

Besar Arus Bocor Isolator Porselin Terhadap Waktu Pemakaian di Lingkungan *Outdoor*

ANJAR RAHMAT PRAWIRA¹, WALUYO¹, DINI FAUZIAH¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Nasional Bandung

Email : anjarprawira21@gmail.com

Received DD MM YYYY | *Revised* DD MM YYYY | *Accepted* DD MM YYYY

ABSTRAK

Isolator adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk mengisolasi penghantar bertegangan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besar arus bocor yang dipengaruhi faktor lingkungan dan waktu kritis arus bocor dengan metode analisis regresi, korelasi, kovarian dan PCA, hasil penelitian parameter lingkungan yang berkorelasi kuat adalah suhu -0,87, kelembapan 0,79, polutan 0,98 dan waktu terjadinya arus bocor yang tinggi pada dini hari jam 03:00AM sebesar 58 μA dan terendah 20 μA pada siang hari jam 12:00PM, cuaca yang berubah-ubah serta hujan yang terjadi saat penelitian menyebabkan nilai arus bocor meningkat drastis dan mengalami penurunan kembali setelah hujan karena polutan yang menempel di permukaan isolator hilang terkena air hujan. Isolator porselin memiliki tingkat hidrofobik yang rendah sehingga rentan dengan pengaruh polutan, kelembapan, suhu dan memiliki waktu kritis pada dini hari menjelang pagi maka pemilihan bahan isolator berdasarkan lingkungan sekitar akan memperpanjang waktu pemakaian isolator tersebut.

Kata kunci: arus bocor, isolator, parameter lingkungan, porselin

ABSTRACT

Insulator is a electrical device serves to isolate a conductor. This study was conducted to determine the amount of leakage current which is influenced by environmental factors and the critical time of the leakage current by using regression, correlation, covariance and PCA analysis methods. The results of environmental parameters were strongly correlated temperature -0,87, humidity 0,79, pollutant 0,98 and time occurrence of high leakage currents at 03:00AM 58 μA and the lowest 20 μA at 12:00PM, the changing weather and rain that occurred the value of the leakage current to increase dramatically and decrease return after the rain because the pollutants attached to the surface of the insulator are lost to rainwater. Porcelain insulators have a low level of hydrophobicity so they are susceptible to the effects of pollutants, humidity, temperature and critical time in the morning, the selection of insulating materials based on the surrounding environment will prolong the use of the insulator.

Keywords: leakage current, insulator, environmental parameters, porcelain

1. PENDAHULUAN

Dalam dunia sistem ketenagalistrikan perencanaan suatu sistem transmisi dan distribusi yang baik sangat diperlukan demi kelancaran melayani kebutuhan listrik kepada konsumen. Agar kualitas suatu sistem tenaga listrik tetap baik maka diperlukan suatu perencanaan serta pemilihan bahan-bahan yang tepat demi menjaga peralatan tetap handal. Isolator merupakan komponen penting dalam suatu sistem transmisi baik di dalam Pembangkit Listrik maupun Gardu Induk.

Untuk meminimalisir terjadinya arus bocor pada isolator maka diperlukan pemilihan bahan yang tepat berdasarkan kondisi lingkungan di sekitar. Di Indonesia bahan isolator yang digunakan secara luas pada sistem tenaga listrik sampai saat ini adalah bahan isolator porselin dan gelas. **(Susilawati., dkk,2012)** menulis dalam *paper*-nya, bahwa isolator jenis ini memiliki kelemahan dari segi mekanis yaitu berat dan permukaannya yang bersifat meyerap air (*hygroscopic*) sehingga lebih mudah terjadi arus bocor pada permukaan yang akhirnya dapat menyebabkan kegagalan isolasi **(Nurwahidah,2017)**.

Kondisi iklim, polusi, dan terpaan medan listrik menyebabkan terjadinya degradasi dan selanjutnya akan mengakibatkan penuaan pada isolator **(Mustamin & Salama, 2013)**.

Ketika terjadi proses penuaan sifat kedap air akan berkurang sehingga terbentuk lapisan polutan pada permukaan isolator. Lapisan polutan mengakibatkan permukaan isolator bersifat konduktif **(Luiz & Wagner, 2013)**.

Sifat konduktif tersebut menginisiasi munculnya pita kering (*dry-band*) pada permukaan isolator. Adanya pita kering tersebut mengakibatkan arus bocor mampu melewati permukaan isolator sehingga muncul fenomena yang disebut busur api pita kering (*dry-band arcing*) **(Abdelrahman, 2013)**. Seiring bertambahnya usia isolator dan permukaan isolator mengalami pengotoran selama terus menerus akibat dari pengaruh lingkungan maka arus bocor yang terjadi akan semakin besar.

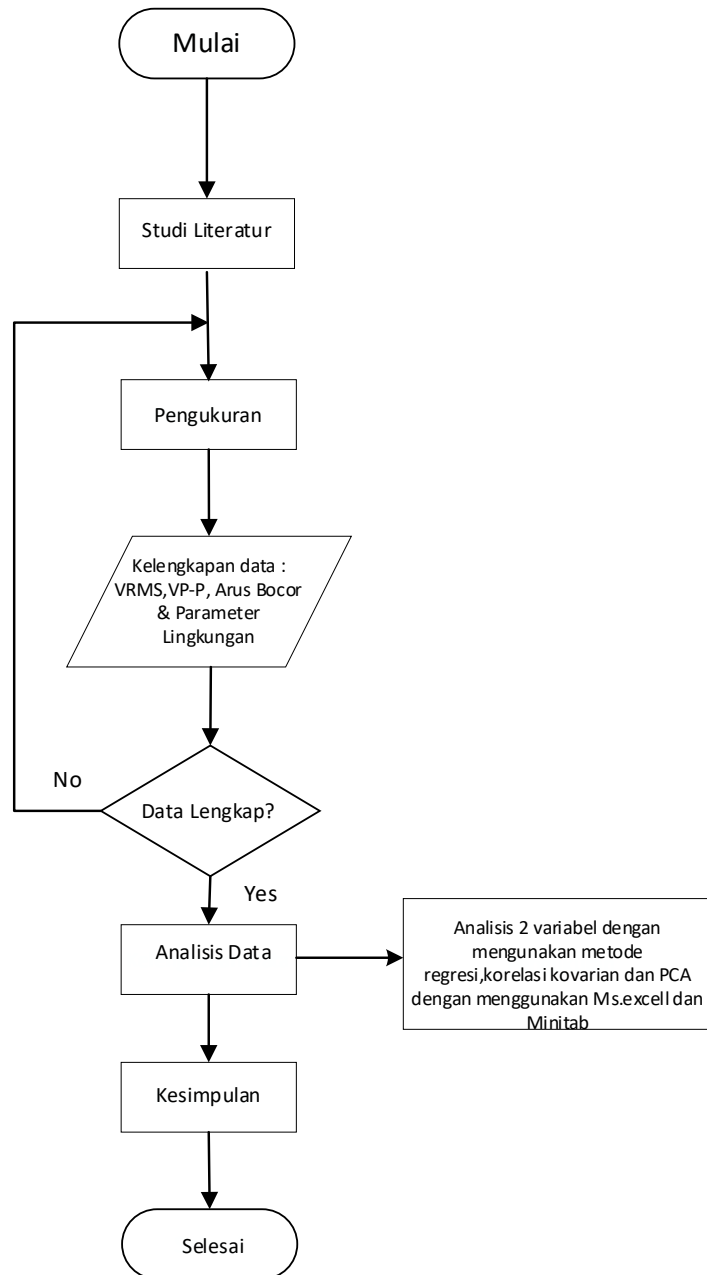
Maka dari itu penelitian ini membahas tentang Besar Arus Bocor Isolator Porselin terhadap Pemakaian di Lingkungan *Outdoor* yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari isolator porselin tersebut untuk mengamati lebih lanjut parameter lingkungan mana yang lebih dominan menyebabkan arus bocor pada isolator porselin. Sehingga dapat memprediksi usia isolator tersebut berdasarkan pemakaian di lingkungan tersebut.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 menjelaskan tentang langkah-langkah penelitian mengenai besar dan pola arus bocor isolator porselin di lingkungan *outdoor*. Setelah itu dilakukan studi literatur untuk mempelajari buku-buku, jurnal, artikel-artikel dan laporan, dilanjutkan pengukuran untuk melengkapi data yang diperlukan lalu menganalisis data yang telah diolah.

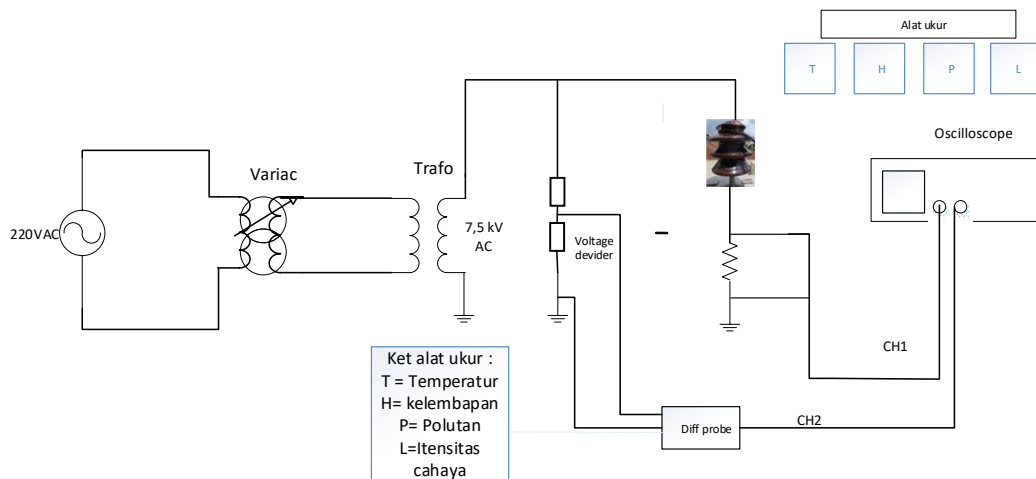
Besar Arus Bocor Isolator Porselin terhadap Waktu Pemakaian di Lingkungan *Outdoor*



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2. Pengujian dan Pengukuran

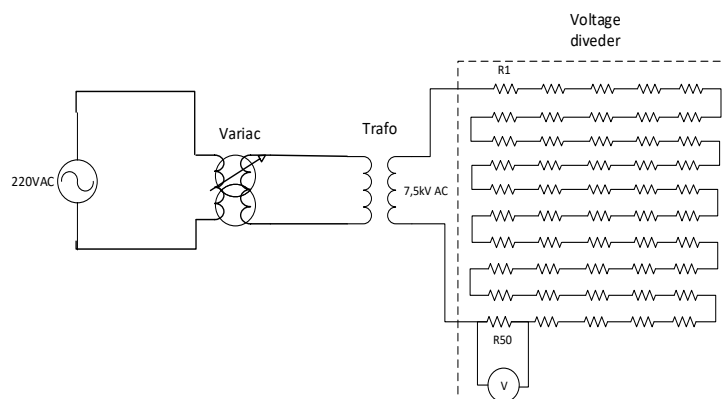
Pengujian dan pengukuran dilakukan setiap 3 jam sekali selama seminggu untuk mendapatkan data data yang diperlukan pada penelitian ini seperti arus bocor dan ketahanan isolator terhadap parameter lingkungan maka perlunya perancangan sistem pengukuran dengan alat dan komponen yang diperlukan antara lain: *variac*, trafo 7,5 kV, *voltage divider*, osiloskop, isolator porselin 11 kV, resistor uji 100 k Ω , alat ukur suhu, kelembapan, polutan, dan cahaya seperti Gambar 2:



Gambar 2. Rangkaian Pengujian Arus Bocor

2.2.1. Besar Tegangan yang Digunakan

Untuk mendapatkan besar tegangan yang digunakan adalah dengan melakukan pengukuran terhadap bagian *output* trafo yang sudah dikonversi tegangan trafo tersebut dengan rangkaian *voltage divider* dengan resistor 15 k Ω sebanyak 50 buah yang dirangkai seri sehingga total menjadi 750 k Ω seperti pada Gambar 3 setelah terpasang rangkaian pengukuran trafo dan pada gambar merupakan gelombang besar tegangan dari trafo tersebut.



Gambar 3. Rangkaian *Voltage Divider*

Nilai tegangan yang keluar dari trafo atau tegangan keluaran trafo sebenarnya diperlukan untuk mencari nilai impedansi pada isolator yang diuji, dapat dilakukan dengan cara perhitungan menggunakan persamaan berikut:

$$V_{rill} = \frac{R_{total}}{R_{15K}} \times V_{osc} \times 100 \quad (1)$$

Dimana :

- V_{rill} = Tegangan *output* trafo sebenarnya
- V_{osc} = Tegangan terbaca di osiloskop (CH2)
- R = Resistansi 15 k Ω
- 100 = Faktor pengali *diff probe*

2.2.2. Pengukuran Osiloskop

Untuk memperoleh nilai arus bocor pada isolator diperlukan nilai resistansi resistor 100 k Ω dan tegangan yang terbaca oleh osiloskop (V_{Rms}) pada gelombang arus (Ch1). Setelah

didapatkan nilai resistansi dan VRms untuk mendapatkan nilai arus bocornya adalah dengan menggunakan rumus hukum ohm seperti persamaan berikut:

$$I_{LC} = \frac{V_{osc}}{R} \quad (2)$$

Dimana :

I_{LC} = Arus Bocor

V_{osc} = Tegangan terbaca di osiloskop CH1

R = Resistansi yang digunakan resistor 100 k Ω

2.2.3. Pengolahan Data

Analisis regresi adalah kumpulan teknik statistik yang berfungsi sebagai dasar untuk menarik kesimpulan tentang hubungan antara variabel yang saling terkait. Karena teknik ini dapat diterapkan di hampir setiap bidang studi, termasuk ilmu sosial, fisika dan biologi, bisnis dan teknik (**Golberg & Cho, 2012**). Umumnya regresi ini memiliki persamaan:

$$Y = A + Bx \quad (3)$$

Korelasi dan kovarian, keduanya memiliki hubungan yang erat karena sama-sama menganalisis dua buah variabel tetapi korelasi memiliki standarisasi nilai di mana rentang -1 hingga 1 yaitu jika dua variabel searah dan bernilai 1 artinya memiliki hubungan yang sangat kuat sedangkan jika -1 adalah sebaliknya tetapi sangat kuat juga hubungannya. Korelasi 0,0 menunjukkan tidak ada hubungan antara kedua variabel (**Drapper & Smith, 1992**), rumus korelasi untuk perhitungan hubungan dua buah variabel adalah sebagai berikut:

$$r_{xy} = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}} \quad (4)$$

Interprestasi informal untuk korelasi yang signifikan secara statistik dari berbagai ukuran dapat ditunjukkan pada Tabel 1 berikut (**Colin & Kevin, 2002**).

Tabel 1. Interpretasi Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00-0,10	Sangat Rendah
0,20-0,40	Rendah
0,40-0,70	Sedang
0,70-0,90	Kuat
0,90-1	Sangat Kuat

Analisis kovarian merupakan suatu teknik yang mengkombinasikan analisis variansi dengan analisis regresi yang dapat digunakan untuk perbaikan ketelitian suatu percobaan (**Kutner dkk, 2005**).

$$cov(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (x_j - \mu_x)(y_j - \mu_y) \quad (5)$$

Kemudian setelah itu menganalisis PCA (*Principal Component Analysis*) untuk mereduksi data yang ada untuk lebih mengetahui faktor mana yang lebih dominan dalam bentuk koordinat yang baru. Metode PCA mampu mempertahankan sebagian besar informasi yang diukur

dengan menggunakan sedikit peubah yang menjadi komponen utamanya saja. Pengolahan data pada PCA menggunakan *software* minitab 19. Untuk mengetahui nilai presentase yang dapat diserap dari variansi data yang ada dapat menggunakan persamaan:

$$\text{Eigen Value} = \frac{E1+E2}{E1+E2+E3+\dots+En} \times 100\% \quad (6)$$

Dimana :

E : Nilai eigen

n : nilai eigen ke-

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

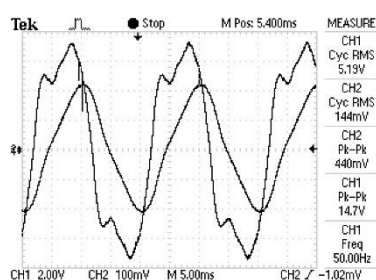
3.1. Hasil Pengamatan

Data yang didapat dari 40 pengambilan data selama seminggu kemudian diolah. Tabel 2 adalah hasil pengukuran diambil dari sampel data yang merepresentasikan nilai arus bocor yang terjadi signifikan dimana didapat nilai tertinggi arus bocor pada isolator porselin yaitu 58 μA pada jam 03:00 kondisi hujan terlihat bahwa pada Tabel 2 pada saat malam hari antara jam 00:00-06:00 arus bocor cenderung tinggi dan akan semakin tinggi arus bocornya jika cuaca hujan. Untuk mengetahui pengaruh lingkungan yang paling signifikan terhadap arus bocor maka dilakukan analisis pengolahan data menggunakan metode regresi analisis korelasi kovarian dan PCA (*Principal Component Analysis*).

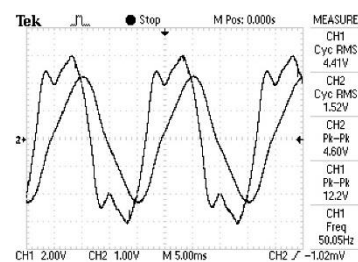
Tabel 2. Data Pengamatan

Tanggal	Jam	Suhu (C°)	kelem (%)	Polutan ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cahaya (Lux)	Cuaca	Arus Bocor (μA)
22-May-20	21:00	23,3	88,1	85	0,1	gerimis	45,4
23-May-20	00:00	22,4	91,2	87	0,11	hujan	51,9
23-May-20	03:00	21,8	92,3	112	0,1	hujan	58,0
23-May-20	06:00	22,4	91	94	795	gerimis	53,4
23-May-20	09:00	26,1	73,9	38	1770x10	cerah	23,6
23-May-20	12:00	29	65,4	35	2739x10	cerah	23,0
23-May-20	15:00	29,5	65,3	25	1642x10	berawan	23,4
23-May-20	18:00	26,2	82,2	37	0,11	cerah	24,1
23-May-20	21:00	23,5	92,5	43	0,1	cerah	32,2

Berdasarkan bentuk gelombang terlihat bahwa gelombang arus bocor (CH1) yang berbentuk gelombang tidak sempurna *leading* terhadap gelombang tegangan (CH2) karena isolator memiliki sifat kapasitif. Dari hasil pengukuran menunjukkan Gambar 4 dan 5 adalah waktu di mana arus bocor mengalami kenaikan sehingga gelombang arus bocor (CH1) bergeser mendekati gelombang tegangan (CH2) sehingga bersifat lebih resistif hal ini dikarenakan permukaan dari isolator yang lebih konduktif akibat pengaruh lingkungan serta kondisi cuaca hujan akan mengakibatkan nilai arus bocor semakin tinggi.



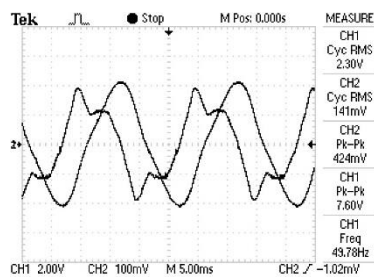
Gambar 4. Pengukuran Jam 00:00 (Cuaca Hujan)



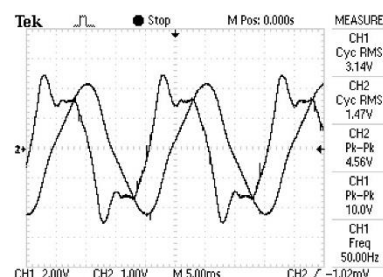
Gambar 5. Pengukuran Jam 00:00 (Cuaca Berawan)

Besar Arus Bocor Isolator Porselin terhadap Waktu Pemakaian di Lingkungan *Outdoor*

Dari hasil pengukuran bentuk gelombang menunjukkan Gambar 6 dan 7 adalah pengukuran pada jam 12.00 dan 18.00 ditunjukkan bahwa dari bentuk gelombang arus bocor (CH1) rendah dan bersifat kapasitif lalu ketika kondisi hujan pada jam 18:00 terlihat kondisi arus bocor lebih tinggi jika dibandingkan kondisi berawan pada jam 12:00 kondisi permukaan isolator yang basah akibat hujan mengakibatkan permukaan menjadi lebih konduktif dan ketika setelah hujan arus bocor kembali turun dikarenakan permukaan isolator yang terkontaminasi oleh polutan menjadi bersih dan gelombang arus bocor (CH1) masih bersifat kapasitif dan *leading* terhadap gelombang tegangan (CH2).



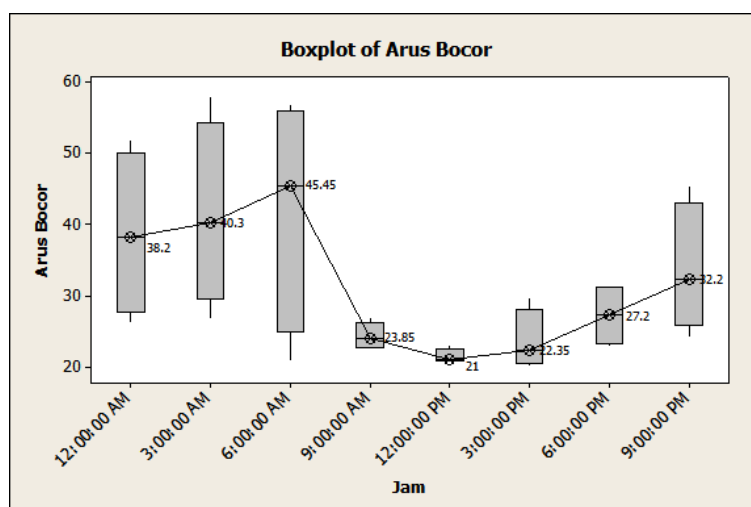
Gambar 6. Pengukuran Jam 12:00 (Cuaca Berawan)



Gambar 7. Pengukuran Jam 18:00 (Cuaca Hujan)

3.2. Box Plot Arus bocor terhadap waktu

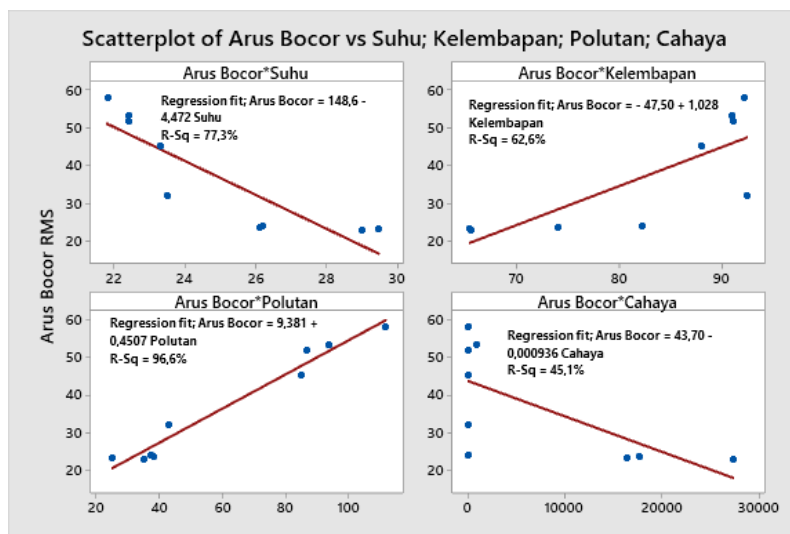
Gambar 8 menunjukkan *boxplot* arus bocor terhadap waktu untuk mengetahui waktu tertentu ketika isolator mengalami arus bocor tinggi dari hasil *boxplot* ditunjukkan rata-rata arus bocor tinggi saat malam menjelang pagi. Untuk nilai tertinggi dari hasil penelitian didapat pada jam 03:00 AM sebesar 58 μ A kondisi cuaca yang mudah berubah dan hujan pada saat penelitian menyebabkan nilai arus bocor meningkat secara drastis dan setelah hujan reda isolator mengalami penurunan arus bocor karena polutan yang menempel di permukaan isolator hilang terkena air hujan dan menjadi bersih, isolator porselin berbahan dasar tanah liat campuran, kwarts, dan *veld spat*, yang pada bagian permukaanya dilapisi dengan bahan glazuur agar bahan isolator tersebut tidak berpori-pori. Namun isolator porselin memiliki sifat hidrofobik yang rendah sehingga mudah terkontaminasi polutan dan bersifat konduktivitas tinggi.



Gambar 8. Boxplot Arus bocor terhadap Waktu Isolator Porselin

3.2. Regresi Arus Bocor terhadap Lingkungan

Regresi merupakan metode untuk mencari dan menentukan kecocokan antara parameter, secara garis besar dapat dilihat dan dianalisis faktor apa saja yang paling berpengaruh dalam pembentukan komponen arus bocor. Gambar 9 hasil regresi arus bocor dengan parameter lingkungan di mana pada saat suhu rendah arus bocor akan naik dan kelembapan pun akan meningkat seiring penurunan suhu karena intensitas cahaya yang rendah, nilai polutan yang tinggi memicu terjadinya arus bocor dimana polutan sendiri merupakan butiran-butiran debu yang menempel pada permukaan isolator dan mengalami pengotoran. Terlihat pada grafik regresi pengaruh suhu kelembapan memiliki keterkaitan dengan nilai R-sq suhu 77,3%, R-sq kelembapan 62,6%, R-sq polutan 96,6% dan R-sq cahaya 45,1% hal ini memberikan persepsi bahwa sifat material porselin rentan dengan pengaruh lingkungan dan tingkat polutan yang tinggi.



Gambar 9. Grafik Regresi Arus Bocor dengan Parameter Lingkungan

3.3. Korelasi Kovarian Arus Bocor dengan Parameter Lingkungan

Dari data korelasi yang didapat pada Tabel 3 nilai negatif menyatakan besar nilai antar variabel saling bertolak belakang dan jika positif menyatakan besar nilai antar variabel saling berbanding lurus di mana untuk arus bocor porselin berkorelasi kuat dan sangat dengan suhu, kelembapan dan polutan berada pada kategori kuat dan sangat kuat berdasarkan tabel informasi pada Tabel 1.

Tabel 3. Korelasi Arus Bocor

	Suhu	Kelembapan	Polutan	Cahaya
Arus Bocor	-0,879	0,791	0,983	-0,672

Pada Tabel 4 merupakan data kovarian menyatakan jumlah kenaikan atau perubahan nilai antar variabel yang berkaitan seberapa besar jumlah perubahan kenaikan dan penurunan di mana pada saat perubahan nilai ini tanpa dibatasi skala atau bisa berapapun. Parameter lingkungan terhadap arus bocor mengalami perubahan dari dua variabel yang saling terkait secara linier dengan besar yang berbeda untuk setiap parameter artinya dua variabel tersebut saling berkaitan secara linier dengan nilai (-) untuk suhu dan cahaya, lalu bernilai (+) untuk polutan dan kelembapan hal ini berhubungan dengan hasil korelasi yang menunjukkan keterkaitan serupa.

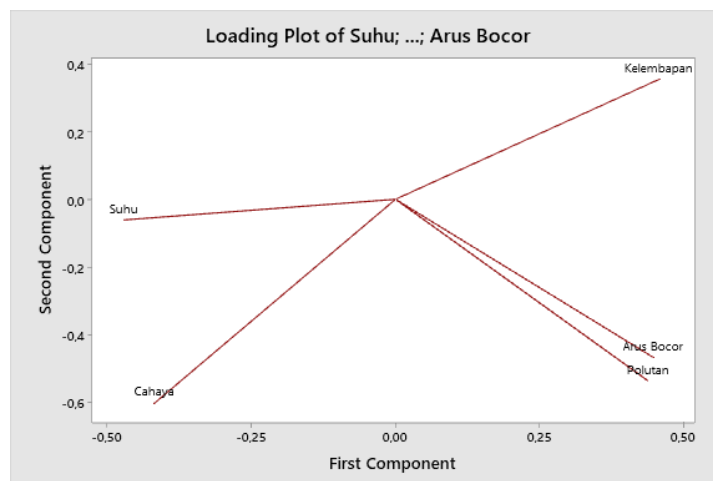
Besar Arus Bocor Isolator Porselin terhadap Waktu Pemakaian di Lingkungan *Outdoor*

Tabel 4. Kovarian Arus Bocor

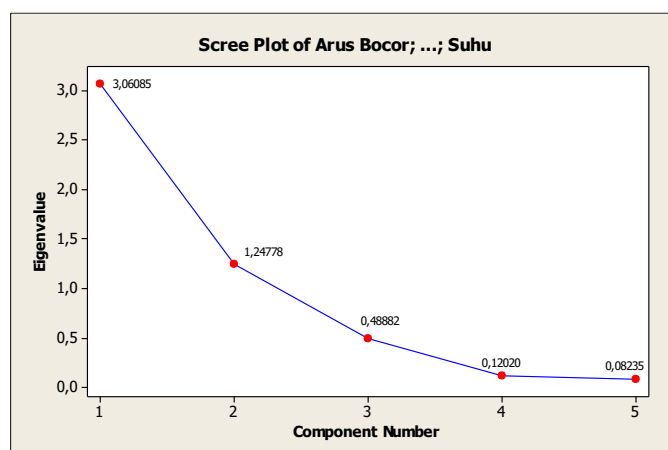
	Suhu	Kelembapan	Polutan	Cahaya
Arus Bocor	-38	133	470	-105595

3.4.PCA (*Principal Component Analysis*)

PCA (*Principal Component Analysis*) berfungsi untuk mereduksi data yang ada untuk lebih mengetahui faktor mana yang lebih dominan dalam bentuk kordinat yang baru dengan tanpa mengurangi kecocokan data yang sudah ada. Gambar 10 merupakan grafik PCA dengan variabel atau komponen yang digunakan di mana arus bocor memiliki garis yang linier dengan polutan dan kelembapan dengan arah yang sama berarti memiliki keterkaitan yang sangat kuat dan berbanding lurus setiap perubahan kenaikan hal ini menunjukkan bahwa nilai arus bocor isolator porselin sangat kuat pengaruhnya oleh polutan dan kelembapan di lingkungan sekitar, sedangkan suhu dan cahaya berlawanan arah dengan arus bocor artinya setiap perubahan nilai pada parameter tersebut sifatnya saling berlawanan



Gambar 10. Grafik PCA Isolator Porselin



Gambar 11. Scree Plot PCA

$$eigen\ value = \frac{3,06 + 1,24}{3,06 + 1,24 + 0,48 + 0,12 + 0,08} \times 100\% = 86,34\%$$

3.5. Parameter yang paling berpengaruh

Tabel 5 ini bertujuan untuk menarik kesimpulan dari empat metode analisis tersebut terhadap arus bocor untuk mengetahui variabel yang paling kuat pengaruhnya, menunjukkan bahwa parameter lingkungan yang paling berpengaruh terhadap arus bocor isolator dengan tingkat persentase yang tinggi.

Tabel 5. Parameter yang Paling Berpengaruh

Analisis	Regresi	Korelasi & Kovarian	PCA
Isolator Porselin	Suhu(77%)	Suhu (-0,87)	Suhu (86,34%)
	Kelembapan (62%)	Kelembapan (0,79)	Kelembapan (86,34%)
	Polutan(96%)	Polutan (0,98)	Polutan (86,34%)
			Cahaya (86,34%)

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis dapat menarik kesimpulan dari empat metode analisis terhadap arus bocor untuk mengetahui variabel yang paling kuat pengaruhnya. Isolator porselin rentan dengan pengaruh polutan, kelembapan dan suhu seperti ditunjukkan pada Tabel 5. Rata-rata persentase parameter tersebut berada di atas 70% dan memiliki waktu kritis arus bocor pada dinihari menjelang pagi dan akan mengalami lonjakan arus bocor pada saat hujan turun karena pada saat hujan permukaan isolator yang basah membuat permukaan isolator semakin konduktif dan membuat arus listrik lebih mudah mengalir di permukaan tersebut.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdelrahman. (2013). Equivalent Salt Deposit Density Prediction of Outdoor Polymer Insulators during Salt Fog Test. *IEEE*
- Colin, T. & Kevin, D. (2002). *Numbers, Hypotheses & Conclusions A course in Statistics for the Social Sciences*. Landsdowne: UCT Press
- Drapper, N., & Smith, H. (1992). Analisis Regresi Terapan. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama
- Mustamin, M., & Salama, M. (2013). Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi di Bawah Penuaan Tekanan Iklim Tropis Buatan yang Dipercepat. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 24-26.
- Golberg, M. A. and Cho, H. A. (2012). *Introduction to Regression Analysis*. Southampton, Boston: WIT Press
- Kutner, M.H., Nachtsheim, C.J., Neter, J. and Li, W. (2005) *Applied Linear Statistical Models. 5th Edition*, New York.: McGraw-Hill Education
- Luiz, H. M., & Wagner. (2013). Salt Fog Testing of Glass Insulators with Different Surface Conditions. 3rd International Conference on Electric Power and Energy Conversion System.

Besar Arus Bocor Isolator Porselin terhadap Waktu Pemakaian di
Lingkungan *Outdoor*

- Mustamin, M., & Salama, M. (2013). Karakteristik Isolator Polimer Tegangan Tinggi di Bawah Penuaan Tekanan Iklim Tropis Buatan yang Dipercepat. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 24-26.
- Nurwahidah. (2017). The Study of Possibility Use of Polymer EPDM Rubber Sheet as a Medium Voltage Isolator. Makassar: Universitas Hassanudin