sebagai berikut :

- 1) *Studi Literatur*: penulis melakukan studi literatur dengan mengumpulkan dan mempelajari materi-materi yang berkaitan dengan tema yang diambil.
- 2) *Pengumpulan Data*: Pengumpulan data dilakukan dengan datang secara langsung ke lokasi penelitian.
- 3) *Pengelompokan Data*: Data dikelompokkan menjadi data *input* dan target *output*. Data *input* meliputi data pengukuran arus bocor arester ZnO transformator utama dalam domain waktu tertentu. Target *output* yang digunakan berupa nilai arus bocor resistif korektif maksimum sesuai dengan standar PLN tahun 2014, yaitu 250 μ A.
- 4) *Input Data*: Data yang telah dikelompokkan kemudian dimasukkan ke dalam *Workspace* Matlab.
- 5) *Pengolahan Data*: Data yang telah dikelompokkan kemudian diolah dengan metode regresi polinomial menggunakan *software* Matlab. Adapun tahapan-tahapan

metode tersebut, antara lain: penyajian data dengan memplot kurva. Lalu, *fitting* kurva dilakukan dengan menggunakan *Basic Fitting*. Kemudian, lakukan penyesuaian kurva dengan memilih derajat polinomial hingga nilai kuadrat residualnya paling kecil dan pola kurva regresi sesuai dengan kurva data. Setelah persamaan regresi polinomial sudah dinyatakan memenuhi kriteria pada tahap *fitting* kurva maka dilakukan ekstrapolasi dengan menyusun *Command* pada *M-File* Matlab untuk mengetahui pada saat waktu ke berapa arus bocor resistif korektif itu mencapai nilai 250 μA .

6) *Analisis*: Proses analisis dilakukan dengan analisis statistika guna mengetahui distribusi data. Variabel yang dicari meliputi: Rata-rata (μ)

$$\mu = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \dots \dots \dots (1)$$

Variansi (σ^2)

$$\sigma^2 = \frac{\sum (X - \mu)^2}{N} \dots \dots \dots (2)$$

Deviasi standar (σ)

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \dots \dots \dots (3)$$

Transformasi Z

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \dots \dots \dots (4)$$

7) *Hasil Prediksi Sisa Usia Pakai Arester*: Prediksi sisa usia pakai arester ZnO dapat dihitung dengan mencari selisih antara hasil ekstrapolasi dengan waktu pengukuran terakhir yang terhitung sejak arester dipasang. Rumus perhitungannya sebagai berikut:

$$SUP_{\text{fasa}}(\text{hari}) = \frac{t_{\text{ekstrapolasi}} - t_{\text{akhir}}}{24 \text{ jam}} \dots \dots \dots (5)$$

8) *Penarikan Kesimpulan*: Penarikan kesimpulan ini bertujuan untuk menyimpulkan hasil akhir dari penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spesifikasi Arester ZnO Transformator Utama PLTU Jawa Tengah 2 Adipala

Tabel 3. Spesifikasi Arester ZnO

XIAN XD ARRESTER CO. LTD	2012
<i>Rated Voltage – Rated Frequency</i>	420 KV – 50 Hz

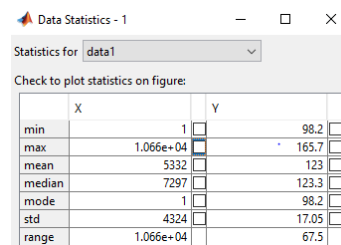
<i>Continuous Operating Voltage</i>	318 KV
<i>Nominal Discharge Current</i>	20 KA
<i>Continuous Current</i>	600 μA
<i>Interior Gas Pressure</i>	0.035 ~ 0.05 MPa
<i>Pollution Withstand Level</i>	5
<i>Line Discharge Class</i>	5
<i>Unit</i>	3

Data Pengukuran Arus Bocor Resistif Korektif

Tabel 4. Data Pengukuran Arus Bocor Resistif Korektif

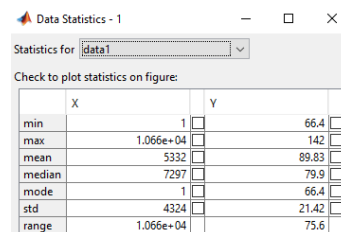
No.	Tanggal Pengukuran	Waktu	Arus Bocor Resistif Korektif (μA)		
			Fasa R	Fasa S	Fasa T
1	24/09/2018	10:00:00	98,2	78,4	120,6
2	24/09/2018	20:00:00	116,9	142,0	201,0
3	23/10/2018	11:00:00	128,7	84,6	103,1
4	23/10/2018	17:00:00	165,7	104,4	110,2
5	14/03/2019	17:00:00	124,4	106,8	108,9
6	25/07/2019	11:00:00	129,6	74,3	114,5
7	25/07/2019	17:00:00	127,90	79,90	119,70
8	18/09/2019	10:00:00	109,40	66,40	110,00
9	18/09/2019	16:30:00	113,80	95,60	118,50
10	11/12/2019	14:00:00	115,30	78,20	109,60
11	12/12/2019	10:00:00	123,30	77,50	119,00

Data Statistik



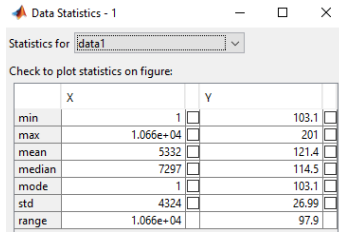
Data Statistics - 1		
Statistics for: data1		
Check to plot statistics on figure:		
	X	Y
min	1	98.2
max	1.066e+04	165.7
mean	5332	123
median	7297	123.3
mode	1	98.2
std	4324	17.05
range	1.066e+04	67.5

Gambar 3. Data statistik arus bocor arester ZnO fasa R



Data Statistics - 1		
Statistics for: data1		
Check to plot statistics on figure:		
	X	Y
min	1	66.4
max	1.066e+04	142
mean	5332	89.83
median	7297	79.9
mode	1	66.4
std	4324	21.42
range	1.066e+04	75.6

Gambar 4. Data statistic arus bocor arester ZnO fasa S



Gambar 5. Data statistic arus bocor arester ZnO fasa T

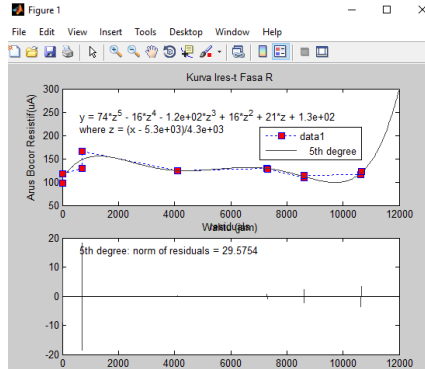
Analisis Hasil

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut:

Arester ZnO Fasa R

Pada proses *fitting* kurva arester ZnO fasa R diperoleh dua persamaan regresi polinomial yang layak untuk diuji pada tahap ekstrapolasi, yaitu:

1) Regresi Polinomial Orde Lima



Gambar 6. Hasil *fitting* kurva regresi polinomial orde 5 fasa R

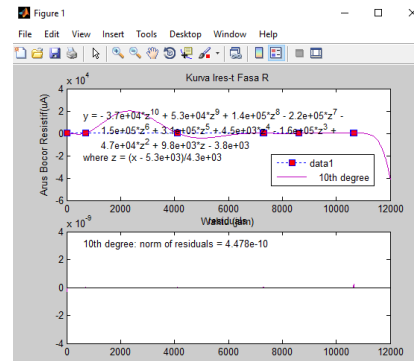
Name	Value	Min	Max
datalcm	11x4 double	1	10656
i	11774	11774	11774
ires_R	11x1 double	98.2000	165.7000
n	5	5	5
t	11x1 double	1	10656
y	250.0646	250.0646	250.0646

Gambar 7. Hasil ekstrapolasi regresi polinomial orde 5 fasa R

Pada proses ekstrapolasi ini dihasilkan nilai *i* sebesar 11774 yang berarti bahwa nilai *Y* = 250 tercapai pada saat waktu ke-11774 (jam). Apabila dikalkulasikan ke dalam hari (24 jam/hari) maka:

$$t_n(\text{hari}) = \frac{11774}{24} = 490 \text{ hari}$$

2) Regresi Polinomial Orde Sepuluh



Gambar 8. Hasil *fitting* kurva regresi polinomial orde 10 fasa R

datalcm	11x4 double	1	10656
i	714	714	714
ires_R	11x1 double	98.2000	165.7000
n	10	10	10
t	11x1 double	1	10656
y	251.9014	251.9014	251.9014

Gambar 9. Hasil ekstrapolasi regresi polinomial orde 10 fasa R

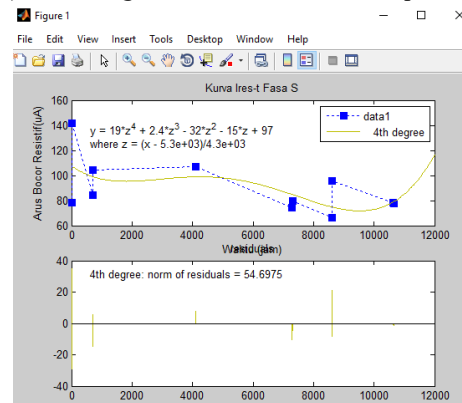
Pada proses ekstrapolasi ini dihasilkan nilai *i* sebesar 174 yang berarti bahwa nilai *Y* = 250 tercapai pada saat waktu ke-174 (jam). Apabila dikalkulasikan ke dalam hari (24 jam/hari) maka:

$$t_n(\text{hari}) = \frac{174}{24} = 7,25 \text{ hari}$$

Arester ZnO Fasa S

Pada proses *fitting* kurva arester ZnO fasa S diperoleh dua persamaan regresi polinomial yang layak untuk diuji pada tahap ekstrapolasi, yaitu:

1) Regresi Polinomial Orde Empat



Gambar 10. Hasil *fitting* kurva regresi polinomial orde 4 fasa S

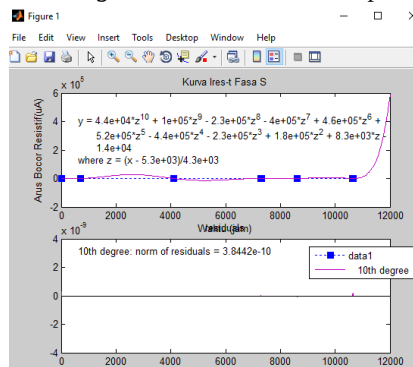
Name	Value	Min	Max
datalcm	11x4 double	1	10656
i	13821	13821	13821
Ires_S	11x1 double	66.4000	142
n	4	4	4
t	11x1 double	1	10656
y	250.0640	250.0640	250.0640

Gambar 11. Hasil ekstrapolasi regresi polinomial orde 4 fasa S

Pada proses ekstrapolasi ini dihasilkan nilai i sebesar 13821 yang berarti bahwa nilai Y = 250 tercapai pada saat waktu ke-13821 (jam). Apabila dikalkulasikan ke dalam hari (24 jam/hari) maka:

$$t_n(\text{hari}) = \frac{13821}{24} = 575,875 \approx 576 \text{ hari}$$

2) Regresi Polinomial Orde Sepuluh



Gambar 12. Hasil *fitting* kurva regresi polinomial orde 10 fasa S

Name	Value	Min	Max
datalcm	11x4 double	1	10656
i	37	37	37
Ires_S	11x1 double	66.4000	142
n	10	10	10
t	11x1 double	1	10656
y	251.8707	251.8707	251.8707

Gambar 13. Hasil ekstrapolasi regresi polinomial orde 10 fasa S

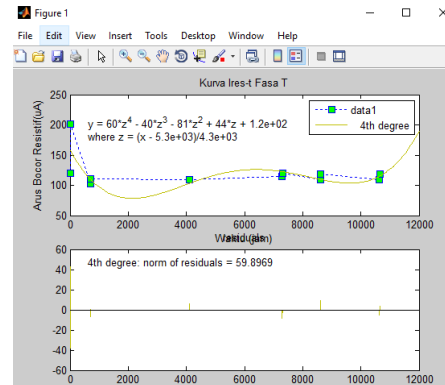
Pada proses ekstrapolasi ini dihasilkan nilai i sebesar 37 yang berarti bahwa nilai Y = 250 tercapai pada saat waktu ke-37 (jam). Apabila dikalkulasikan ke dalam hari (24 jam/hari) maka:

$$t_n(\text{hari}) = \frac{37}{24} = 1,54 \text{ hari}$$

Arester ZnO Fasa T

Pada proses *fitting* kurva arester ZnO fasa T diperoleh dua persamaan regresi polinomial yang layak untuk diuji pada tahap ekstrapolasi, yaitu:

1) Regresi Polinomial Orde Empat



Gambar 14. Hasil *fitting* kurva regresi polinomial orde 4 fasa T

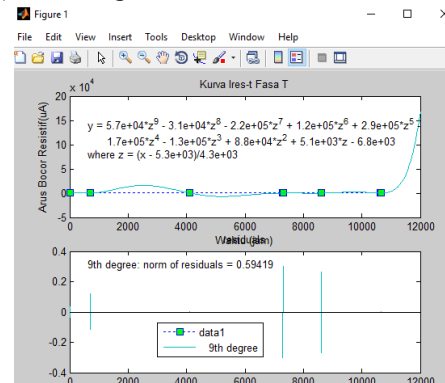
Name	Value	Min	Max
datalcm	11x4 double	1	10656
i	12554	12554	12554
Ires_T	11x1 double	103.1000	201
n	4	4	4
t	11x1 double	1	10656
y	250.1254	250.1254	250.1254

Gambar 15. Hasil ekstrapolasi regresi polinomial orde 4 fasa T

Pada proses ekstrapolasi ini dihasilkan nilai i sebesar 12554 yang berarti bahwa nilai Y = 250 tercapai pada saat waktu ke-12554 (jam). Apabila dikalkulasikan ke dalam hari (24 jam/hari) maka:

$$t_n(\text{hari}) = \frac{12554}{24} = 523 \text{ hari}$$

2) Regresi Polinomial Orde Sembilan



Gambar 16. Hasil *fitting* kurva regresi polinomial orde 9 fasa T

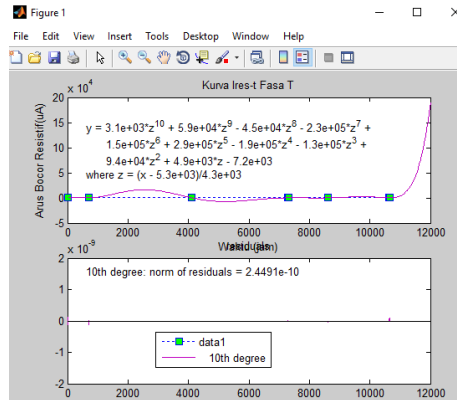
Name	Value	Min	Max
datalcm	11x4 double	1	10656
i	18	18	18
Ires_T	11x1 double	103.1000	201
n	9	9	9
t	11x1 double	1	10656
y	251.0715	251.0715	251.0715

Gambar 17. Hasil ekstrapolasi regresi polinomial orde 9 fasa T

Pada proses ekstrapolasi ini dihasilkan nilai i sebesar 18 yang berarti bahwa nilai $Y = 250$ tercapai pada saat waktu ke-18 (jam). Apabila dikalkulasikan ke dalam hari (24 jam/hari) maka:

$$t_n(\text{hari}) = \frac{18}{24} = 0,75 \text{ hari}$$

3) Regresi Polinomial Orde Sepuluh



Gambar 18. Hasil *fitting* kurva regresi polinomial orde 10 fasa T

Name	Value	Min	Max
data1cm	11x4 double	1	10656
i	18	18	18
Ires_T	11x1 double	103.1000	201
n	10	10	10
t	11x1 double	1	10656
y	255.9607	255.9607	255.9607

Gambar 19. Hasil ekstrapolasi regresi polinomial orde 10 fasa T

Pada proses ekstrapolasi ini dihasilkan nilai i sebesar 18 yang berarti bahwa nilai $Y = 250$ tercapai pada saat waktu ke-18 (jam). Apabila dikalkulasikan ke dalam hari (24 jam/hari) maka:

$$t_n(\text{hari}) = \frac{18}{24} = 0,75 \text{ hari}$$

Hasil Prediksi Sisa Usia Pakai Arester

Prediksi sisa usia pakai arester ZnO dapat dihitung dengan mencari selisih antara hasil ekstrapolasi dengan waktu pengukuran terakhir yang terhitung sejak arester dipasang. Oleh karena itu, hasil ekstrapolasi yang dapat digunakan untuk menghitung sisa usia pakai arester harus di luar rentang data atau lebih dari 10656 jam. Berdasarkan ketentuan tersebut maka diperoleh hasil sisa usia pakai arester ZnO untuk masing-masing fasa sebagai berikut:

Sisa Usia Pakai Arester ZnO Fasa R

Hasil ekstrapolasi nilai arus bocor resistif korektif fasa R maksimum yang memenuhi, yaitu pada saat $t = 11774$. Maka,

$$SUP_R = \frac{11774 - 10656}{24} = 46,58 \approx 47 \text{ hari}$$

Sisa Usia Pakai Arester ZnO Fasa S

Hasil ekstrapolasi nilai arus bocor resistif korektif fasa S maksimum yang memenuhi, yaitu pada saat $t = 13821$. Maka,

$$SUP_S = \frac{13821 - 10656}{24} = 131,875 \approx$$

132 hari

Sisa Usia Pakai Arester ZnO Fasa T

Hasil ekstrapolasi nilai arus bocor resistif korektif fasa T maksimum yang memenuhi, yaitu pada saat $t = 12554$. Maka,

$$SUP_T = \frac{12554 - 10656}{24} = 79 \text{ hari}$$

SIMPULAN

Dari penelitian mengenai prediksi sisa usia pakai arester ZnO transformator utama berdasarkan pengukuran arus bocor resistif korektif menggunakan metode regresi polinomial yang telah dilakukan dengan studi kasus di PLTU Jawa Tengah 2 Adipala, penulis menyimpulkan bahwa setelah melakukan simulasi dan analisis didapatkan hasil sisa usia pakai arester ZnO transformator utama fasa R, S, dan T secara berturut-turut, yaitu 1118 jam (47 hari), 3165 jam (132 hari), dan 1898 jam (79 hari) terhitung sejak pengukuran arus bocor resistif korektif yang terakhir pada jam ke-10656 dengan tegangan sistem konstan 500 kV. Berdasarkan pola data yang didapat, dinilai bahwa metode pendekatan pola regresi memberi hasil yang lebih baik dibandingkan metode residual terkecil sehingga didapatkan persamaan regresi polinomial yang sesuai dengan pola data pengukuran arus bocor resistif korektif yang diteliti.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Klein, T., W. Kohler, K. Feser, W. Schmidt, dan R. Babensee. "A New

Monitoring System for Metal Oxide Surge Arresters". IEEE High Voltage Engineering Symposium 1999, 1999.

[2] Wei, Deng, Liu Weidong, Fu Zhiyang, dan Cao Jian. 2005. "The Network-model On-line Monitoring System of ZnO Surge Arresters in 500kV Substation". IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dalian, China.

[3] Lira, Goerge R. S. dan Edson G. Costa. "MOSA Monitoring Technique Based on Analysis of Total Leakage Current". IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 28, No. 2, hlm. 1057-1062, 2013.

[4] Garcia-Gracia, M, S. Baldovinos, M. Sanz, dan L. Montanes. "Evaluation of the Failure Probability for Gapless Metal Oxide Arresters. IEEE", hlm. 700-705, 1999.

[5] Khodsuz, M dan S. M. Seyyedbarzegar. "Surge Arrester Monitoring under Different Operating Conditions Using Bees-ANFIS". Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering. Vol. 01, No. __, hlm. 151-160, 2019.

[6] Kobayashi, "Metal Oxide Surge Arrester". IEEE, 1986.

[7] Abdul-Malek, Z., A. H. Khavari, C.L. Wooi, M. Moradi, dan A. Naderipour. "A Review of Modeling Ageing Behavior and Condition Monitoring of Zinc Oxide Surge Arrester". IEEE Student Conference on Research and Development (SCOReD), hlm. 733-738, 2015.

[8] Lundquist, J., L. Stenstrom, A. Schei, dan B. Hansen. "New Method for Measurement of The Resistive Leakage Currents of Metal-Oxide Surge Arresters in Service". IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 5, No. 4, hlm. 1811-1822, 1990.

[9] Vitols, Arnold P dan John Stead. "Condition Monitoring of Post Insulators and Surge Arresters". IEEE Electrical Insulation Conference. 2009.

[10] _____. 2016. "Condition Monitoring of Lightning Arrestor (LA) by LCM III". Maharajpur: Indian Railways Centre for Advanced Maintenance Technology.

[11] Larsen, Vegard dan Kjetil Lien. "In-Service Testing and Diagnosis of Gapless Metal Oxide Surge Arresters". IX International Symposium on Lightning Protection, 2007.

[12] _____. 2014. "Buku Pedoman Pemeliharaan Lightning Arrester (LA)". Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero).

[13] Li, Y., Kurfess, T.R., Liang, S.Y. "Stochastic Prognostics for Rolling Element Bearings". Mechanical Systems and Signal Processing. Vol.14, No. __, hlm. 747-762, 2000.

[14] Si, Xiao Sheng. "Remaining Useful Life Estimation – A Review On The Statistical Data Driven Approaches". European Journal of Operational Research. 213, hlm. 1-14, 2011.

[15] Quinn, G. P. dan M. J. Keough. 2002. "Experimental Design and Data Analysis" for Biologists. New York: Cambridge University Press.

[16] Budiman, Asep Sandra. "Matlab sebagai Pengolah Data Kelautan". Oseana Vol. 37, No. 1, hlm. 39-51, 2012.