

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Untuk menyelidiki pengaruh kelembaban udara, suhu udara, dan polutan garam pada isolator pin, dapat dilakukan dengan pengujian di laboratorium. Pengujian dilakukan dengan cara merekayasa suatu keadaan lingkungan tertentu ke dalam suatu ruang uji.

Ruang uji digunakan untuk meniru suatu keadaan lingkungan tertentu agar objek uji dapat mudah diamati dan mempercepat proses pengambilan data. Dalam pengujian ini, ruang uji didesain khusus untuk meniru kondisi lingkungan yang bervariasi, yaitu kondisi dengan tingkat kelembaban udara rendah, sedang, dan tinggi, suhu udara rendah, sedang, dan tinggi, serta kondisi isolator dan udara saat berpolutan garam. Saat pengujian, pengaruh kondisi lingkungan tersebut diamati melalui arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator.

Dengan melakukan pengujian ini, diharapkan dapat diketahui nilai arus bocor isolator pin pada kondisi lingkungan yang bervariasi mengacu pada keadaan sebenarnya yang terjadi di lapangan. Dengan demikian resistansi permukaan isolator akibat pengaruh kondisi lingkungan dapat diketahui nilainya, sehingga selanjutnya diharapkan dapat ditemukan cara yang tepat untuk pemecahan masalah tersebut. Serta membuktikan kebenaran teori-teori yang telah dipelajari.

4.2 Pengujian Arus Bocor

Pengujian arus bocor dilakukan dengan dua kondisi seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, yaitu kondisi isolator bersih dengan tingkat kelembaban dan suhu yang bervariasi dan kondisi isolator berpolutan garam dengan tingkat kelembaban dan suhu yang bervariasi. Pengujian ini untuk mengamati arus bocor pada isolator, dimana menurut teori kinerja isolator banyak dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Dalam pengujian arus bocor pada kondisi berpolutan garam ini menggunakan metode yang sama dengan pengujian pada kondisi bersih. Namun isolator yang diuji dalam ruang uji diganti dengan isolator yang berpolutan garam yang telah di *treatment* sebelumnya dan mengganti air dalam *humidifier* dengan air garam. Sehingga kabut yang keluar dalam ruang uji adalah kabut garam.

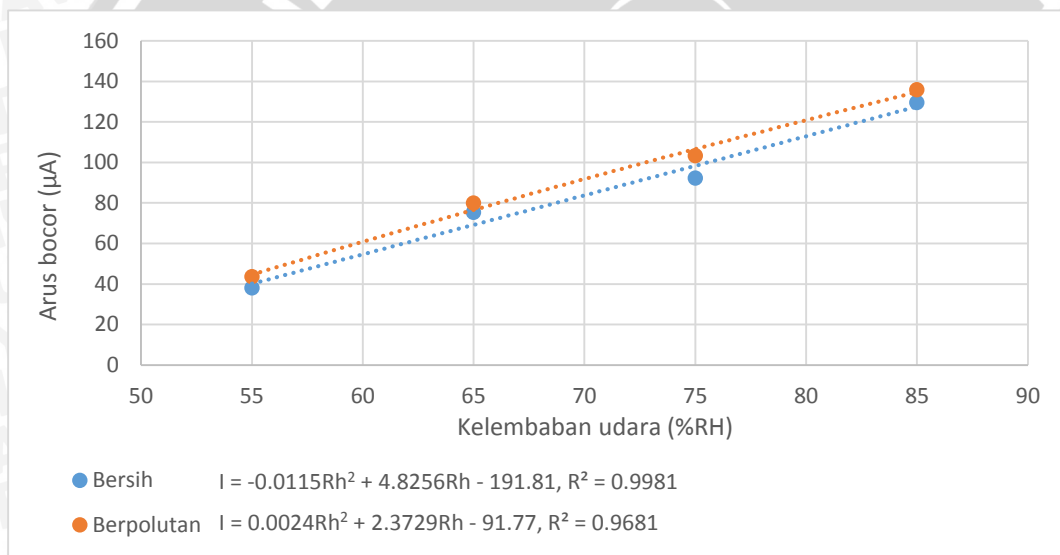
4.3 Data Hasil Pengujian Arus Bocor Terhadap Variasi Kelembaban

4.3.1 Pengujian arus bocor pada tegangan 12 kV

Data seluruh hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran. Data pada Tabel 4.1 merupakan data pengujian arus bocor pada kondisi isolator bersih dan berpolutan garam dengan tegangan masukan sebesar 12 kV, suhu didalam ruang uji 30°C, dan variasi tingkat kelembaban 55 – 85%. Nilai yang diambil merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengujian.

Tabel 4.1 Arus Bocor Pada Tegangan 12 kV dan Suhu 30°C

Tegangan (kV)	Suhu (°C)	Kelembaban (% RH)	Arus Bocor (μA)		ΔI (μA)
			Bersih	Berpolutan	
12	30	55	38.05	43.50	5.45
		65	75.27	79.92	4.65
		75	92.24	103.23	10.99
		85	129.61	135.84	6.23
Rata-rata			83.79	90.62	6.83

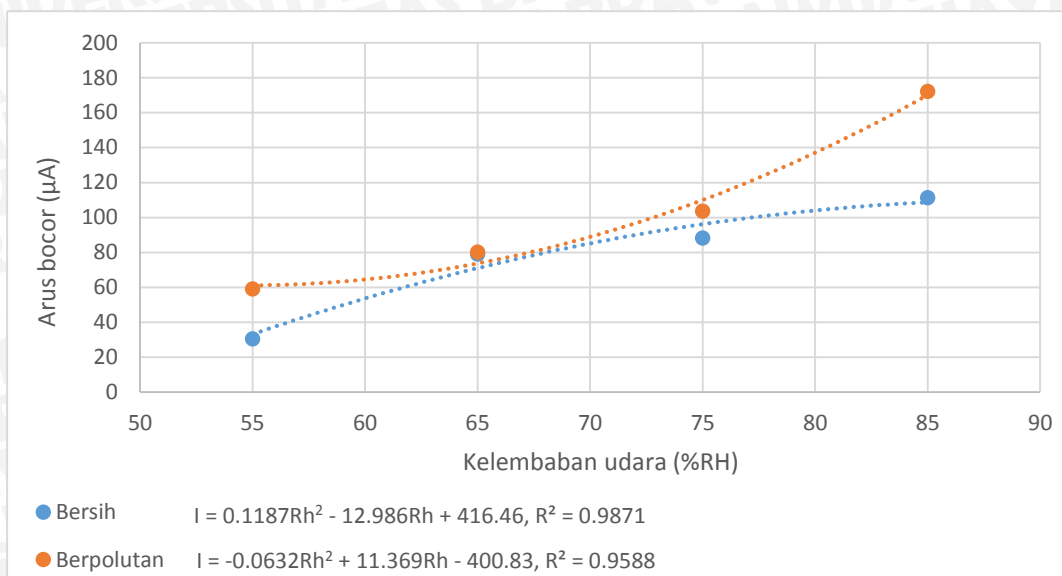


Gambar 4.1 Grafik arus bocor pada tegangan 12 kV dan suhu 30°C

Data pada Tabel 4.2 merupakan data pengujian arus bocor dengan tegangan masukan sebesar 12 kV, suhu didalam ruang uji 40°C, dan variasi tingkat kelembaban 55 – 85%. Nilai yang diambil merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengujian.

Tabel 4.2 Arus Bocor Pada Tegangan 12 kV dan Suhu 40°C

Tegangan (kV)	Suhu (°C)	Kelembaban (% RH)	Arus Bocor (μA)		ΔI (μA)
			Bersih	Berpolutan	
12	40	55	30.52	59.04	28.52
		65	79.04	80.23	1.19
		75	88.16	103.53	15.37
		85	111.39	172.19	60.80
Rata-rata			77.28	103.75	26.47

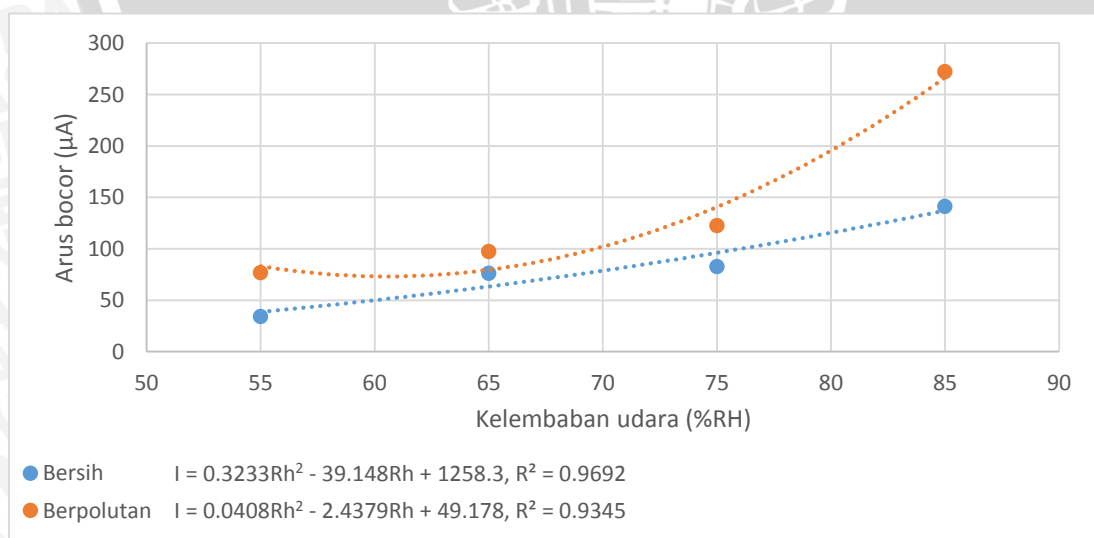


Gambar 4.2 Grafik arus bocor pada tegangan 12 kV dan suhu 40°C

Data pada Tabel 4.3 merupakan data pengujian arus bocor dengan tegangan masukan sebesar 12 kV, dengan suhu didalam ruang uji 50°C, dan variasi tingkat kelembaban 55 – 85%. Nilai yang diambil merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengujian.

Tabel 4.3 Arus Bocor Pada Tegangan 12 kV dan Suhu 50°C

Tegangan (kV)	Suhu (°C)	Kelembaban (% RH)	Arus Bocor (µA)		ΔI (µA)
			Bersih	Berpolutan	
12	50	55	34.29	77.05	42.76
		65	76.41	97.62	21.21
		75	83.00	122.57	39.57
		85	141.45	272.46	131.01
Rata-rata			83.79	142.43	58.64

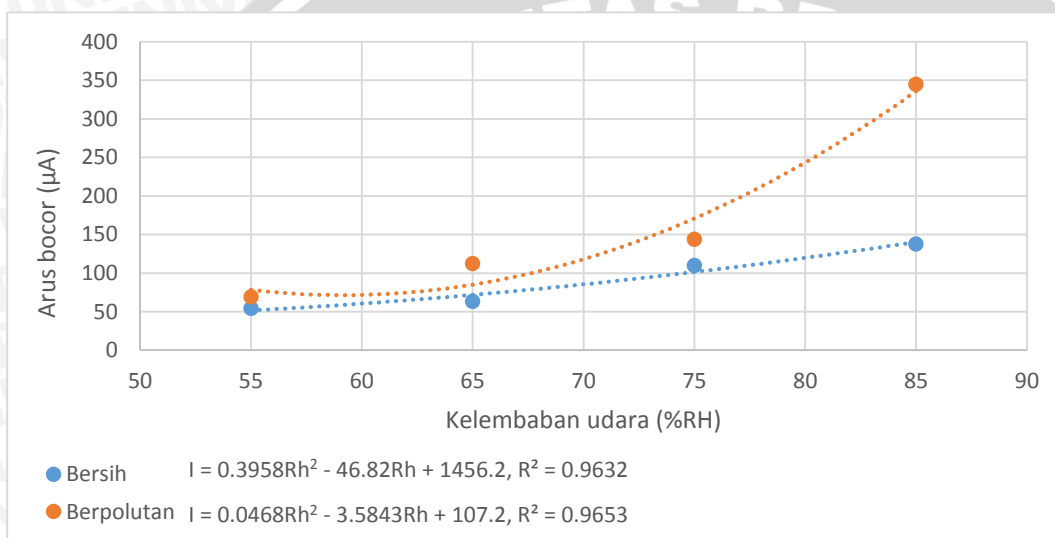


Gambar 4.3 Grafik arus bocor pada tegangan 12 kV dan suhu 50°C

Data pada Tabel 4.4 merupakan data pengujian arus bocor dengan tegangan masukan sebesar 12 kV, dengan suhu didalam ruang uji mencapai 60°C, dan variasi tingkat kelembaban 55 – 85%. Nilai yang diambil merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengujian.

Tabel 4.4 Arus Bocor Pada Tegangan 12 kV dan Suhu 60°C

Tegangan (kV)	Suhu (°C)	Kelembaban (% RH)	Arus Bocor (μA)		ΔI (μA)
			Bersih	Berpolutan	
12	60	55	54.35	69.20	14.85
		65	63.27	112.18	48.91
		75	109.92	143.61	33.69
		85	137.54	344.89	207.35
Rata-rata			91.27	167.47	76.20



Gambar 4.4 Grafik arus bocor pada tegangan 12 kV dan suhu 60°C

Pada gambar grafik didapatkan persamaan untuk setiap kondisi, dengan I merupakan arus bocor (μA) dan Rh merupakan kelembaban udara (%RH). Persamaan fungsi grafik pada semua gambar didapatkan dengan menggunakan metode regresi polinomial orde dua. Dari data hasil pengujian terlihat bahwa kelembaban rendah mempunyai nilai arus bocor yang kecil dibanding kelembaban tinggi. Semakin tinggi nilai kelembaban udara, maka semakin besar pula nilai arus bocor isolator. Bila dibandingkan pada tabel dan grafik, nilai-nilai arus bocor isolator berpolutan garam lebih besar dari isolator bersih pada semua tingkat kelembaban. Hal tersebut dikarenakan permukaan isolator terbasahi oleh titik air akibat kelembaban tinggi dan kehadiran polutan garam dapat mengurangi resistansi permukaan isolator. Sehingga mengakibatkan permukaan isolator semakin konduktif dan arus bocor semakin besar.

4.4 Data Hasil Pengujian Arus Bocor Terhadap Variasi Suhu

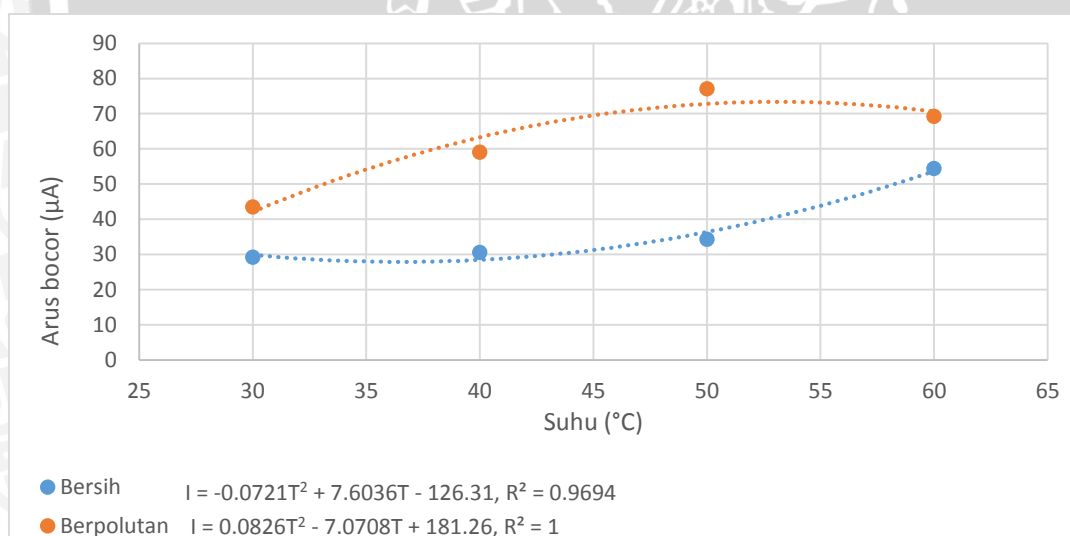
4.4.1 Pengujian arus bocor pada tegangan 12 kV

Pengaruh perubahan suhu terhadap nilai arus bocor pada isolator dapat diketahui dari data hasil pengujian sebagai berikut. Pengujian dilakukan dengan mengatur tingkat kelembaban udara dalam ruang uji pada kondisi tetap, kemudian suhu udara divariasikan mulai dari 30°C sampai 60°C.

Data pada Tabel 4.5 merupakan data pengujian arus bocor pada kondisi isolator bersih dan berpolutan dengan tegangan masukan sebesar 12 kV, kelembaban udara dalam ruang uji 55 %, dan suhu udara 30°C - 60°C. Nilai yang diambil merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengujian.

Tabel 4.5 Arus Bocor Pada Tegangan 12 kV dan kelembaban 55 %

Tegangan (kV)	Kelembaban (% RH)	Suhu (°C)	Arus Bocor (μA)		ΔI (μA)
			Bersih	Berpolutan	
12	55	30	29.28	43.50	14.22
		40	30.52	59.04	28.52
		50	34.29	77.05	42.76
		60	54.35	69.20	14.85
Rata-rata			39.30	62.20	22.90

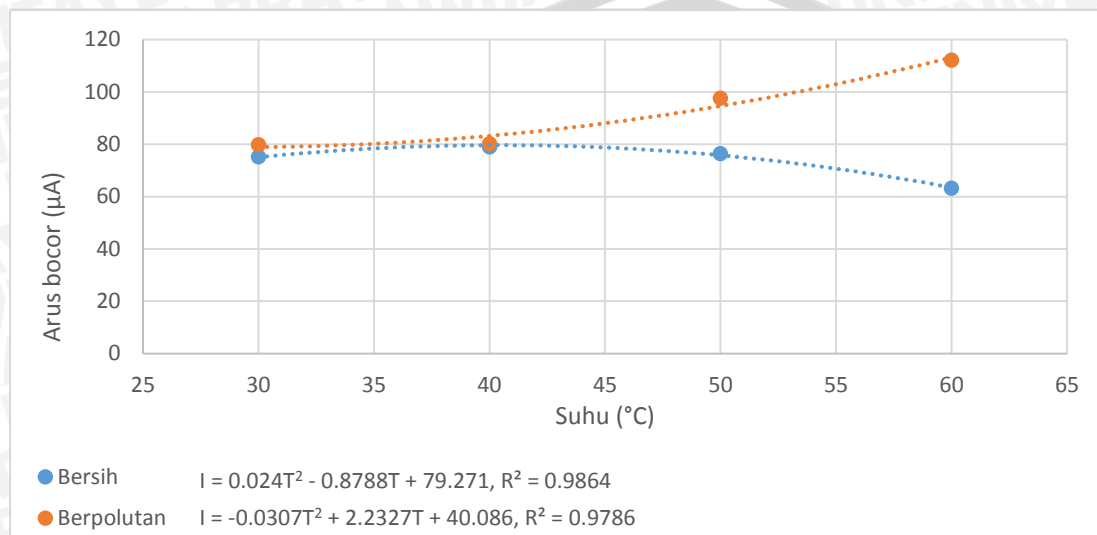


Gambar 4.5 Grafik arus bocor pada tegangan 12 kV dan kelembaban 55 %

Data pada Tabel 4.6 merupakan data pengujian arus bocor pada tegangan masukan sebesar 12 kV, kelembaban udara sebesar 65 %, dan suhu di dalam ruang uji 30°C - 60°C. Nilai yang diambil merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengujian.

Tabel 4.6 Arus Bocor Pada Tegangan 12 kV dan kelembaban 65 %

Tegangan (kV)	Kelembaban (% RH)	Suhu (°C)	Arus Bocor (μA)		ΔI (μA)
			Bersih	Berpolutan	
12	65	30	75.27	79.92	4.65
		40	79.04	80.23	1.19
		50	76.41	97.62	21.21
		60	63.27	112.18	48.91
Rata-rata			73.50	92.49	18.99

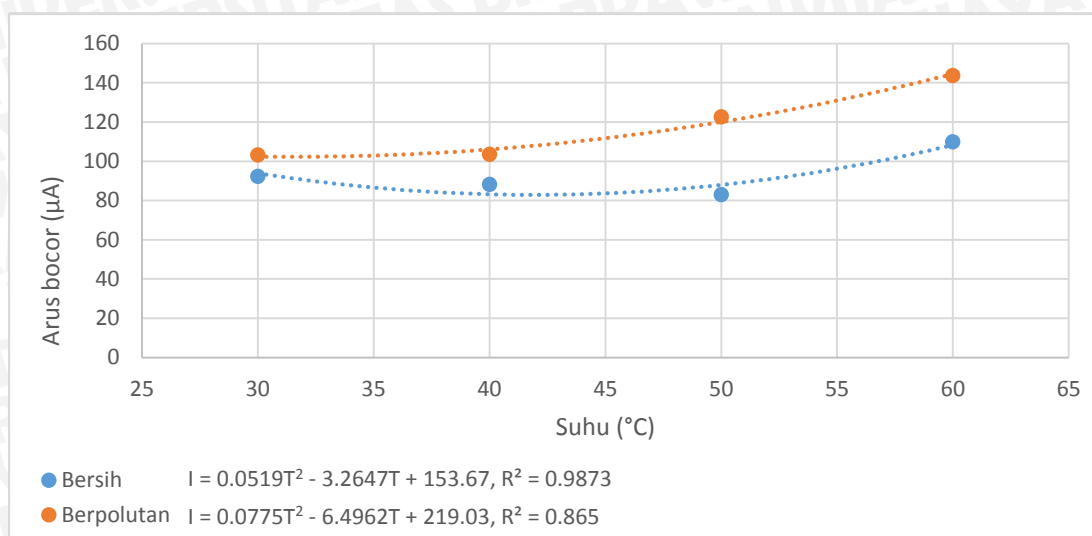


Gambar 4.6 Grafik arus bocor pada tegangan 12 kV dan kelembaban 65 %

Data pada Tabel 4.7 merupakan data pengujian arus bocor pada kondisi isolator bersih dan berpolutan dengan tegangan masukan sebesar 12 kV, kelembaban udara dalam ruang uji 75 %, dan suhu udara 30°C - 60°C. Nilai yang diambil merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengujian.

Tabel 4.7 Arus Bocor Pada Tegangan 12 kV dan kelembaban 75 %

Tegangan (kV)	Kelembaban (% RH)	Suhu (°C)	Arus Bocor (μA)		ΔI (μA)
			Bersih	Berpolutan	
12	75	30	92.24	103.23	10.99
		40	88.16	103.53	15.37
		50	83.00	122.57	39.57
		60	109.92	143.61	33.69
Rata-rata			93.33	118.24	24.91

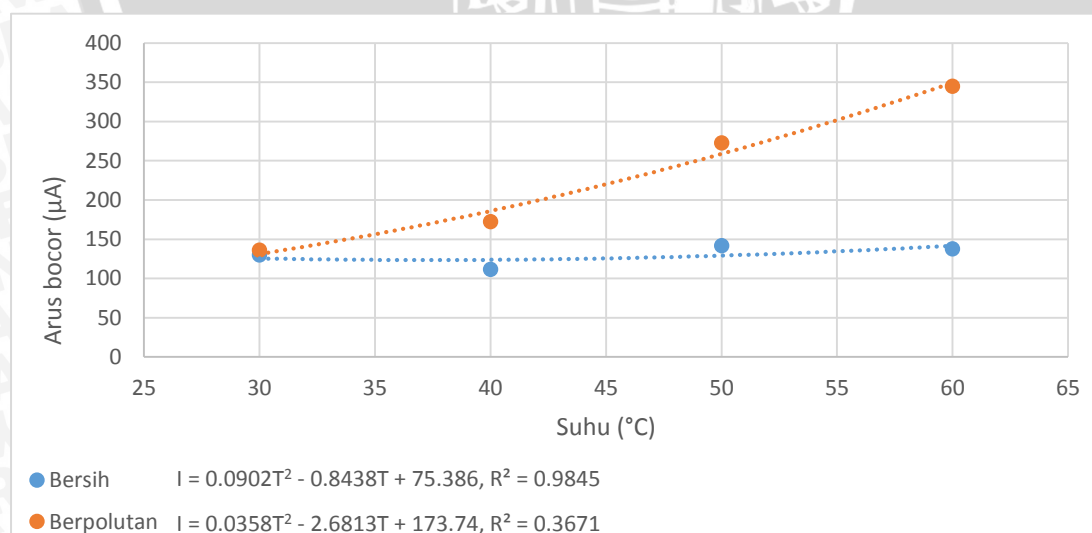


Gambar 4.7 Grafik arus bocor pada tegangan 12 kV dan kelembaban 75 %

Data pada Tabel 4.8 merupakan data pengujian arus bocor pada tegangan masukan sebesar 12 kV, kelembaban udara sebesar 85 %, dan suhu di dalam ruang uji 30 $^{\circ}\text{C}$ - 60 $^{\circ}\text{C}$. Nilai yang diambil merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengujian.

Tabel 4.8 Arus Bocor Pada Tegangan 12 kV dan kelembaban 85 %

Tegangan (kV)	Kelembaban (% RH)	Suhu (°C)	Arus Bocor (µA)		ΔI (µA)
			Bersih	Berpolutan	
12	85	30	129.61	135.84	6.23
		40	111.39	172.19	60.80
		50	141.45	272.46	131.01
		60	137.54	344.89	207.35
Rata-rata			130.00	231.35	101.35



Gambar 4.8 Grafik arus bocor pada tegangan 12 kV dan kelembaban 85 %

Pada semua gambar grafik didapatkan persamaan untuk setiap kondisi, dengan I merupakan arus bocor (μA) dan T merupakan suhu udara dalam ruang uji ($^{\circ}C$). Persamaan fungsi grafik pada semua gambar didapatkan dengan menggunakan metode regresi polinomial orde dua. Data hasil pengujian menunjukkan semakin naik suhu didalam ruang uji, nilai arus bocor yang mengalir di permukaan isolator semakin besar. Nilai arus bocor meningkat drastis pada kelembaban tinggi. Karena saat kelembaban tinggi, dengan semakin dinaikkannya suhu, uap air di dalam ruang uji semakin banyak, dan seisi ruang uji menjadi berembun karena uap air panas menempel pada permukaan. Permukaan isolator pun semakin banyak ditutupi oleh uap air, sehingga menjadikannya semakin konduktif.

4.5 Data Hasil Pengujian Arus Bocor Terhadap Variasi Tegangan

Sama seperti pembahasan sebelumnya, nilai arus bocor isolator mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya tegangan kerja yang diterapkan pada saat pengujian. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai arus bocor isolator bersih dan berpolutan garam sebagai berikut. Masing-masing data yang ditampilkan adalah pengujian pada kondisi tingkat kelembaban 55% RH sampai dengan 85% RH, dan kondisi variasi suhu dalam ruang uji $30^{\circ}C$ sampai dengan $60^{\circ}C$. Nilai yang diambil merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengujian. Untuk data yang lain dapat dilihat pada lampiran.

4.5.1 Pengujian arus bocor pada kelembaban 55% – 85% RH

Data pada Tabel 4.9 dibawah ini merupakan hasil pengujian arus bocor terhadap variasi tegangan pada kondisi bersih dan berpolutan garam dengan tegangan kerja 12 kV, suhu di dalam ruang uji sebesar $30^{\circ}C$, dan tingkat kelembaban 55% RH sampai dengan 85% RH. Sekilas terlihat dari data pada tabel nilai arus bocor semakin naik secara bertahap seiring peningkatan tegangan kerja dalam kondisi isolator bersih maupun berpolutan garam.

Tabel 4.9 Arus Bocor Isolator Terhadap Variasi Tegangan Pada Suhu 30°C

Suhu (°C)	Kelembaban (%RH)	Tegangan (kV)	Arus Bocor (μA)	
			Bersih	Berpolutan
30	55	2	5.34	6.86
		4	10.90	14.14
		6	17.07	22.39
		8	23.69	30.90
		10	30.90	38.85
		12	38.05	43.50
	65	2	10.69	11.56
		4	21.91	24.09
		6	34.16	37.12
		8	46.79	53.33
		10	60.21	67.31
		12	75.27	79.92
	75	2	13.84	57.48
		4	28.99	61.77
		6	45.11	81.24
		8	61.78	92.38
		10	78.41	92.66
		12	92.24	103.23
	85	2	42.97	83.26
		4	90.15	93.12
		6	109.53	116.74
		8	110.61	117.22
		10	119.99	137.17
		12	129.61	135.84

4.5.2 Pengujian arus bocor pada suhu 30°C - 60°C

Data pada Tabel 4.10 dibawah ini merupakan hasil pengujian arus bocor terhadap variasi tegangan pada kondisi bersih dan berpolutan garam dengan tegangan kerja 12 kV, tingkat kelembaban 55% RH, dan suhu di dalam ruang uji sebesar 30°C-60°C.

Tabel 4.10 Arus Bocor Isolator Terhadap Variasi Tegangan Pada Kelembaban 55% RH

Kelembaban (%RH)	Suhu (°C)	Tegangan (kV)	Arus Bocor (μ A)	
			Bersih	Berpolutan
55	30	2	5.34	6.86
		4	10.90	14.14
		6	17.07	22.39
		8	23.69	30.90
		10	30.90	38.85
		12	38.05	43.50
	40	2	6.73	9.25
		4	11.00	18.15
		6	15.48	28.25
		8	20.38	38.51
		10	25.42	48.58
		12	30.52	59.04
	50	2	8.95	15.79
		4	15.12	27.10
		6	17.12	39.64
		8	28.50	50.61
		10	38.91	61.87
		12	34.29	77.05
	60	2	13.55	22.34
		4	14.54	28.46
		6	22.69	33.95
		8	28.58	59.12
		10	41.04	58.10
		12	54.35	69.20

Berdasarkan data pada tabel, nilai arus bocor berbanding lurus terhadap variasi tegangan pada kondisi isolator bersih maupun berpolutan garam. Semakin naik tegangan kerja maka semakin besar pula nilai arus bocor pada permukaan isolator. Hal itu terjadi karena jika diantara elektroda diterapkan suatu tegangan sebesar V, maka akan timbul suatu medan listrik E yang mempunyai besar dan arah tertentu. Pada medan listrik, elektron-elektron bebas akan mendapatkan energi yang cukup kuat dan pergerakannya dipercepat, sehingga dapat merangsang proses ionisasi. Jika besar tegangan terus dinaikkan maka jumlah elektron yang diionisasikan akan lebih banyak lagi dibandingkan dengan jumlah ion yang ditangkap menjadi molekul oksigen. Masing-masing elektron akan berjalan menuju anoda secara kontinyu dan mengalami benturan-benturan yang membebaskan lebih banyak elektron. Banyaknya elektron yang dibebaskan menimbulkan banjir elektron yang disebut

avalanche electron. Semakin tinggi tegangan yang diterapkan diantara kedua elektroda maka arus yang mengalir juga semakin besar.

4.6 Pengaruh Kelembaban Udara dan Suhu Terhadap Nilai Resistansi Permukaan Isolator

Besarnya nilai resistansi permukaan isolator sangat ditentukan oleh besar kecilnya arus bocor yang mengalir pada permukaannya. Data hasil pengujian membuktikan bahwa peningkatan kelembaban udara dan suhu diikuti dengan meningkatnya nilai arus bocor. Mengacu pada data yang terdapat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.5, kemudian mengambil salah satu data pada suhu 30°C dan kelembaban 55% yaitu tegangan 12 kV dan arus bocor 38.05 μA , maka nilai rata-rata resistansi permukaan pada isolator dapat dihitung dengan persamaan hukum Ohm sebagai berikut:

$$R = \left(\frac{V}{I}\right)$$

$$R = \left(\frac{12 \times 10^3}{38.05 \times 10^{-6}}\right)$$

$$R = 315.37 \text{ M}\Omega$$

Dengan cara yang sama, maka hasil dari perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4.11 dan 4.12. untuk data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran

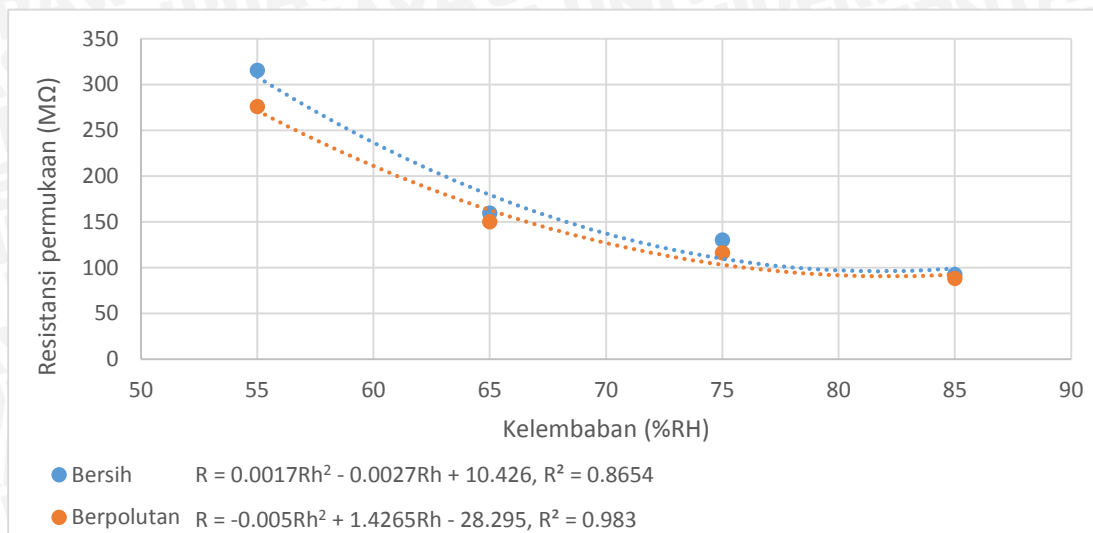
Tabel 4.11 Nilai Resistansi Permukaan Isolator Pada Tegangan 12 kV dan Suhu 30°C Terhadap Variasi Kelembaban 55-85% RH

Tegangan (kV)	Suhu (°C)	Kelembaban (% RH)	Resistansi Permukaan (MΩ)	
			Bersih	Berpolutan
12	30	55	409.84	275.86
		65	159.43	150.15
		75	130.10	116.25
		85	92.59	88.34
Rata-rata			197.99	157.65

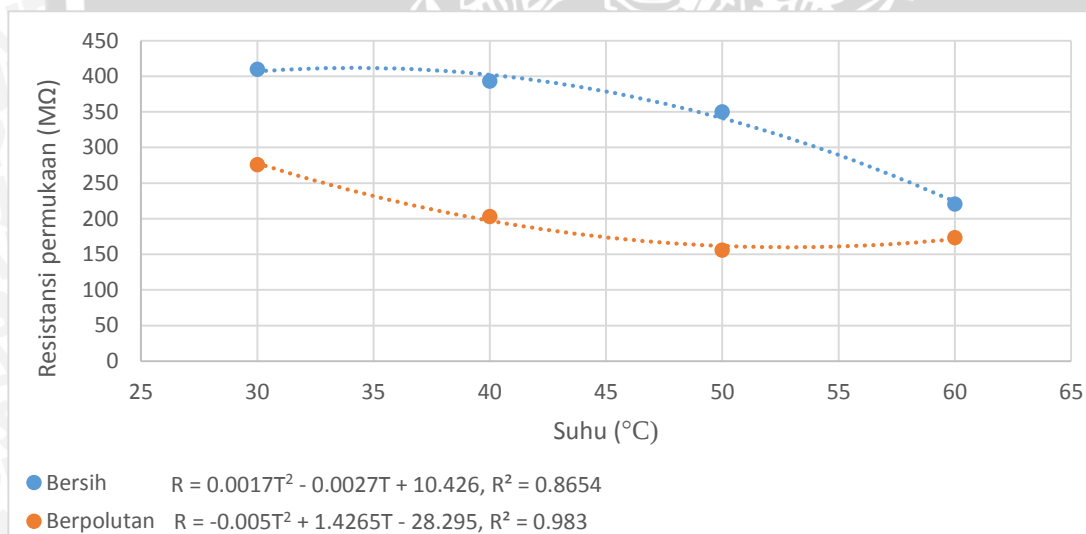
Tabel 4.12 Nilai Resistansi Permukaan Isolator Pada Tegangan 12 kV dan Kelembaban 55% Terhadap Variasi Suhu 30-60°C

Tegangan (kV)	Kelembaban (% RH)	Suhu (°C)	Resistansi Permukaan (MΩ)	
			Bersih	Berpolutan
12	55	30	409.84	275.86
		40	393.18	203.25
		50	349.96	155.74
		60	220.79	173.41
Rata-rata			343.44	202.07

Dari Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 maka dapat grafik hubungan pengaruh kelembaban udara dan suhu terhadap nilai resistansi permukaan isolator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan gambar 4.10 dibawah ini



Gambar 4.9 Grafik hubungan variasi kelembaban terhadap nilai resistansi permukaan isolator pada tegangan 12 kV dan suhu 30°C



Gambar 4.10 Grafik hubungan variasi suhu terhadap nilai resistansi permukaan isolator pada tegangan 12 kV dan kelembaban 55%

Untuk persamaan fungsi grafik Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 didapatkan dengan menggunakan metode regresi polinomial orde dua. Pada grafik didapatkan persamaan untuk setiap kondisi pengujian, dengan R merupakan resistansi permukaan (MΩ), kemudian Rh adalah tingkat kelembaban (%RH) dan T adalah suhu/temperatur (°C).

Dari grafik diatas terlihat bahwa kelembaban udara dan suhu memeberikan perubahan yang signifikan terhadap nilai resistansi permukaan isolator. Semakin meningkat

kelembaban udara dan suhu, maka semakin rendah nilai resistansi permukaan isolator. Arus bocor merupakan fungsi dari nilai resistansi permukaan isolator, artinya dengan meningkatnya nilai arus bocor maka akan diikuti dengan menurunnya nilai resistansi permukaan isolator karena arus bocor merupakan hasil pengukuran, maka sesuai dengan hukum Ohm yang menyatakan bahwa arus I (Ampere) yang mengalir dalam sebuah bahan, berbanding lurus dengan tegangan (Volt) dan berbanding terbalik dengan nilai resistansinya (Ohm).

Jika dibandingkan grafik pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.5 yang menunjukkan nilai arus bocor pada permukaan isolator semakin meningkat seiring naiknya kelembaban udara dan suhu. Tetapi berlaku sebaliknya terhadap resistansi isolator, dimana data grafik pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 menunjukkan kurva menanjak turun.

Berdasarkan data pada Tabel 4.13 dapat dilihat nilai resistansi isolator pada pengujian kondisi bersih terhadap variasi kelembaban dengan tegangan kerja 12 kV berturut-turut sebesar 351.37 M Ω , 159.43 M Ω , 130.10 M Ω , dan 92.59 M Ω . Sedangkan pada pengujian kondisi berpolutan garam berturut-turut sebesar 275.86 M Ω , 150.12 M Ω , 116.25 M Ω , dan 88.34 M Ω . Rata-rata nilai resistansi isolator pada kondisi bersih sebesar 197.99 M Ω dan pada kondisi berpolutan garam sebesar 157.65 M Ω .

Untuk nilai resistansi permukaan isolator pada pengujian kondisi bersih terhadap variasi suhu dengan tegangan kerja 12 kV berturut-turut sebesar 409.84 M Ω , 393.18 M Ω , 349.96 M Ω , dan 220.79 M Ω . Sedangkan pada pengujian kondisi berpolutan garam berturut-turut 275.86 M Ω , 203.25 M Ω , 155.74 M Ω , dan 173.41 M Ω . Rata-rata nilai resistansi isolator pada kondisi bersih sebesar 343.44 M Ω dan pada kondisi berpolutan garam sebesar 202.07 M Ω .

Berdasarkan data hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa variasi kelembaban udara dapat menurunkan nilai resistansi isolator, ditambah dengan kehadiran polutan garam yang mengakibatkan terjadinya penurunan resistansi permukaan isolator secara signifikan. Jika dibandingkan, rata-rata resistansi isolator pada pengujian variasi kelembaban lebih kecil dibanding pengujian variasi suhu. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kelembaban udara dan polutan garam memberikan kontribusi terbesar terhadap penurunan nilai resistansi permukaan isolator.

