

STUDI DISTRIBUSI TEGANGAN DAN ARUS BOCOR PADA ISOLATOR RANTAI DENGAN PEMBASAHAN

Riza Aryanto.¹, Moch. Dhofir, Drs., Ir., MT.², Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya

Jalan MT Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: aryanto.riza@gmail.com

Abstrak—Pada saluran transmisi hantaran udara, isolator yang digunakan berupa rangkaian isolator rantai yang cara peletakkannya digantungkan pada menara transmisi. Isolator rantai terdiri dari isolator piring yang disusun secara seri atau berantai. Komponen isolator rantai terdiri dari “konduktor-dielektrik-konduktor” yang analog dengan komposisi suatu kapasitor. Karena isolator rantai digunakan pada ruang terbuka, maka akan dipengaruhi oleh cuaca atau iklim. Iklim di Indonesia berupa iklim tropis, sehingga sangat dipengaruhi oleh radiasi sinar matahari dan intensitas pembasahan (hujan) yang cukup tinggi. Intensitas pembasahan sangat berpengaruh terhadap arus bocor isolator rantai dan tegangan yang disalurkan berpengaruh terhadap distribusi tegangan pada isolator rantai. Pengujian yang dilakukan dalam 2 kondisi yaitu kondisi kering dan kondisi basah, kondisi basah untuk mengetahui pengaruh intensitas pembasahan terhadap distribusi tegangan dan arus bocor yang mengalir pada isolator rantai tersebut. Dalam pengujian pengaruh intensitas pembasahan terhadap distribusi tegangan kurang terlihat perbedaannya meskipun tingkat intensitas pembasahan dinaikkan. Sedangkan pengujian pada arus bocor, perbedaan arus yang mengalir lewat permukaan isolator dapat dibedakan dari kondisi kering sampai intensitas pembasahan tinggi, dan arus bocor pada isolator rantai dapat menyebabkan rugi-rugi daya akibat arus yang mengalir lewat permukaan isolator tersebut.

Kata kunci— intensitas pembasahan, distribusi tegangan, arus bocor.

I. PENDAHULUAN

Pada umumnya pusat-pusat pembangkit tenaga listrik letaknya cukup jauh dari pusat beban, sehingga untuk menyalurkannya dibutuhkan saluran transmisi dan saluran distribusi. Pada saluran transmisi terdapat 2 kategori untuk menyalurkan tenaga listrik yaitu melalui saluran transmisi hantaran udara dan saluran kabel bawah tanah. Pada saluran transmisi hantaran udara untuk menyalurkan tenaga listrik digunakan kawat penghantar yang cara peletakkannya digantungkan pada menara transmisi dengan perantaraan suatu isolator.

Isolator yang digunakan pada saluran transmisi hantaran udara berupa rangkaian isolator rantai yang cara peletakkannya digantungkan pada menara transmisi. Komponen isolator rantai terdiri dari

isolator piring yang disusun secara seri atau berantai. Isolator piring terdiri dari bahan dielektrik, jepitan logam, dan bahan perekat yang mengikat jepitan logam dengan bahan dielektrik. Dengan demikian isolator piring merupakan gabungan dari “konduktor-dielektrik-konduktor” yang analog dengan komposisi suatu kapasitor [1].

Isolator rantai biasanya digunakan pada ruang terbuka, dimana ruang terbuka sangat dipengaruhi oleh cuaca atau iklim. Iklim di Indonesia adalah iklim tropis, dimana daerah yang beriklim tropis mempunyai ciri-ciri curah hujan tinggi, dan radiasi sinar matahari (*ultraviolet*) yang cukup tinggi [2].

Ketika terjadi hujan, resistansi pada permukaan isolator rantai akan turun. Hal ini disebabkan pada permukaan isolator akan terlapisi air hujan yang membuat tahanan isolator semakin rendah. Rendahnya tahanan isolator menimbulkan arus bocor pada permukaan isolator sehingga dalam jangka waktu tertentu akan menimbulkan tegangan *flashover* pada isolator rantai tersebut. Kegagalan isolator untuk mengisolir konduktor (kawat penghantar) tidak hanya dipengaruhi oleh iklim, tetapi juga dipengaruhi oleh tegangan yang disalurkan. Tegangan yang disalurkan di Indonesia adalah tegangan AC, akibatnya jika isolator diberi tegangan AC, maka distribusi tegangan pada setiap isolator menjadi berbeda-beda. Jika tegangan yang dipikul oleh salah satu isolator rantai melebihi dari kemampuan isolator rantai tersebut, maka isolator rantai dapat rusak atau pecah.

Dalam pengujian disini akan menganalisis pengaruh tingkat pembasahan isolator rantai terhadap distribusi tegangan dan arus bocor, yang nantinya dapat menentukan rugi-rugi daya akibat adanya arus bocor yang mengalir lewat permukaan isolator tersebut..

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Curah Hujan

Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Curah hujan 1 (satu) milimeter artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter. Intensitas hujan adalah

banyaknya curah hujan persatuan jangka waktu tertentu [3].

B. Distribusi Tegangan

Isolator rantai terdiri dari beberapa buah isolator piring yang disusun secara seri menjadi suatu rentengan. Setiap unit isolator piring membentuk susunan yang meliputi “konduktor-dielektrik-konduktor”. Hal tersebut menyebabkan isolator dapat dianggap sebagai suatu susunan kapasitor [4].

Untuk menentukan perhitungan berdasarkan hasil pengujian terlebih dahulu menentukan nilai α , yaitu nilai perbandingan antara kapasitansi tiap keping ke menara dengan kapasitansi antar keping pada isolator rantai. Nilai ini dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$U_N = 2A \sinh \alpha N \quad (1)$$

Keterangan:

U_N : tegangan isolator ke N

Dari persamaan tersebut dinyatakan bahwa

$$U_n = 2A \sinh (\alpha n),$$

dengan n = titik pengamatan.

Dengan nilai α yang telah diperoleh tersebut, maka dengan menggunakan persamaan,

$$\frac{U_n}{U_N} = \frac{\sinh (\alpha n)}{\sinh (\alpha N)} \times 100 \% \quad (2)$$

tegangan pada tiap titik pengamatan dapat diketahui, dan dapat dibandingkan dengan hasil pengujian.

C. Arus Bocor

Timbulnya arus bocor diawali oleh adanya lapisan konduktif pada permukaan isolator. Lapisan konduktif terbentuk akibat adanya pembasahan di permukaan isolator. Pada keadaan bersih, permukaan isolator memiliki tahanan listrik yang besar. Pembentukan lapisan konduktif disebabkan adanya kontaminasi air pada permukaan isolator sehingga menyebabkan penurunan nilai tahanan pada permukaan isolator. Penurunan ini menyebabkan terjadinya arus bocor pada permukaan isolator [5].

Setelah didapatkan arus bocor dari hasil pengujian, langkah selanjutnya menentukan resistansi permukaan (R_s). Resistansi permukaan dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut,

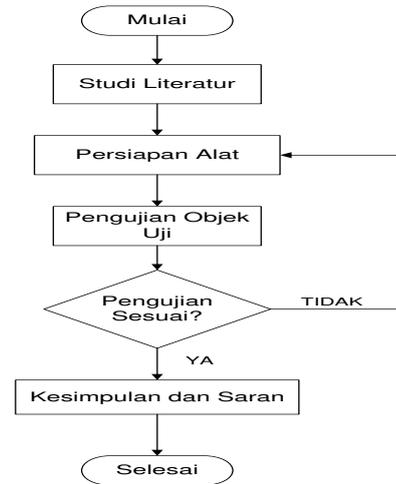
$$R_s = \frac{V}{I} \quad (3)$$

Setelah didapatkan nilai resistansi permukaan, langkah selanjutnya menentukan rugi daya listrik akibat dari mengalirnya arus bocor tersebut. Rugi daya listrik dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut,

$$P_{\text{loss}} = I_c^2 \cdot R_{\text{pol}} \quad (4)$$

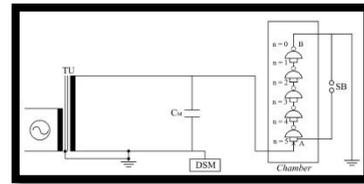
III. METODE PENELITIAN

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian, maka diperlukan untuk menyelesaikan masalah tersebut sesuai dengan Gambar 1.



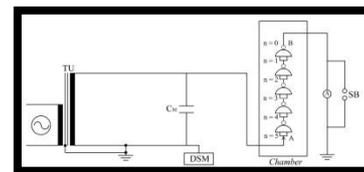
Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

Rangkaian pengujian yang digunakan untuk mengetahui distribusi tegangan dan arus bocor pada isolator rantai akan diberikan seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. Rangkaian pengujian distribusi tegangan isolator rantai dengan 5 keping isolator.

Dalam pengujian distribusi tegangan digunakan tegangan bolak-balik (AC) hal ini untuk mempresentasikan kondisi dilapangan di mana tegangan sistem yang digunakan pada saluran transmisi di Indonesia adalah menggunakan tegangan bolak-balik. Pada pengujian distribusi tegangan pada isolator rantai terdapat titik 0 sampai titik 5, titik 0 merupakan titik paling ujung, titik 1 sampai dengan titik 5 merupakan titik pengamatan.



Gambar 3. Rangkaian pengujian arus bocor isolator rantai dengan 5 keping isolator.

Pengujian arus bocor pada isolator rantai hampir mempunyai kesamaan dalam hal susunan rangkaian, yang membedakan adalah terdapatnya alat ukur arus listrik (Amperemeter). Besarnya arus bocor yang terjadi akan langsung ditampilkan pada Amperemeter yang terpasang seri dengan isolator rantai. Tegangan kerja yang dikenakan dinaikkan secara bertahap pada setiap tahap tegangan kerja

yang dikenakan diukur arus bocornya. Proses ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk satu tahap tegangan kerja, kemudian diambil nilai rata-ratanya.

IV. PERHITUNGAN dan ANALISIS

A. Pengujian Distribusi Tegangan Pada Isolator Rantai

1. Data Hasil Pengujian Distribusi Tegangan Pada Kondisi Kering

Data-data yang diperoleh di bawah ini merupakan nilai dari hasil pengujian. Nilai yang diambil merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengujian.

Tabel 1. Distribusi Tegangan pada Kondisi Kering

No.	Intensitas Pembasahan (mm/menit)	Tegangan Tembus (kV)				
		n = 5	n = 4	n = 3	n = 2	n = 1
1	-	58.05	25.70	14.28	8.53	4.78

2. Data Hasil Pengujian Distribusi Tegangan Pada Kondisi Basah

Pembasahan disini dilakukan bervariasi agar dapat mengetahui perbedaan distribusi tegangan pada tiap-tiap keping isolator. Nilai yang tercantum merupakan nilai rata-rata dari 3 kali pengambilan data.

Tabel 2. Distribusi Tegangan pada Kondisi Basah

No.	Intensitas Pembasahan (mm/menit)	Titik Pengamatan (kV)				
		n = 5	n = 4	n = 3	n = 2	n = 1
1	2.75	4.73	8.35	13.96	25.14	56.53
2	3.08	4.75	8.22	13.87	24.85	56.41
3	3.43	4.74	8.11	13.72	24.76	56.22
4	3.85	4.72	8.01	13.65	24.65	56.15
5	4.12	4.74	7.95	13.45	24.62	56.13
6	4.47	4.73	7.92	13.40	24.60	56.13

Dari Tabel di atas dapat diketahui perbedaan tegangan tembus pada tiap-tiap keping isolator dengan intensitas hujan yang berbeda-beda. Semakin tinggi intensitas hujan yang terjadi, tegangan tembus pada tiap-tiap keping isolator semakin kecil.

3. Analisis Data Pengujian Untuk Kondisi Kering

Perhitungan prosentase tegangan pada pengujian kondisi kering dapat dijabarkan sebagai berikut.

Tegangan tembus pada isolator rantai dengan kondisi kering,

- Tegangan tembus sela bola (U_{ds}) = 4,78 kV
- Tegangan pada titik pengamatan ke-1 (U_{d1}) = 58,05 kV
- Tegangan pada titik pengamatan ke-2 (U_{d2}) = 25,70 kV
- Tegangan pada titik pengamatan ke-3 (U_{d3}) = 14,28 kV
- Tegangan pada titik pengamatan ke-4 (U_{d4}) = 8,53 kV

- Tegangan pada titik pengamatan ke-5 (U_{d5}) = 4,78 kV

Prosentase tegangan pada tiap titik pengamatan x dapat dihitung pada persamaan di bawah ini:

$$\text{Pada titik } x, P_x = \frac{U_{d5}}{U_{d_x}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan prosentase tegangan ditiap keping isolator dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 3. Prosentase Tegangan Untuk Kondisi Kering

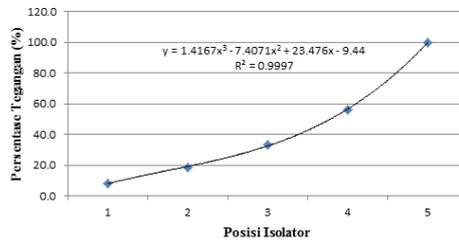
No.	Intensitas Pembasahan (mm/menit)	U _{ds} /U _{dn} (%)				
		n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5
1	-	8.23	18.59	33.47	56.04	100.00

Keterangan : n = titik pengamatan

U_{ds} = tegangan tembus sela bola

U_{dn} = tegangan tembus pada titik pengamatan ke-n

Dari Tabel .3 di atas dapat dibuat grafik hubungan persentase tegangan terhadap tiap-tiap titik pengamatan. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Grafik Persentase Tegangan Pada Tiap Titik Pengamatan Dalam Kondisi Kering

4. Analisis Data Pengujian Untuk Kondisi Basah

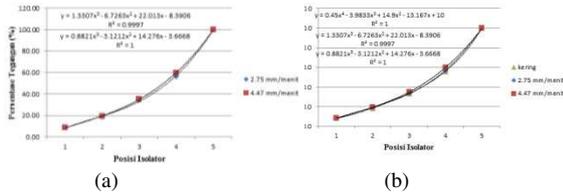
Penentuan prosentase tegangan pada kondisi basah, cara perhitungannya sama dengan penentuan prosentase tegangan pada kondisi kering. Yaitu, membandingkan nilai tegangan pada saat sela bola mengalami tembus. Nilai ini dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Prosentase Tegangan Pada Kondisi Basah

No.	Intensitas Pembasahan (mm/menit)	U _{ds} /U _{dn} (%)				
		n = 1	n = 2	n = 3	n = 4	n = 5
1	2.75	8.367	18.815	33.883	56.647	100.000
2	3.08	8.420	19.115	34.247	57.786	100.000
3	3.43	8.431	19.144	34.548	58.446	100.000
4	3.85	8.406	19.148	34.579	58.926	100.000
5	4.12	8.445	19.253	35.167	59.623	100.000
6	4.47	8.427	19.228	35.229	59.722	100.000

Keterangan : n = titik pengamatan

Berdasarkan data prosentase tegangan pada Tabel 4, dapat dibuat grafik hubungan antara prosentase tegangan terhadap tiap-tiap isolator rantai,



Gambar 5. Grafik Prosentase Tegangan Pada Tiap Titik Pengamatan (a) (b)

Dari Gambar 5 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa pengaruh intensitas hujan yang turun membasahi isolator rantai tidak mempengaruhi prosentase tegangan di tiap-tiap titik pengamatan, prosentase tegangan yang terjadi hampir sama di setiap intensitas hujan, hanya saja distribusi tegangan yang terjadi cenderung menurun meskipun tidak signifikan.

Dengan menggunakan data pada Tabel 4 selanjutnya dapat dihitung prosentase tegangan pada tiap keping isolator yang merupakan prosentase pembebanan yang diterima oleh tiap-tiap elemen dari isolator rantai. Nilai ini diperoleh dari selisih prosentase tegangan antara dua titik pengamatan yang berurutan.

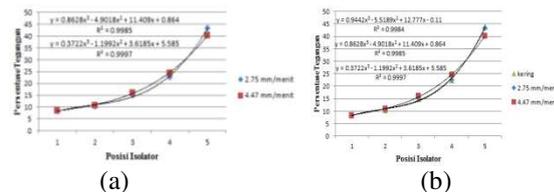
Tabel 5. Prosentase tegangan pada tiap keping isolator

No.	Intensitas Hujan (mm/mnt)	Ua (%)				
		a = 1	a = 2	a = 3	a = 4	a = 5
1	2.75	8.367	10.448	15.068	22.764	43.353
2	3.08	8.420	10.695	15.132	23.539	42.214
3	3.43	8.431	10.713	15.404	23.898	41.554
4	3.85	8.406	10.742	15.431	24.347	41.074
5	4.12	8.445	10.808	15.914	24.456	40.377
6	4.47	8.427	10.801	16.001	24.493	40.278

Keterangan : a = urutan isolator (dari atas ke bawah)

Ua = tegangan pada keping isolator ke-a

Dari Tabel 5 dapat dibuat grafik yang menunjukkan prosentase tegangan pada tiap-tiap keping isolator. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 6. Prosentase Tegangan Pada Tiap Keping Isolator

Berdasarkan Tabel 5 dan grafik pada Gambar 6 yang dihasilkan dapat dilihat bahwa prosentase tegangan yang membebani tiap keping isolator tidak sama. Prosentase tegangan yang terbesar terletak pada keping isolator yang terdekat dengan konduktor.

5. Analisis Data Perhitungan Distribusi Tegangan Pada Isolator Rantai

Dari hasil perhitungan berdasarkan hasil pengujian selanjutnya ditentukan nilai α , yaitu nilai perbandingan antara kapasitansi tiap keping ke menara dengan kapasitansi antar keping pada isolator rantai. Dengan nilai α (0,4971) yang telah diperoleh tersebut, maka tegangan pada tiap titik pengamatan di atas dapat didekati dengan nilai hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{U_n}{U_N} = \frac{\text{Sinh}(\alpha n)}{\text{Sinh}(\alpha N)} \times 100\%$$

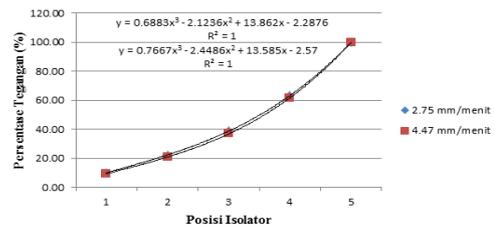
Prosentase tegangan pada kondisi basah di tiap titik pengamatan dapat didekati dan hasil selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6. Pendekatan prosentase tegangan pada tiap titik pengamatan

No.	Intensitas Pembasahan (mm/menit)	Nilai α	Prosentase Tegangan pada tiap titik pengamatan (%)				
			n=1	n=2	n=3	n=4	n=5
1	2.75	0,441	10.166	22.341	38.932	63.128	100.000
2	3.08	0,427	10.555	23.060	39.840	64.000	100.000
3	3.43	0,454	9.811	21.680	38.090	62.490	100.000
4	3.85	0,461	9.620	21.330	37.640	62.110	100.000
5	4.12	0,459	9.670	21.430	37.770	62.220	100.000
6	4.47	0,471	9.360	20.830	37.010	61.550	100.000

Keterangan : n = titik pengamatan

Dari tabel di atas dapat dibuat grafik yang menggambarkan distribusi tegangan pada tiap-tiap keping isolator rantai dengan nilai α yang berbeda-beda.



Gambar 7. Grafik Prosentase Tegangan Pada Tiap Titik Pengamatan

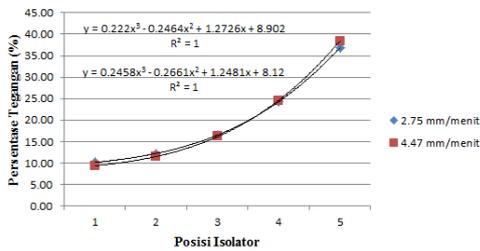
Selanjutnya prosentase tegangan yang membebani tiap keping isolator dapat ditentukan dari selisih prosentase tegangan antara dua titik pengamatan yang berurutan, dan hasilnya adalah sebagai berikut.

Tabel 7. Pendekatan prosentase tegangan pada tiap keping isolator

No.	Intensitas Hujan (mm/mnt)	Nilai α	Prosentase Tegangan pada tiap keping isolator (%)				
			a=1	a=2	a=3	a=4	a=5
1	2.75	0,441	10.166	12.175	16.591	24.196	36.872
2	3.08	0,427	10.555	12.505	16.780	24.160	36.000
3	3.43	0,454	9.811	11.869	16.410	24.400	37.510
4	3.85	0,461	9.620	11.710	16.310	24.470	37.890
5	4.12	0,459	9.670	11.760	16.340	24.450	37.780
6	4.47	0,471	9.360	11.470	16.180	24.540	38.450

Keterangan : a = urutan keping isolator (dari atas ke bawah)

Dari tabel 7 di atas selanjutnya dapat dibuat grafik yang menunjukkan prosentase tegangan yang membebani tiap keping isolator karena pengaruh intensitas hujan yang digunakan.



Gambar 8. Prosentase Tegangan Pada Tiap Keping Isolator

Berdasarkan Tabel 7 dan grafik pada Gambar 8 yang dihasilkan dapat dilihat bahwa prosentase tegangan yang membebani tiap keping isolator tidak sama. Prosentase tegangan yang terbesar terletak pada keping isolator yang terdekat dengan konduktor.

B. Pengujian Arus Bocor Pada Isolator Rantai

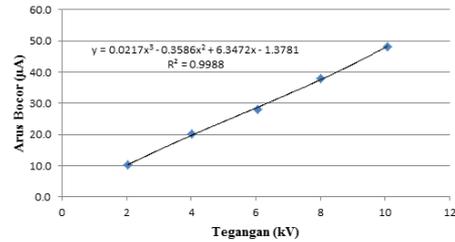
1. Data Hasil Pengujian Arus Bocor Pada Kondisi Kering

Pengujian pada kondisi kering menggunakan tegangan mulai dari 2 kV sampai 50 kV. Hasil pengujian pada kondisi kering dapat dilihat pada Tabel 8 di bawah ini. Nilai ini adalah nilai rata-rata dari tiga kali pengujian.

Tabel 8. Data Hasil Pengujian Arus Bocor Pada Kondisi Kering

No.	Tegangan (kV)	Arus Bocor (μA)	Tegangan rata-rata (kV)	Arus rata-rata (μA)
1	2.04	10.1	2.04	10.1
	2.05	10.2		
	2.03	10.1		
2	4.02	20.3	4.02	20.2
	4.03	20.3		
	4.00	20.1		
3	6.07	28.0	6.05	28.0
	6.05	28.0		
	6.04	27.9		
4	8.00	38.0	8.00	38.0
	8.01	38.1		
	8.00	38.0		
5	10.05	48.1	10.07	48.2
	10.08	48.3		
	10.07	48.2		

Berdasarkan data pada Tabel 8, maka dapat dibuat grafik hubungan antara nilai arus bocor terhadap tegangan yang dikenakan pada isolator rantai.



Gambar 9. Grafik Hubungan Arus Bocor Terhadap Tegangan Kondisi Kering

Dari grafik pada Gambar 9 terlihat bahwa perubahan tegangan mempengaruhi nilai arus bocornya. Pada pengujian yang dilakukan terlihat bahwa ada perbedaan nilai arus bocor yang mengalir pada tegangan yang berbeda-beda. Semakin tinggi tegangannya, semakin tinggi pula arus bocornya.

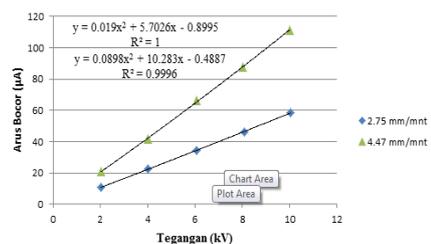
2. Data Hasil Pengujian Arus Bocor Pada Kondisi Basah

Sama seperti perubahan arus bocor pada kondisi kering, kondisi basah juga akan mempengaruhi nilai arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator. Pada tabel 9 di bawah ini merupakan perbandingan kondisi perubahan arus bocor dari intensitas hujan terendah dengan intensitas hujan tertinggi.

Tabel 9. Data Hasil Pengujian Arus Bocor Intensitas Hujan Terendah dengan Intensitas Hujan Tertinggi

No.	Intensitas Hujan (mm/mnt)	Tegangan (kV)	Arus Bocor (μA)
1	2.75	2.02	10.7
		4.02	22.3
		6.07	34.5
		8.09	46.4
		10.04	58.3
2	4.47	2.02	21.0
		4.03	41.4
		6.08	66.3
		8.02	87.5
		10.01	111.4

Berdasarkan data pada Tabel 9, maka dapat dibuat grafik sebagai berikut.



Gambar 10. Grafik Arus Bocor Terhadap Tegangan Pada Kondisi Basah

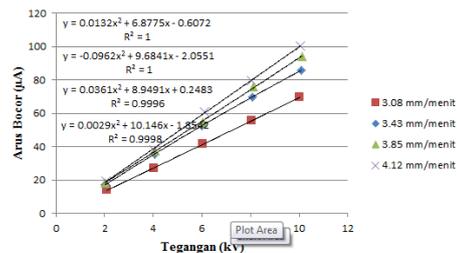
Dari grafik yang diperoleh pada Gambar 10 di atas, dapat dilihat dengan jelas perbedaan arus bocor yang mengalir melalui permukaan isolator. Perbedaan arus bocor yang mengalir dipengaruhi oleh air yang melapisi permukaan isolator, semakin banyak air yang melingkupi permukaan isolator maka semakin besar juga arus yang mengalir melalui permukaan isolator tersebut, hal ini dikarenakan permukaan isolator semakin konduktif sehingga arus listrik mudah mengalir.

Untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh perubahan intensitas hujan terhadap nilai arus bocor pada isolator rantai, maka pengujian dilakukan dengan beberapa tingkat intensitas hujan yaitu, 2,75; 3,08; 3,43; 3,85; 4,12; dan 4,47 mm/mnt. Nilai-nilai arus bocor yang mengalir dapat dilihat pada Tabel 10 di bawah ini. Nilai ini adalah nilai rata-rata dari tiga kali pengujian.

Tabel 10 Data Hasil Pengujian Arus Bocor Pada Kondisi Basah

No.	Intensitas Hujan (mm/mnt)	Tegangan (kV)	Arus Bocor (μ A)
1	2.75	2.02	10.7
		4.02	22.3
		6.07	34.5
		8.09	46.4
		10.04	58.3
2	3.08	2.09	13.9
		4.01	27
		6.05	41.6
		8.03	55.5
		10.02	69.6
3	3.43	2.02	17.2
		4.06	35.46
		6.01	52.8
		8.06	69.8
		10.1	85.9
4	3.85	2.03	18.5
		4.05	37.5
		6.02	54.6
		8.1	75.8
		10.11	94.2
5	4.12	2.07	19.4
		4.01	38.2
		6.09	60.7
		8.05	79.8
		10.05	100.4
6	4.47	2.02	21
		4.03	41.4
		6.08	66.3
		8.02	87.5
		10.01	111.4

Berdasarkan data pada Tabel 10, maka dapat dibuat grafik sebagai berikut.



Gambar 11. Grafik Arus Bocor Terhadap Tegangan Untuk Kondisi Basah

Berdasarkan data dari Tabel 10 dan Gambar 11 diatas dapat dilihat pengaruh perubahan intensitas hujan terhadap nilai arus bocor yang terjadi dengan tegangan yang dinaikkan secara berturut-turut. Semakin tinggi intensitas hujan yang mengguyur isolator rantai, maka semakin tinggi arus bocor yang terjadi. Hal ini dikarenakan terdapat lapisan air pada permukaan isolator rantai yang semakin kontinyu, sehingga lapisan konduktif yang terbentuk semakin besar.

3. Hubungan Tegangan Terhadap Nilai Arus Bocor Isolator Rantai

Kenaikkan tegangan kerja akan memberikan dampak terhadap kenaikan arus bocor pada isolator rantai dalam kondisi kering dan kondisi basah. Hal ini dikarenakan apabila diantara elektroda (anoda dan katoda) diterapkan suatu tegangan sebesar V, maka akan timbul suatu medan listrik E yang mempunyai besar dan arah tertentu. Didalam medan listrik, elektron-elektron bebas akan mendapat energi yang cukup kuat dan pergerakannya dipercepat, sehingga dapat merangsang proses ionisasi. Jika *gradient* tegangan yang ada terus dinaikkan maka jumlah elektron yang diionisasikan akan lebih banyak lagi jika dibandingkan jumlah ion yang ditangkap menjadi molekul oksigen. Tiap-tiap elektron ini kemudian akan berjalan menuju anoda secara kontinyu, sambil membuat benturan-benturan yang kemudian akan membebaskan lebih banyak lagi elektron. Dengan semakin banyak elektron yang dibebaskan maka akan menimbulkan banjir elektron yang disebut dengan *avalanche electron*. Karena gerakan elektron adalah fungsi dari tegangan dan arahnya berlawanan dengan gerakan arus listrik, maka semakin tinggi tegangan yang diterapkan diantara kedua elektroda maka arus yang mengalir juga akan semakin besar.

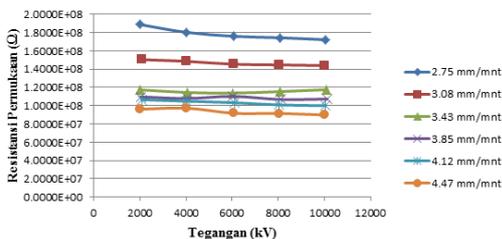
4. Pengaruh Perubahan Intensitas Hujan Terhadap Tahanan Permukaan Isolator

Besar tahanan permukaan suatu isolator sangat ditentukan oleh besar kecilnya arus bocornya. Nilai resistansi permukaan pada tiap-tiap intensitas hujan dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Data Resistansi Permukaan Pada Tiap-tiap Intensitas Hujan

No	Intensitas Hujan (mm/mnt)	Tegangan (V)	Arus Bocor (A)	Resistansi Permukaan (Ω)
1	2.75	2020	0.0000107	1.8879E+08
		4020	0.0000223	1.8027E+08
		6070	0.0000345	1.7594E+08
		8090	0.0000464	1.7435E+08
		10040	0.0000583	1.7221E+08
2	3.08	2090	0.0000139	1.5036E+08
		4010	0.0000270	1.4852E+08
		6050	0.0000416	1.4543E+08
		8030	0.0000555	1.4468E+08
		10020	0.0000696	1.4397E+08
3	3.43	2020	0.0000172	1.1744E+08
		4060	0.00003546	1.1450E+08
		6010	0.0000528	1.1383E+08
		8060	0.0000698	1.1547E+08
		10100	0.0000859	1.1758E+08
4	3.85	2030	0.0000185	1.0973E+08
		4050	0.0000375	1.0800E+08
		6020	0.0000546	1.1026E+08
		8100	0.0000758	1.0686E+08
		10110	0.0000942	1.0732E+08
5	4.12	2070	0.0000194	1.0670E+08
		4010	0.0000382	1.0497E+08
		6090	0.0000607	1.0330E+08
		8050	0.0000798	1.0088E+08
		10050	0.0001004	1.0010E+08
6	4.47	2020	0.0000210	9.6190E+07
		4030	0.0000414	9.7343E+07
		6080	0.0000663	9.1704E+07
		8020	0.0000875	9.1657E+07
		10010	0.0001114	8.9856E+07

Resistansi permukaan pada kondisi kering mempunyai resistansi yang cukup besar, namun pada kondisi basah resistansi tersebut akan turun. Semakin basah permukaan isolator semakin turun pula resistansi pada permukaan isolator. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 11, dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 11 di bawah ini.



Gambar 12. Grafik Kenaikkan Intensitas Hujan Terhadap Nilai Resistansi Permukaan

Dari grafik di atas terlihat bahwa pengaruh intensitas hujan memberikan perubahan terhadap resistansi permukaan isolator. Dengan semakin meningkatnya intensitas hujan yang dibantu tegangan dinaikkan secara berturut-turut, maka terlihat nilai resistansi permukaan isolator semakin turun, atau dengan kata lain permukaan isolator semakin konduktif.

Arus bocor merupakan fungsi dari nilai resistansi permukaan isolator yang terkontaminasi atau konduktif, artinya dengan meningkatnya nilai arus bocor ini maka akan diikuti dengan menurunnya nilai tahanan permukaan isolator. Karena arus bocor merupakan hasil pengukuran, maka sesuai dengan hukum ohm menyatakan bahwa arus listrik (I) yang mengalir dalam sebuah bahan, berbanding lurus dengan tegangan (V), dan berbanding terbalik dengan nilai resistansinya (R).

5. Pengaruh Intensitas Hujan Terhadap Rugi Daya Listrik

Permukaan isolator yang konduktif menyebabkan penurunan kemampuannya dalam mengisolasi penghantar bertegangan tinggi. Ini ditandai dengan semakin besarnya nilai arus bocor yang melewatinya. Arus bocor dapat menyebabkan terjadi rugi-rugi daya.

Rugi daya listrik dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut,

$$P_{\text{loss}} = I_{\text{lc}}^2 \cdot R_{\text{pol}}$$

Hasil perhitungan rugi-rugi daya pada tiap intensitas hujan dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Rugi Daya Pada Tiap Intensitas Hujan

No	Intensitas Hujan (mm/mnt)	Tegangan (V)	Arus Bocor (A)	Resistansi Permukaan (Ω)	Rugi Daya (Watt)	Rugi Daya (Watt jam)
1	2.75	2020	0.0000107	1.8879E+08	2.1615E-02	1.8934E+02
		4020	0.0000223	1.8027E+08	8.9646E-02	7.8530E+02
		6070	0.0000345	1.7594E+08	2.0941E-01	1.8345E+03
		8090	0.0000464	1.7435E+08	3.7537E-01	3.2882E+03
		10040	0.0000583	1.7221E+08	5.8532E-01	5.1274E+03
2	3.08	2090	0.0000139	1.5036E+08	2.9051E-02	2.5449E+02
		4010	0.0000270	1.4852E+08	1.0827E-01	9.4845E+02
		6050	0.0000416	1.4543E+08	2.5168E-01	2.2047E+03
		8030	0.0000555	1.4468E+08	4.4565E-01	3.9039E+03
		10020	0.0000696	1.4397E+08	6.9741E-01	6.1093E+03
3	3.43	2020	0.0000172	1.1744E+08	3.4743E-02	3.0435E+02
		4060	0.0000355	1.1450E+08	1.4397E-01	1.2612E+03
		6010	0.0000528	1.1383E+08	3.1734E-01	2.7799E+03
		8060	0.0000698	1.1547E+08	5.6257E-01	4.9282E+03
		10100	0.0000859	1.1758E+08	8.6760E-01	7.6002E+03
4	3.85	2030	0.0000185	1.0973E+08	3.7555E-02	3.2898E+02
		4050	0.0000375	1.0800E+08	1.5188E-01	1.3304E+03
		6020	0.0000546	1.1026E+08	3.2870E-01	2.8794E+03
		8100	0.0000758	1.0686E+08	6.1398E-01	5.3785E+03
		10110	0.0000942	1.0732E+08	9.5232E-01	8.3423E+03
5	4.12	2070	0.0000194	1.0670E+08	4.0158E-02	3.5178E+02
		4010	0.0000382	1.0497E+08	1.5318E-01	1.3418E+03
		6090	0.0000607	1.0330E+08	3.8061E-01	3.3341E+03
		8050	0.0000798	1.0088E+08	6.4241E-01	5.6275E+03
		10050	0.0001004	1.0010E+08	1.0090E+00	8.8391E+03
6	4.47	2020	0.0000210	9.6190E+07	4.2420E-02	3.7160E+02
		4030	0.0000414	9.7343E+07	1.6684E-01	1.4615E+03
		6080	0.0000663	9.1704E+07	4.0310E-01	3.5312E+03
		8020	0.0000875	9.1657E+07	7.0175E-01	6.1473E+03
		10010	0.0001114	8.9856E+07	1.1151E+00	9.7684E+03

Berdasarkan data pada Tabel 12 terlihat bahwa dengan meningkatnya intensitas hujan

menyebabkan meningkatnya rugi daya. Sebagai contoh pada Tabel 4.12, pada tegangan yang sama sebesar 2 kV dengan mengambil 2 intensitas hujan yaitu 2,75 dan 3,08 mm/mnt terlihat bahwa rugi daya semakin meningkat. Meningkatnya rugi daya dikarenakan semakin besarnya arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator. Besarnya arus bocor yang mengalir dipengaruhi oleh meningkatnya pembasahan pada permukaan isolator. Arus listrik mengalir melewati lapisan air yang menempel pada permukaan isolator. Dengan demikian jelas bahwa peningkatan intensitas hujan memberikan kontribusi yang besar terhadap hilangnya daya atau rugi daya.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh tingkat pembasahan pada isolator rantai untuk mengetahui distribusi tegangan yang terjadi adalah sama atau tidak merata. Dalam pengujian kondisi kering distribusi tegangan yang dihasilkan tidak merata, begitu juga dalam pengujian kondisi basah. Hal tersebut dikarenakan adanya kapasitansi antara penghubung keping isolator rantai (C), kapasitansi terhadap tanah (Ce), dan kapasitansi terhadap kawat penghantar tegangan tinggi (Ch). Keping isolator yang terdekat dengan konduktor menerima beban tegangan yang terbesar. Pada kondisi basah tegangan yang digunakan untuk menghasilkan tembus pada isolator cenderung menurun di tiap-tiap intensitas hujan.
2. Pengaruh tingkat pembasahan pada isolator rantai untuk mengetahui arus bocor yang terjadi, dapat disimpulkan bahwa semakin basah permukaan isolator, maka semakin besar arus bocor yang terjadi. Hal ini dapat dibuktikan dengan pengujian beberapa tingkat intensitas hujan yang semakin besar, maka arus bocor yang ditimbulkan juga semakin besar. Arus bocor yang terjadi melewati permukaan isolator, karena pada kondisi basah permukaan isolator cenderung konduktif, sehingga arus listrik lebih mudah mengalir melewati permukaan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tobing L, Bonggas. 2012. *Dasar - Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [2] Prawiwardoyo, S. 1996. *Meteorologi*. Bandung : Penerbit ITB.
- [3] Lakitan, Benyamin. 1997. *Dasar-dasar Klimatologi*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- [4] Pranoto, K. 2014. *Simulasi Perhitungan Distribusi Tegangan pada Isolator Rantai*. Skripsi tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Sumatera Utara.

- [5] Sirait, KT, Zoro, R, dan Darwanto J. 1986. *Teknik Tegangan Tinggi*. Bandung : Penerbit ITB.