

**STUDI PENGARUH PEMBASAHAN PADA ISOLATOR PIRING
BERPOLUTAN TERHADAP ARUS BOCOR PADA JARINGAN**

TEGANGAN 20 kV

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh:

DIAN KARTIKA FITRIANA HARDIANTO

NIM. 115060300111044 - 63

KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

MALANG

2015

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan penyertaan-Nya sehingga skripsi berjudul “Studi Pengaruh Pembasahan pada Isolator Piring Berpolutan Terhadap Arus Bocor pada Jaringan Tegangan 20 kV” dapat terselesaikan. Kepada para pihak yang telah memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung, maka dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Ali Mustofa S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik dan Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T. dan Bapak Ir. Mahfudz Shidiq, M.T. selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu membimbing dan mengarahkan dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Gaguk Asmungi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing akademik beserta seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang selalu membantu selama perkuliahan.
5. Kepala Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Universitas Brawijaya dan Kepala Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang.
6. Kepala PT.PLN P3B JB APP Malang yang sudah bersedia meminjamkan obyek penelitian.
7. Keluarga tercinta, Bapak Didit Hardianto, Ibu Lismowati, dan Mbak Vivi yang selalu meberikan dukungan dan doa.
8. Gloria Lisa Hascaryengtyas dan Inggrid Rachelia yang telah meluangkan waktu untuk menemani dan tidak pernah lelah memberikan semangat.
9. Tofan, Inggil, Aldy dan Frengky sebagai teman berjuang bersama pengerjaan skripsi dalam suka dan duka.
10. Mas Azis, Mbak Mega, Mas Iqbal, Mbak Anastasia dan Mas Riza yang sudah mendukung dan membantu penyelesaian skripsi ini.
11. Teman-teman Power 2011 atas kerjasamanya selama menempuh perkuliahan.



12. Keluarga INVERTER'11 yang selalu menemaninya dari awal perkuliahan hingga sampai sekarang dan RADAR yang membuat kehidupan perkuliahan menjadi lebih berwarna.

Sekiranya Tuhan berkenan membala segala kebaikan dari semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Disadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Malang, November 2015

Penulis



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
RINGKASAN	x
BAB I PENDAHULUAN.....	14
1.1 Latar Belakang	14
1.2 Rumusan Masalah.....	15
1.1 Batasan Masalah	15
1.2 Tujuan	16
1.3 Sistematika Pembahasan.....	16
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	17
2.1 Isolator	17
2.2 Jenis Isolator	17
2.2.1 Berdasarkan Bentuk Isolator.....	17
2.2.2 Berdasarkan Bahan Dielektrik Isolator.....	20
2.3 Karakteristik Isolator	21
2.3.1 Karakteristik Elektrik.....	21
2.3.2 Karakteristik Mekanik	22
2.4 Konstruksi Isolator Piring	23
2.5 Parameter Isolator Piring	25
2.6 Pengotoran Isolator	27
2.7 Arus Bocor	29
2.8 Karakteristik Curah Hujan	30
BAB III METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Studi Literatur	32
3.3 Pengujian	32
3.4 Kondisi Pengujian.....	34
3.5 Pembumian	35
3.6 Langkah-langkah Pengujian	36
3.6.1 Langkah-langkah Pengujian Arus Bocor	36
3.6.2 Langkah-langkah Pengujian Polutan	36
3.7 Analisis Hasil Pengujian.....	36
3.8 Kesimpulan dan Saran	36

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	37
4.1 Pengujian Polutan	37
4.2 Pengujian Arus Bocor Pada Isolator Berpolutan Kondisi Kering	41
4.3 Pengujian Arus Bocor Kondisi Basah	47
BAB V PENUTUP	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	70
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN	72



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Elektrik dan Mekanik Isolator Piring.....	23
Tabel 2.2 Gradien Permukaan pada Setiap Tingkat Polusi	26
Tabel 2.3 Tingkat Polusi dengan contoh lingkungan yang khas berdasarkan SPLN 10-3b	28
Tabel 2.4 Tingkat Polusi Berdasarkan Nilai Maksimum ESDD Berdasarkan IEC 815.	29
Tabel 3.1 Volume air yang tertampung pada tiap tekanan	35
Tabel 4.1 Hasil pengujian XRF Sampel Keping Isolator Kesatu	38
Tabel 4.2 Hasil pengujian XRF Sampel Keping Isolator Kedua	38
Tabel 4.3 Hasil pengujian XRF Sampel Keping Isolator ketiga.....	39
Tabel 4.4 Hasil pengujian XRF Sampel Keping Isolator Keempat.....	40
Tabel 4.5 Hasil pengujian XRF Sampel Keping Isolator Kelima.....	40
Tabel 4.6 Unsur Natrium dan Magnesium Tiap-Tiap Keping Isolator.....	41
Tabel 4.7 Pengujian Arus Bocor Kondisi Kering Keping Isolator sampai Keping Isolator Ketiga	42
Tabel 4.8 Pengujian Arus Bocor Kondisi Kering dengan Penambahan 1 Keping sampai 3 keping Isolator Berpolutan beserta Nilai Resistansi Permukaan	43
Tabel 4.9 Perbandingan Data Pengujian Arus Bocor dengan Data Menurut <i>Trendline</i> pada Penambahan 1 Keping sampai 3 Keping Isolator.....	45
Tabel 4.10 Perbandingan Data Resistansi dari Pengujian dengan Data Resistansi dari <i>Trendline</i>	47
Tabel 4.11 Pengujian Arus Bocor Kondisi Basah Keping Isolator Kesatu sampai Keping Isolator Ketiga dengan Intensitas Pembasahan 2,75 mm/menit.....	48
Tabel 4.12 Pengujian Nilai Arus Bocor Kondisi Basah pada Penambahan 1-3 Keping Isolator dengan Intensitas Pembasahan 2,75 mm/menit beserta Nilai Resistansi Permukaan.....	49
Tabel 4.13 Perbandingan Data Pengujian Arus Bocor dengan Data Menurut <i>Trendline</i> pada Penambahan 1 Keping sampai 3 Keping Isolator Kondisi Basah dengan Intensitas Pembasahan 2,75 mm/menit	52
Tabel 4.14 Perbandingan Data Resistansi dari Pengujian dengan Data Resistansi dari <i>Trendline</i> Kondisi Basah dengan Intensitas Pembasahan 2,75 mm/menit.....	54
Tabel 4.15 Pengujian Arus Bocor Kondisi Basah Keping Isolator Kesatu sampai Keping Isolator Ketiga dengan Intensitas Pembasahan 3,61 mm/menit.....	55

Tabel 4.16 Pengujian Nilai Arus Bocor Kondisi Basah pada Penambahan 1-3 Keping Isolator dengan Intensitas Pembasahan 3,61 mm/menit beserta Nilai Resistansi Permukaan.....	56
Tabel 4.17 Perbandingan Data Pengujian Arus Bocor dengan Data Menurut <i>Trendline</i> pada Penambahan 1 Keping sampai 3 Keping Isolator Kondisi Basah dengan Intensitas Pembasahan 3,61 mm/menit	59
Tabel 4.19 Pengujian Arus Bocor Kondisi Basah Keping Isolator Kesatu sampai Keping Isolator Ketiga dengan Intensitas Pembasahan 4,47 mm/menit.....	61
Tabel 4.20 Pengujian Nilai Arus Bocor Kondisi Basah pada Penambahan 1-3 Keping Isolator dengan Intensitas Pembasahan 4,47 mm/menit beserta Nilai Resistansi Permukaan.....	62
Tabel 4.21 Perbandingan Data Pengujian Arus Bocor dengan Data Menurut <i>Trendline</i> pada Penambahan 1 Keping sampai 3 Keping Isolator Kondisi Basah dengan Intensitas Pembasahan 4,47 mm/menit	65
Tabel 4.22 Perbandingan Data Resistansi dari Pengujian dengan Data Resistansi dari <i>Trendline</i> Kondisi Basah dengan Intensitas Pembasahan 4,47 mm/menit....	67
Tabel 4.23 Nilai Resistansi dengan Penambahan 1-3 Keping Isolator pada Saat Kondisi Kering dan Kondisi Basah.....	67



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Isolator gantung tipe Clevis (kiri) dan tipe Ball & Socket (kanan)	17
Gambar 2.2 Isolator Tipe Pasak.....	18
Gambar 2.3 Isolator Pos.....	19
Gambar 2.4 Isolator Cincin.....	19
Gambar 2.5 Isolator dengan Bahan Komposit.....	20
Gambar 2.6 Isolator dengan Bahan Keramik.....	20
Gambar 2.7 Isolator dengan Bahan Gelas	21
Gambar 2.8 Konstruksi Isolator Piring	23
Gambar 2.9 Isolator Kap dan Pin.....	25
Gambar 2.10 Jarak Rambat Ls pada Isolator Piring	26
Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian.....	31
Gambar 3.2 Isolator Rantai	33
Gambar 3.3 Rangkaian Pengujian Arus Bocor pada Isolator Rantai dengan Lima Buah Isolator Piring.....	34
Gambar 3.4 Rangkaian pengujian kondisi basah.....	35
Gambar 4.1 Pengaruh penambahan keping isolator berpolutan terhadap arus bocor.....	44
Gambar 4.2 Grafik Resistansi Permukaan Isolator Berpolutan pada Kondisi Kering....	46
Gambar 4.3 Pengaruh penambahan keping isolator berpolutan terhadap arus bocor pada kondisi basah dengan tekanan air 5 psi	50
Gambar 4.5 Pengaruh penambahan keping isolator berpolutan terhadap arus bocor pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 3,61 mm/menit	57
Gambar 4.6 Grafik Resistansi Permukaan Isolator Berpolutan pada Kondisi Basah dengan intensitas pembasahan 3,61 mm/menit	59
Gambar 4.7 Pengaruh penambahan keping isolator berpolutan terhadap arus bocor pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit	63
Gambar 4.8 Resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit.....	66



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengujian arus bocor kondisi kering	72
Lampiran 2. Pengujian Arus Bocor Kondisi Basah 2,75 mm/menit	76
Lampiran 3. Pengujian Arus Bocor Kondisi Basah 4,47 mm/menit	86
Lampiran 4. Perbandingan Data Arus Bocor Pengujian dengan <i>Trendline</i> Kondisi Kering.....	92
Lampiran 5. Perbandingan Data Arus Bocor Pengujian dengan <i>Trendline</i> Kondisi Basah 2,75 mm/menit	93
Lampiran 6. Perbandingan Data Arus Bocor Pengujian dengan <i>Trendline</i> Kondisi Basah 3,61 mm/menit	94
Lampiran 7. Perbandingan Data Arus Bocor Pengujian dengan <i>Trendline</i> Kondisi Basah 4,47 mm/menit	95
Lampiran 8. Data Nilai Resistansi Kondisi Kering	96
Lampiran 9. Data Nilai Resistansi Kondisi Basah 2,75 mm/menit	98
Lampiran 10. Data Nilai Resistansi Kondisi Basah 3,61 mm/menit	100
Lampiran 11. Data Nilai Resistansi Kondisi Basah 4,47 mm/menit	102

RINGKASAN

Dian Kartika Fitriana Hardianto, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, November 2015, *Studi Pengaruh Pembasahan pada Isolator Piring Berpolutan terhadap Arus Bocor pada Jaringan Tegangan 20 kV*, Dosen Pembimbing: Ir. Moch. Dhofir dan Mahfudz Shidiq.

Dalam buku skripsi ini menguraikan tentang hasil penelitian pengaruh pembasahan pada isolator piring berpolutan terhadap arus bocor pada jaringan tegangan 20 kV. Tipe isolator yang digunakan pada penelitian adalah *ball and socket* berbahan keramik dan diambil di wilayah Malang. Metode penelitian yang digunakan ialah menguji isolator piring berpolutan dengan dua kondisi, yaitu kondisi kering dan kondisi basah. Variable dalam pengujian adalah tegangan uji, intensitas pembasahan dan jumlah isolator piring. Kandungan polutan terdiri atas unsur pembentuk garam, logam dan unsur lainnya. Dari keseluruhan sampel isolator piring berpolutan, kepekatan untuk unsur pembentuk garam berupa Na (Natrium) 63,2 % dan Mg (Magnesium) 8,3 %, kepekatan untuk logam berupa Al (Alumunium) 40,2%, K (Kalium) 11,41%, Ca (Calsium) 90,4%, Ti (Talium) 10,61%, Cr (Chrom) 1,97%, Mn (mangan) 2,92%, Fe (Besi) 157,5%, Ni (Nikel) 5,63%, Cu (Tembaga) 1,63%, Zn (Seng) 38,15%, dan kepekatan untuk unsur lain berupa Si (Silikon) 116,2%, P(Fosfor) 15,9%, S (Belerang) 4,1% dan V(Vanadium) 0,66%. Pada tegangan 20 kV nilai arus bocor pada isolator piring berpolutan dalam kondisi kering antara 149,8 μ A sampai 158,03 μ A. Resistansi permukaan isolator piring berpolutan dalam kondisi kering hingga tegangan kerja 20 kV relatif tetap yaitu terletak direntang nilai 128,83 M Ω sampai 139,83 M Ω . Pada tegangan 20 kV nilai arus bocor pada isolator piring berpolutan dalam kondisi basah dengan intensitas pembasahan 2,75 mm/menit antara 215,73 μ A sampai 217,03 μ A, intensitas pembasahan 3,61 mm/menit antara 227,77 μ A sampai 229,23 μ A, dan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit antara 238,33 μ A sampai 239,07 μ A. Resistansi permukaan isolator piring berpolutan dalam kondisi basah hingga tegangan kerja 20 kV relatif tetap yaitu terletak direntang nilai 87,905 M Ω sampai 98,004 M Ω untuk intensitas pembasahan 2,75 mm/menit, 78,883 M Ω sampai 90,375 M Ω untuk intensitas pembasahan 3,61 mm/menit dan 71,411 M Ω sampai 87,299 M Ω untuk intensitas pembasahan 4,47 mm/menit. Pengaruh penambahan keping rantai isolator berpolutan terhadap arus bocor pada saat kondisi kering dengan tegangan 2 kV, nilai arus bocor saat keping 1 isolator dipasang adalah 17,33 μ A, dan nilai arus bocor saat keping 1 dan keping 2 isolator di pasang adalah 9,70 μ A. Pada kondisi basah pada intensitas



pembasahan 2,75 mm/menit dengan tegangan 2 kV, nilai arus bocor keping 1 isolator sebesar 25,13 μ A, nilai arus bocor pada saat keping 1 dan keping 2 dipasang sebesar 22,30 μ A

Kata kunci— Isolator Piring Berpolutan, Kering & Basah, arus bocor.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



SUMMARY

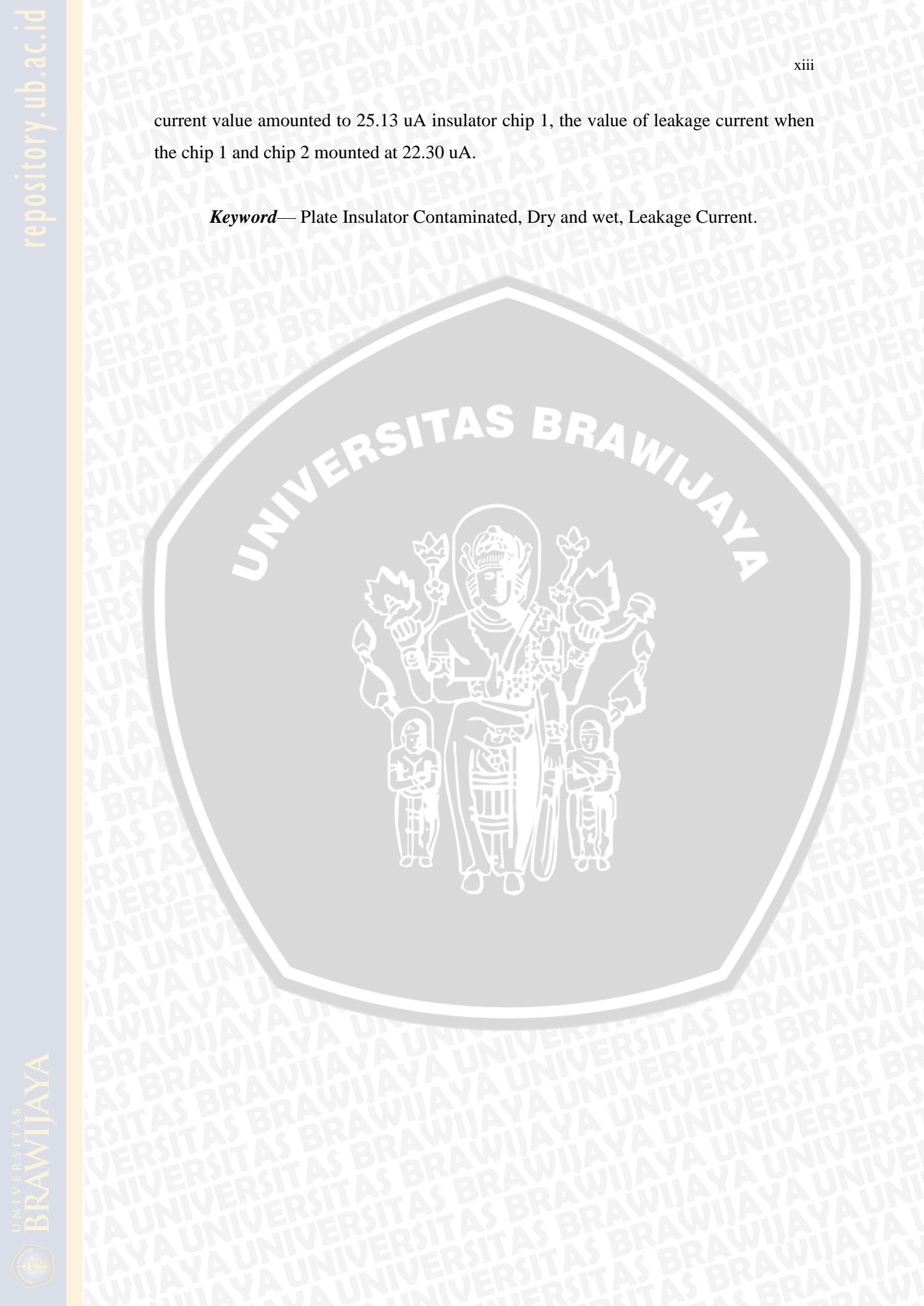
Dian Kartika Fitriana Hardianto, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, November 2015, *Study The Effect of Damping on The Plate Insulator Contaminated Against Leakage Current at 20 kV Voltage Line*, Academic Supervisor: Moch. Dhofir and Mahfudz Shidiq

In this thesis book describes outcomes research on the impact of wetting on the insulator plate contaminated against leakage current at 20 kV voltage line. Type insulator used in the research was made of a ceramic ball and socket and taken in Malang. The method used is to test the insulator plate contaminated with two conditions, namely dry conditions and wet conditions. Variables in testing is the test voltage, the intensity of wetting and number of insulator plates. The content of the pollutant consists of elements forming salts, metals and other elements. Of the total sample of insulator plates berpolutan, concentrations of the salt-forming elements such as Na (sodium) and 632% Mg (Magnesium) 8.3%, concentrations of metals such as Al (aluminum) 40.2%, K (Potassium) 11.41% Ca (Calcium) 90.4% Ti (Thallium) 10.61%, Cr (chromium) 1.97%, Mn (manganese) 2.92%, Fe (iron) 157.5%, Ni (nickel) 5.63%, Cu (Copper) 1.63%, Zn (Zinc) 38.15%, and concentrations for other elements such as Si (silicon) 116.2%, P (Phosphorus) 15.9%, S (sulfur) 4.1% and V (Vanadium) 0.66%. At the rated voltage 20 kV the value of leakage current on the insulator plate contaminated in dry conditions between 149.8 to 158.03 uA. The surface resistance of plate insulator contaminated in dry conditions up to a working voltage of 20 kV relatively constant which is stretched the value 128.83 until 139.83 M Ω . At a voltage of 20 kV the value of leakage current on the insulator plate berpolutan in wet conditions with wetting intensity of 2.75 mm / min between 215.73 to 217.03 uA, wetting intensity of 3.61 mm / min between 227.77 to 229 uA, 23 uA, and wetting intensity of 4.47 mm / min between 238.33 to 239.07 uA. The surface resistance of plate insulator contaminated in wet conditions up to a working voltage of 20 kV relatively constant which is stretched value of 87.905 to 98.004 M Ω for wetting intensity of 2.75 mm / min, 78.883 to 90.375 M Ω for wetting intensity of 3.61 mm / min and 71.411 to 87.299 M Ω for wetting intensity of 4.47 mm / min. The effect of adding pieces of chain insulator contaminated against leakage current during dry conditions with 2 kV voltage, leakage current value when the insulator chip 1 installed is 17.33 uA, and the value of leakage current when the chip 1 and chip 2 in pairs is 9.70 uA , In the wet conditions on wetting intensity of 2.75 mm / min with 2 kV voltage, leakage



current value amounted to 25.13 uA insulator chip 1, the value of leakage current when the chip 1 and chip 2 mounted at 22.30 uA.

Keyword— Plate Insulator Contaminated, Dry and wet, Leakage Current.

The logo of Universitas Brawijaya is a watermark-like pattern covering the entire page. It features a circular emblem with a central figure, surrounded by the university's name in a stylized font.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Isolator merupakan salah satu komponen utama dalam sistem distribusi dan transmisi. Isolator ini berfungsi sebagai pemisah bagian-bagian yang bertegangan serta penahanan dan penopang kawat saluran (Manjang dan Herman, 2007).

Pada aplikasinya, isolator diletakkan pada ruang terbuka sehingga banyak terpengaruh oleh keadaan lingkungan yang ada di sekitarnya, kondisi alam yang bermacam-macam, misalnya pengaruh dari suhu, radiasi ultraviolet, kelembaban, polusi udara, dan curah hujan. Indonesia terletak pada iklim tropis, yang ditandai dengan kelembaban tinggi, curah hujan tinggi, radiasi sinar matahari tinggi, dan frekuensi petir cukup tinggi dibandingkan dengan iklim lain. Misalnya, wilayah dataran rendah memiliki kisaran temperatur 30–35 °C dan kelembaban 50–80%, sedangkan wilayah dataran tinggi memiliki kisaran temperatur 20–25 °C dan kelembaban 70–98% (Yandri Kahar, 1998). Dengan kondisi seperti itu maka tidak menutup kemungkinan permukaan isolator akan tertutup atau terlapisi pengotor (polutan) dan dapat membuat kemampuan sebuah isolator menurun atau tidak berada pada kemampuan kerja sesungguhnya.

Menurunnya kemampuan kerja sebuah isolator bisa dilihat dari kegagalan isolator dalam menahan tegangan. Faktor utama yang mengakibatkan kegagalan sebuah isolator adalah adanya polutan atau pengotor yang menempel pada isolator sehingga mengakibatkan terjadinya arus bocor, sehingga bisa memicu terjadinya lompatan bunga api (*flashover*).

Udara yang berada di sekitar isolator mengandung polutan yang dapat berupa garam, asap-asap kendaraan maupun debu. Banyaknya polutan yang menempel pada permukaan bergantung pada bobot polutan udara yang ada di sekitar isolator tersebut. Polutan kemudian membentuk suatu lapisan yang disebut lapisan kontaminan. Pada musim hujan, akan terjadi proses pembasahan kontaminan secara alami. Apabila isolator terkena hujan deras, maka kontaminan pada isolator akan tercuci bersih. Sebaliknya, jika hujan yang terjadi berupa hujan rintik-rintik atau kondisi udara pada sekitar isolator lembab, maka lapisan kontaminan akan menyerap uap air dari udara basah. Lapisan kontaminan yang basah ini membuat konduktivitas lapisan kontaminan semakin besar sehingga tahanan permukaan isolator semakin kecil, arus permukaan semakin tinggi dan



menyebabkan rugi-rugi daya pada permukaan isolator bertambah. Dengan demikian rugi-rugi saluran distribusi hantaran udara juga bertambah besar (Pranoto, 2014).

Kegagalan isolator tipe suspensi yang banyak dipakai di Indonesia dapat mengakibatkan kerugian miliaran rupiah baik dari sisi perusahaan listrik sendiri ataupun konsumen. Kerugian dari pihak penyalur energi listrik sebenarnya bukan hanya pada saat terjadinya kegagalan penyaluran daya, tapi sejak timbulnya arus bocor pada isolator sebagai akibat terjadinya pengotoran pada permukaannya (Suwarno, 2001).

Atas dasar latar belakang tersebut, maka di dalam penelitian ini akan diuji karakteristik isolator rantai yang kondisi polutan belum diketahui jenisnya dan akan diuji dalam kondisi kering untuk menggambarkan keadaan musim kemarau dan pada kondisi basah untuk menggambarkan musim hujan. Dengan data-data yang diperoleh pada isolator rantai nanti, langkah selanjutnya akan dilakukan analisis untuk mengetahui jenis polutan yang berada pada permukaan isolator serta dilakukan perbandingan kinerja isolator rantai tersebut dalam dua kondisi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang disusun adalah sebagai berikut.

- a. Apa saja kandungan polutan pada sampel isolator piring di wilayah Malang.
- b. Bagaimana karakteristik arus bocor dan resistansi permukaan pada 1 keping isolator piring berpolutan dalam kondisi kering dan basah.
- c. Bagaimana pengaruh jumlah keping rantai isolator berpolutan terhadap arus bocor pada kondisi kering dan basah.

1.1 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah tersebut di atas, batasan masalah yang dirumuskan adalah sebagai berikut.

- a. Pada penelitian ini, jenis isolator yang digunakan adalah isolator piring berbahan porselin (keramik).
- b. Rantai isolator dengan jumlah keping sebanyak lima isolator dioperasikan untuk tegangan sistem 70 kV yang di ambil dari wilayah Malang.
- c. Isolator piring kotor yang digunakan terdiri dari berbagai macam sampel.
- d. Pada penelitian ini tidak membahas struktur kimia dari bahan isolator.

- e. Parameter yang diamati adalah kandungan polutan pada sampel isolator piring, nilai arus bocor dan resistansi permukaan pada isolator rantai, dan pengaruh penambahan keping piring isolator pada kondisi kering dan pembasahan.
- f. Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Brawijaya dan Laboratorium Sentral Mineral dan Material Maju FMIPA Universitas Negeri Malang.

1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan polutan pada sampel isolator piring di wilayah Malang, menghitung nilai arus bocor dan resistansi permukaan isolator piring serta menganalisis pengaruh penambahan keping isolator rantai terhadap arus bocor pada kondisi kering dan basah.

1.3 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika pembahasan penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi dasar teori dan digunakan sebagai dasar penelitian yang berkaitan dengan permasalahan yang diajukan dalam penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi metode yang digunakan dalam penelitian ini yang terdiri dari studi literatur, pengambilan data, perhitungan dan analisis data, serta kesimpulan dan saran.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berisi perhitungan, pengolahan data, dan analisis terhadap masalah yang diajukan dalam penelitian dengan memperhatikan data hasil analisis yang diperoleh.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya di masa yang akan datang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Isolator

Isolator merupakan alat tempat menopang kawat penghantar jaringan pada tiang-tiang listrik yang digunakan untuk memisahkan secara elektris dua buah kawat atau lebih agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage current*) atau loncatan bunga api (*flash over*) sehingga mengakibatkan terjadinya kerusakan pada sistem jaringan tenaga listrik. (Suswanto, 2009). Isolator berfungsi sebagai pemisah antar bagian yang bertegangan dan antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan. Selain itu isolator juga berfungsi untuk memikul beban mekanis yang disebabkan oleh berat dan gaya tarik penghantar serta untuk menjaga agar tidak berubahnya jarak yang ada pada antar penghantar.

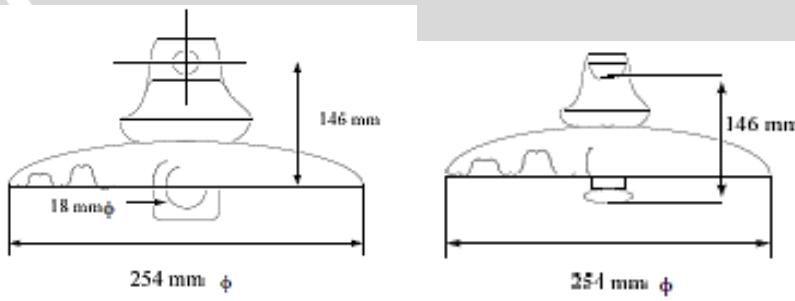
2.2 Jenis Isolator

Jenis Isolator dapat diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan bahan dielektrik isolator. Berdasarkan bentuknya, isolator dibagi menjadi lima jenis yaitu isolator jenis gantung, isolator jenis pasak, isolator jenis pos, isolator jenis cincin, dan isolator jenis tarik. Berdasarkan bahan dielektriknya, isolator dibagi menjadi tiga jenis yaitu berbahan komposit, berbahan keramik, dan berbahan gelas.

2.2.1 Berdasarkan Bentuk Isolator

a. Isolator Jenis Gantung (*Suspension Type Insulator*)

Isolator gantung (*suspension insulator*) terdiri dari sebuah piringan yang terbuat dari bahan keramik, dengan tutup (*cap*) dari bahan besi tempaan (*malleable iron*) dan pasaknya terbuat dari bahan baja yang diikatkan dengan semen yang berkualitas (Suswanto, 2009). Pada isolator gantung dikenal dua jenis, yakni tipe *clevis* dan tipe *ball-and-socket* yang bisa dilihat pada Gambar 2.1.



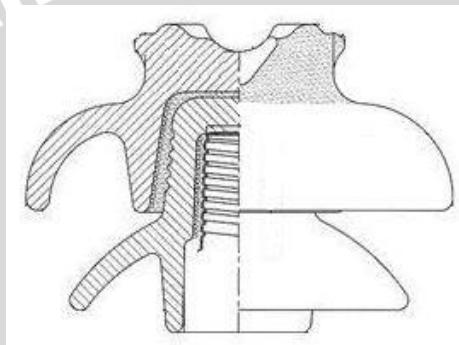
Gambar 2.1 Isolator gantung tipe Clevis (kiri) dan tipe Ball & Socket (kanan)

Sumber: Suswanto, 2009

Untuk isolator tipe *clevis*, tutup (*cap*) dan pasaknya berbentuk pipih dan berlubang di tengahnya. Untuk tipe *ball & socket*, tutup (*cap*) berlubang sebagai tempat meletakkan pasak yang berbentuk bulat.

b. Isolator Jenis Pasak (*Pin Type Insulator*)

Pada SPLN 10 – 4A: 1994 dijelaskan bahwa isolator pasak didefinisikan sebagai isolator kaku yang terdiri dari komponen isolasi yang akan dipasang secara kokoh pada struktur penyangga menggunakan pasak yang menembus komponen isolasi yang terdiri dari satu atau beberapa bahan material isolasi yang terhubung permanen. Pasak dapat dipasang permanen atau terpisah dari komponen isolasi. Gambar dari isolator jenis pasak dapat dilihat pada Gambar 2.2.



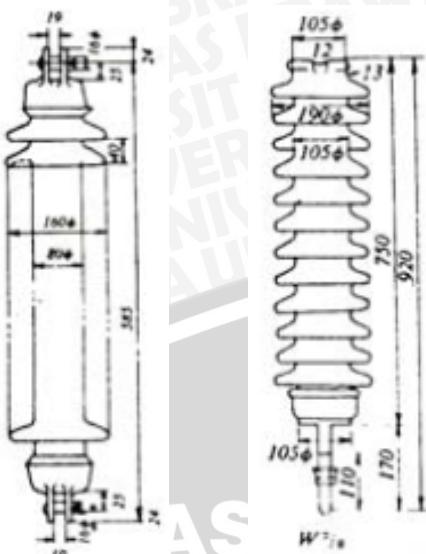
Gambar 2.2 Isolator Tipe Pasak
Sumber: Kusuma, 2012

Isolator tipe pasak ini dapat terdiri dari satu sampai beberapa keping, tergantung akan diletakkan pada tegangan berapa. Untuk satu keping diletakkan pada tegangan di bawah 23 kV, dua keping pada tegangan antara 23-46 kV, tiga keping pada tegangan antara 46-69 kV, dan empat keping pada tegangan 69-88 kV. Tetapi untuk isolator jenis ini jarang digunakan pada saluran transmisi dengan tegangan di atas 44 kV.

Bentuk kepingan pada isolator dibuat mengembang ke bawah seperti payung agar menghindari air hujan yang menimpa permukaan kepingan secara mudah. Isolator jenis ini digunakan pada tiang-tiang lurus dan tiang sudut.

c. Isolator Jenis Pos (*Post Type Insulator*)

Dibandingkan dengan isolator pin, perencanaan isolator pos ini lebih sederhana, isolator ini memiliki diameter lebih kecil dan tidak menggunakan kepingan-kepingan seperti isolator pin. Gambar dari isolator jenis pos dapat dilihat pada Gambar 2.3.



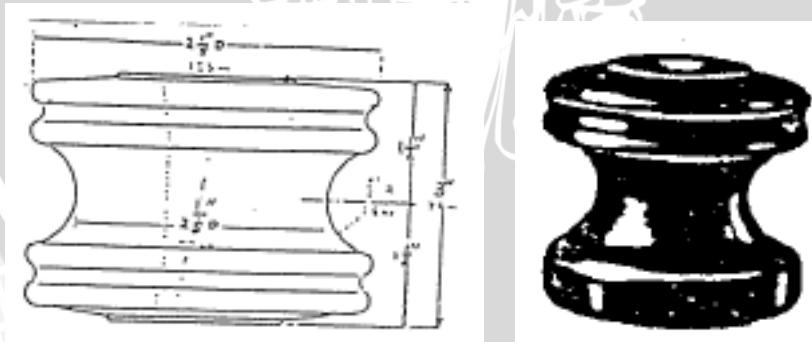
Gambar 2.3 Isolator Pos

Sumber: Suswanto, 2009

Pada isolator jenis ini untuk bagian atasnya diberi tutup (*cap*) dan bagian bawah diberi pasak. Penggunaan isolator pos ini hanya pada jaringan distribusi primer untuk tiang lurus pada sudut 5 sampai 15° (Suswanto,2009).

d. Isolator Jenis Cincin (*Spool Type Insulator*)

Isolator cincin bentuknya bulat berlubang di tengahnya seperti cincin yang hanya terdapat satu atau dua lekukan saja. Isolator ini dipasang pada sebuah *clamp* (pengapit) dengan sebuah pasak yang dimasukkan ke dalam lubang di tengahnya. Gambar dari isolator jenis cincin dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Isolator Cincin

Sumber: Suswanto,2009

e. Isolator Jenis Tarik (*Strain Insulator*)

Isolator tipe tarik (*strain*) umumnya digunakan pada tiang akhir suatu saluran transmisi, pada belokan yang menyebabkan saluran transmisi harus berubah arah, atau

pada saluran yang menyeberangi sungai. Digunakan rangkaian isolator renteng atau isolator gantung yang diparalel sehingga diperoleh kekuatan tarik yang lebih tinggi.

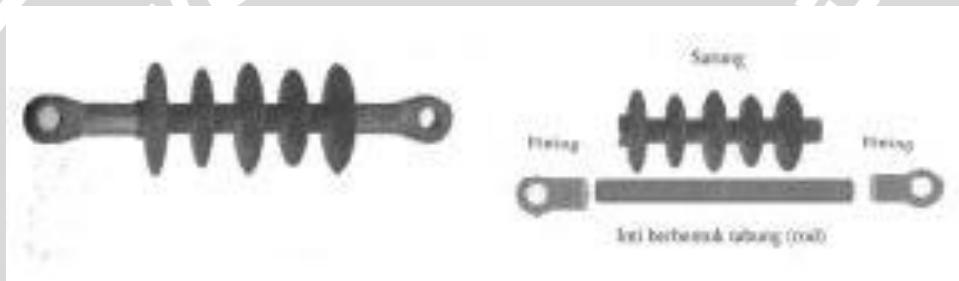
2.2.2 Berdasarkan Bahan Dielektrik Isolator

Karakteristik dari suatu isolator baik mekanis atau elektriknya dipengaruhi oleh bahan dan konstruksinya. Bahan dielektrik suatu isolator harus mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi agar tidak mudah dipengaruhi oleh kondisi lingkungan disekitarnya.

Beberapa jenis bahan dielektrik yang sering digunakan pada isolator.

a. Bahan Komposit

Bahan komposit yang sering digunakan adalah karet silicon (*silicon rubber*). Gambar untuk bahan komposit dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Isolator dengan Bahan Komposit

Sumber: Bonggas, 2002

b. Keramik

Bahan dielektrik ini yang paling sering digunakan sebagai isolator. Keramik memiliki kekuatan dielektrik sebesar 22-28 kVrms/mm. Gambar untuk bahan keramik dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Isolator dengan Bahan Keramik

c. Gelas

Kekuatan dielektrik gelas alkali tinggi adalah 17,9 kVrms/mm sedangkan kemampuan dielektrik gelas alkali rendah adalah 48 kVrms/mm. Dibanding dengan isolator keramik, isolator gelas memiliki harga yang lebih murah. Gambar untuk bahan gelas dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Isolator dengan Bahan Gelas

2.3 Karakteristik Isolator

2.3.1 Karakteristik Elektrik

Isolator terdiri dari elektroda yang terbuat dari bahan yang bersifat konduktor dan dipisahkan oleh bahan isolasi. Setiap bahan isolasi memiliki kekuatan dielektrikum, yaitu kemampuan untuk menahan tegangan yang mengenainya tanpa menjadi rusak. Susunan yang ada pada isolator disamakan dengan sebuah kapasitansi.

$$C = \epsilon \frac{A}{4\pi d} \quad (2-1)$$

Di mana:

C = Kapasitansi suatu bahan (Farad)

ϵ = Konstanta dielektrikum

A = luas permukaan bahan (m^2)

d = diameter atau tebal bahan (m)

Makin besar nilai konstanta dielektrikum suatu bahan isolasi maka makin besar pula kapasitansi isolator tersebut. Nilai kapasitansi akan diperbesar lagi akibat kelembaban udara, panas udara, debu, serta adanya tegangan lebih yang dapat mempengaruhi bahan isolasi tersebut. Oleh sebab itu pendistribusian tegangan pada bahan isolasi tidak merata atau tidak seragam.

Ada dua hal yang menyebabkan sistem isolasi pada isolator gagal menjalankan fungsinya, yaitu terjadinya peristiwa lewat-denyar (*flashover*) dan tembus listrik pada isolator yang menyebabkan isolator pecah (*breakdown*). Dasar pemilihan kekuatan dielektrik isolator adalah tegangan lewat-denyarinya.

Tegangan lewat denyar (*flashover voltage*) pada isolator terdiri dari tegangan lewat denyar bolak-balik, impuls dan tembus dalam minyak. (Arismunandar, 1982). Untuk tegangan lewat denyar bolak-balik dibagi menjadi 2 kondisi, yaitu pada saat kering bersih yang merupakan nilai dasar karakteristik isolator dan pada saat kondisi basah yang menggambarkan kekuatan dielektrik isolator tersebut ketika basah karena air hujan.

Tegangan lewat denyar impuls merupakan tegangan lewat denyar yang terjadi bila tegangan impuls dengan standard gelombang yang diterapkan, menurut IEC gelombangnya adalah $1,2 \times 50 \mu\text{s}$.

2.3.2 Karakteristik Mekanik

Isolator harus memiliki kekuatan mekanik untuk memikul beban mekanik penghantar yang diisolasinya. Isolator keramik mempunyai kekuatan mekanis yang lebih baik dibandingkan dengan isolator gelas. Gaya tarik pada isolator yang dipasang relatif besar, sehingga kekuatan keramik dan bagian-bagian yang disemen dibuat lebih besar dari bagian logam.

Kekuatan mekanis keramik standar berdiameter 2-3 cm adalah 4.500 kg/cm^2 untuk beban tekan, 700 kg/cm^2 untuk beban tekuk, dan 300 kg/cm^2 untuk beban tarik. Karakteristik listrik dan mekanis dari isolator piring dengan standar IEC 16 mmA (70 dan 80 kN) tertera pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik Elektrik dan Mekanik Isolator Piring

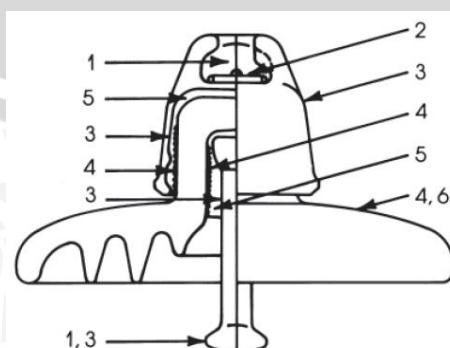
Cat. No.		CA-515MA (CA-515MX)	CA-515MC (CA-515MZ)	CA-501MC (MA-501MZ)
Porcelain Disk Diameter / mm		254	254	254
Unit Spacing / mm		127	146	146
Creepage Distance / mm		292	292	292
Electromechanical Failing Load / kN		70	70	80
Mechanical Routine Test Load / kN		28	28	32
Minimum Flashover Voltage	Power-Frequency	Dry / kV Wet / kV	78 45	78 45
	50% Impulse	Positive / kV Negative / kV	120 125	120 125
	Withstand Voltage	Dry / kV Wet / kV	70 40	70 40
		Impulse / kV	110	110
Puncture Voltage / kV		110	110	110
Ball & Socket Size / mmA		16	16	16
Net Weight / kg		4,1	4,1	4,1

Sumber : NGK Insulator. LTD

2.4 Konstruksi Isolator Piring

Isolator Piring pada umumnya memiliki tiga bagian utama yaitu kap, fitting, dan bahan dielektrik. Selain itu terdapat juga semen yang berfungsi sebagai bahan perekat yang merekatkan ketiga bagian tersebut.

Pada Gambar 2.8 merupakan bagian konstruksi isolator piring secara keseluruhan sebagai berikut.



Gambar 2.8 Konstruksi Isolator Piring
Sumber: Locke Suspension Insulators Catalog number 081

1. Penghubung

Isolator didesain dengan konfigurasi *ball-and-socket* atau *clevis-eye*, kemampuan keduanya sudah terjamin dan disesuaikan dengan standar ANSI.

2. Pengunci

Penguncian pada model ini menggunakan model *humped-type* untuk mencegah pelepasan secara tidak sengaja saat pemeliharaan.

3. Kap dan Pin

Kap diproduksi dengan menggunakan besi lunak atau besi yang elastis, untuk pin dengan baja yang ditempa. Lapisan semen yang berada pada kap dan pin berguna untuk melindungi kap dan pin dari serangan kimia.

4. Pelindung Keramik

Setiap kelas isolator sudah didesain dengan konfigurasi yang unik agar memenuhi karakteristik elektrik dan mekanik isolator tersebut. Semua bagian yang muncul sudah dibekukan agar mudah dibersihkan dari kotoran dan menambah kekuatan mekaniknya.

5. Perakitan dan Uji

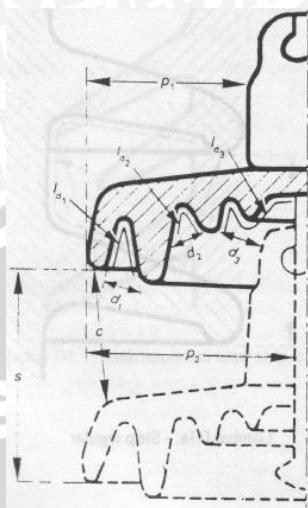
Perakitan keramik dibuat dengan semen alumina. Setiap isolator sudah dites 50% secara mekanik dan dites secara elektrik sebelum pengiriman.

Persyaratan yang harus dipenuhi dalam merancang isolator sebagai berikut (Bonggas, 2002:145).

- Setiap lubang pada bahan isolasi, harus memiliki sumbu yang sejajar dengan sumbu memanjang atau sumbu tegak isolator.
- Tidak memiliki lekukan yang runcing agar pada isolator tidak terjadi medan elektrik yang tinggi.
- Permukaan isolator harus licin dan bebas dari partikel-partikel runcing.
- Untuk menghindari terjadinya peluahan sebagian, maka isolator tidak boleh mengandung rongga udara.
- Tidak ada risiko meledak dan pecah.
- Dimensi sirip dan jarak rambat diatur sedemikian sehingga isolator mudah dibersihkan.
- Jarak rambat isolator harus diperbesar, jika isolator dipasang pada kawasan yang dihuni banyak burung.
- Bahan perekat harus memiliki kekuatan adhesi yang tinggi.

2.5 Parameter Isolator Piring

Parameter geometris isolator merupakan suatu besaran yang membedakan suatu profil isolator dengan isolator yang lain seperti ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Isolator Kap dan Pin
Sumber : SPLN 10-3b,1993

- Jarak minimum antar sirip, c

c merupakan jarak minimum antar sirip berdekatan yang berdiameter sama, jarak ini perlu dipertimbangkan untuk mencegah penjembatanan dua sirip yang berurutan pada saat kondisi hujan.

- Rasio antara spasi dan rentangan sirip, s/p

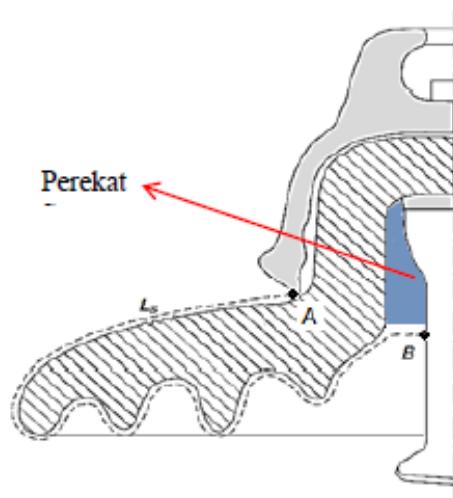
s (spasi) merupakan jarak vertikal antara dua titik yang sama pada sirip yang berurutan, sedangkan p merupakan jarak rentangan sirip maksimum. Rasio s/p menggambarkan pembatasan dalam pemilihan jarak bocor yang terlalu besar dan untuk menentukan sifat pembersihan sendiri dari isolator tersebut.

- Rasio antara jarak rambat dan jarak bebas, I_d/d

d merupakan jarak lurus lewat udara yang diukur antara dua titik yang terletak pada bagian yang bersifat isolasi, sedangkan I_d merupakan bagian lintas rambat yang diukur antara kedua titik tersebut. Rasio I_d/d menggambarkan kegunaan jarak rambat untuk mencegah terjadinya hubung singkat lokal, nilai rasio I_d/d harus lebih kecil dari 5.

- Jarak rambat isolator

Jarak rambat adalah jarak terpendek antara konduktor pada kap dan pin melalui permukaan isolator. Pada Gambar 2.10 terlihat bahwa jarak rambat L_s merupakan panjang dari titik A ke titik B. Jarak rambat pada isolator piring berkisaran antara 295 sampai 600 mm. Jarak rambat isolator yang akan digunakan tergantung pada jarak rambat spesifik dan tegangan nominal sistem di mana isolator akan dipasang.



Gambar 2.10 Jarak Rambat Ls pada Isolator Piring

Sumber : Wilvian,2012

Jarak rambat spesifik merupakan perbandingan dari jarak rambat dalam satuan mm dengan tegangan *line to line* sistem dalam satuan kV. Jarak rambat isolator bergantung pada tingkat bobot polisi pada kawasan isolator dipasang. Gradien permukaan yang direkomendasikan oleh IEC 815 pada setiap tingkat bobot polusi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Gradien Permukaan pada Setiap Tingkat Polusi

Tingkat Polusi	I (Ringan)	II (Sedang)	III (Berat)	IV (Sangat Berat)
Gradien permukaan/jarak rambat spesifik nominal minimum (mm/kV)	16	20	25	31

Menurut standar IEC 815, jarak rambat nominal minimum suatu isolator adalah

$$I_n = J_{RS} \times V \times k_d \quad (2-2)$$

Di mana:

I_n = Jarak rambat nominal minimum (mm)

J_{RS} = Jarak rambat spesifik minimum (mm/kV)

V = Tegangan fasa ke fasa tertinggi sistem (kV)

k_d = Faktor koreksi yang bergantung pada diameter isolator

- Faktor rambat C.F

Parameter-parameter yang telah disebutkan mencirikan bagian lokal dari suatu profil isolator, diperlukan faktor rambat (*C.F/Creepage Factor*) untuk mencirikan keseluruhan isolator sebagai berikut.



$$C.F = \frac{I_t}{S_t} \quad (2-3)$$

Di mana:

I_t = jarak rambat total suatu isolator

S_t = Jarak busur api

Pada SPLN 10-3b dianjurkan agar C.F dipertahankan kurang dari sama dengan 3,5 untuk tingkat polusi ringan dan sedang, C.F kurang dari sama dengan 4 untuk tingkat polusi berat dan sangat berat.

2.6 Pengotoran Isolator

Polutan yang ada di udara dapat menempel pada permukaan isolator dan dapat membentuk lapisan tipis pada permukaan isolator. Bobot polusi isolator ditetapkan empat tingkat, yaitu ringan, sedang, berat, dan sangat berat. Ada banyak metode untuk menentukan bobot polusi isolator. Tabel 2.3 berikut memperlihatkan pendekatan beberapa lingkungan khas yang berkaitan dengan setiap tingkat polusi.



Tabel 2.3 Tingkat Polusi dengan contoh lingkungan yang khas berdasarkan SPLN 10-3b

Tingkat Polusi	Contoh ciri lingkungan yang khas
I – Ringan	<ul style="list-style-type: none"> - Kawasan tanpa industri dengan kepadatan rumah rendah yang dilengkapi sarana pembakaran. - Kawasan dengan kepadatan-industri rendah atau kepadatan rumah rendah tetapi sering terkena angin dan atau hujan. - Kawasan pertanian. - Kawasan pegunungan. <p>Semua kawasan ini harus terletak paling sedikit 10 km sampai 20 km dari laut dan bukan kawasan terbuka bagi hembusan angin langsung dari laut.</p>
II – Sedang	<ul style="list-style-type: none"> - Kawasan dengan industri yang tidak secara khusus menghasilkan asap polusi dan atau dengan kepadatan rumah sedang yang dilengkapi sarana pembakaran. - Kawasan dengan kepadatan rumah tinggi dan atau kepadatan industri tinggi, tetapi sering terkena angin dan atau hujan. - Kawasan terbuka bagi angin dari laut tetapi tidak terlalu dekat dengan pantai.
III – Berat	<ul style="list-style-type: none"> - Kawasan dengan kepadatan industri tinggi dan pinggiran kota besar dengan kepadatan sarana pembakaran tinggi yang menghasilkan polusi. - Kawasan dekat laut atau dalam setiap keadaan terbuka bagi hembusan angin yang relatif kencang dari laut.
IV – Sangat Berat	<ul style="list-style-type: none"> - Kawasan yang umumnya luasnya cukupan, terkena debu konduktif dan asap industri yang khususnya menghasilkan endapan konduktif yang tebal. - Kawasan yang umumnya luasnya cukupan sangat dekat dengan pantai, dan terbuka bagi semburan air laut atau hembusan angin yang sangat kencang dan terpolusi dari laut. - Kawasan padang pasir, yang ditandai dengan tidak adanya hujan untuk jangka waktu lama, terbuka bagi angin kencang yang membawa pasir dan garam serta terkena kondensasi yang tetap.

Berdasarkan standar IEC 815, ada tiga metode untuk menentukan tingkat bobot polusi isolator di suatu kawasan sebagai berikut.

1. Berdasarkan analisa kualitatif kondisi lingkungan
2. Berdasarkan evaluasi terhadap pengalaman lapangan tentang perilaku isolator yang sudah terpasang di kawasan tersebut.
3. Berdasarkan pengukuran polutan isolator yang sudah terpasang/sudah beroperasi.

Metode yang umum digunakan adalah metode ESDD (*equivalent salt density deposit*) dan tinjauan lapangan. Metode ESDD dilakukan dengan mengukur konduktivitas polutan kemudian disetarakan dengan bobot garam dalam larutan air yang konduktivitasnya sama dengan konduktivitas polutan tersebut. Penentuan tingkat bobot polusi isolator dengan metode ESDD berdasarkan IEC 815 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Tingkat Polusi Berdasarkan Nilai Maksimum ESDD Berdasarkan IEC 815

Tingkat Polusi	ESDD Maksimum (mg/cm ²)
Ringan	0,06
Sedang	0,20
Berat	0,60
Sangat Berat	>0,60

2.7 Arus Bocor

Timbulnya arus bocor diawali oleh adanya lapisan konduktif pada permukaan isolator (Philips, 2002). Polutan yang menempel di permukaan isolator dapat bersifat konduktif atau non konduktif, lapisan konduktif terbentuk akibat adanya kontaminasi polutan atau terjadi pembasahan di permukaan isolator dikarenakan hujan. Untuk polutan yang bersifat non konduktif dapat memperbesar tingkat kebasahan permukaan isolator yang bersifat hidrofilik, dan dapat juga mengikat partikel lain yang bersifat konduktif. Pembasahan lapisan kontaminasi oleh karena kelembaban yang tinggi, butir-butir air, pembasahan oleh air hujan yang rintik-rintik, dapat mengakibatkan elektrolit yang konduktif, sehingga resistansi permukaan akan menjadi kecil, dan akhirnya mengalir arus bocor permukaan (Hamzah dan Prabowo, 2007).

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. Arus bocor

yang mengalir pada permukaan isolator memiliki temperatur yang tinggi sehingga menyebabkan penguapan sebagian pada permukaan isolator.

Pada kondisi basah jalur konduktif yang terbentuk pada permukaan isolator akan mengalirkan arus dari konduktor ke tanah. Arus bocor merupakan fungsi dari nilai resistansi permukaan isolator yang terkontaminasi, artinya dengan meningkatnya nilai arus bocor ini diikuti dengan menurunnya nilai resistansi pada 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 resistansi (R). Sehingga dapat dinyatakan dengan Persamaan 2-4 dan 2-5 seperti di bawah ini.

$$I = \frac{V}{R} \quad (2-4)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (2-5)$$

Beberapa kejadian yang sering terjadi akibat mengalirnya arus bocor adalah pemanasan pada permukaan isolator yang dapat mempercepat penuaan, terbentuknya pita kering (*dry band*), munculnya busur listrik (*arc*), dan terjadinya loncatan api (*flashover*) yang dapat menurunkan hidrofobisitas isolator.

2.8 Karakteristik Curah Hujan

Hujan merupakan proses fisis yang dihasilkan dari fenomena cuaca. Pola curah hujan yang terjadi di Indonesia antara lain dipengaruhi oleh letak geografis. Curah hujan rata-rata yang turun di berbagai tempat di Indonesia dalam setahun berkisar antara 500 mm sampai lebih dari 5.000 mm (Tukidi, 2007).

Rata-rata intensitas curah hujan di Kota Malang adalah 1000-1500 mm per tahun atau berkisar 5-10 mm per hari. Berdasarkan pada curah hujan rata-rata tahunan, musim hujan biasanya terjadi pada bulan Oktober sampai Februari sedangkan musim kemarau pada bulan Mei sampai September (BMKG, 2014).



BAB III METODE PENELITIAN

Dalam metode penelitian ini akan diuraikan langkah-langkah yang akan dilaksanakan dalam mencapai tujuan penyusunan penelitian. Metode yang akan dilakukan dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Diagram alir metode penelitian

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian arus bocor dengan penambahan keping isolator berpolutan pada kondisi kering, pengujian arus bocor dengan penambahan keping isolator pada kondisi basah dan pengujian kandungan polutan yang ada pada permukaan isolator.

Untuk pengujian kondisi kering, dilakukan pengujian 5 kali dengan setiap kali pengujian menambahkan 1 keping isolator berpolutan, jika pengujian sesuai akan



dilakukan analisis hasil dari pengujian tersebut. Pada pengujian kondisi basah, dilakukan 5 kali pengujian untuk setiap variasi tekanan air yang dipakai, sama dengan pengujian kondisi kering pada kondisi basah akan ditambah 1 keping isolator untuk setiap kali pengujian, jika pengujian sesuai maka akan dilanjutkan analisis hasil pengujian. Untuk pengujian polutan, sampel diambil dari permukaan isolator dengan luasan $1 \times 1 \text{ cm}^2$. Sampel dikirimkan ke laboratorium untuk diuji kandungan polutan, jika hasil data dari pengujian sesuai akan dilanjutkan analisis. Setelah semua pengujian dan analisis selesai, akan diambil kesimpulan dan saran dari hasil pengujian tersebut.

3.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dengan mempelajari buku-buku literatur yang berkaitan dengan arus bocor pada isolator berpolutan, pengotoran pada isolator dan jurnal-jurnal dari situs internet yang berkaitan dengan penyelesaian penelitian ini. Studi literatur bertujuan sebagai dasar teori yang menunjang penyelesaian penelitian tentang kandungan polutan yang terdapat pada isolator dan arus bocor pada isolator berpolutan dengan kondisi basah.

3.2 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa hal yang akan diamati, antara lain pengaruh penambahan keping isolator berpolutan terhadap nilai arus bocor pada kondisi basah dan kondisi kering dan kandungan polutan pada permukaan isolator piring.

3.3 Pengujian

3.3.1 Obyek Uji

Langkah pertama sebelum melakukan pengujian adalah memilih obyek uji (isolator) yang akan dipakai. Isolator yang dipakai harus memiliki bahan, ukuran, dan warna yang sama. Secara fisik isolator yang dipakai merupakan isolator yang permukaannya memiliki polutan.

Dalam penelitian ini isolator yang diuji merupakan isolator berpolutan yang diambil pada wilayah Malang raya. Obyek uji berupa isolator rantai tipe *ball and socket* dengan jumlah rentengan mencapai 5 keping, yaitu jumlah yang umum digunakan pada sistem tegangan 66/77 kV, 15.000 lb dan memiliki jarak rambat (*creepage distance*) 292 mm. Bentuk isolator rantai yang dimaksud diberikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Isolator Rantai
Sumber : Lab.Tegangan Tinggi

3.3.2 Bahan dan Peralatan

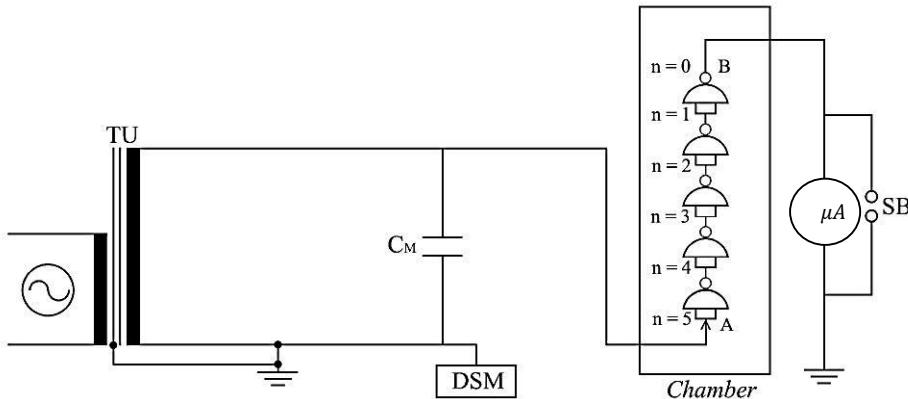
Bahan dan peralatan yang dipergunakan pada penelitian ini agar mendapatkan nilai arus bocor pada isolator rantai, antara lain.

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| a. Isolator Rantai | : Obyek uji |
| b. <i>HV Transformer</i> (Trafo Uji) | : 220 V/100 kV, 5 kVA, 50 Hz |
| c. C_M | : Pembagi kapasitif (100 pF) |
| d. <i>DSM</i> | : Alat ukur tegangan tinggi AC |
| e. Amperemeter | : Alat ukur arus listrik |
| f. <i>Chamber</i> | : Chamber (ruang uji) |
| g. <i>Valve</i> | : Pengatur kapasitas air |
| h. Gelas Ukur | : Mengetahui volume air |
| i. Manometer | : Mengetahui tekanan air |
| j. Air | : Pembasah obyek uji |
| k. Sprayer | : Penyemprot air |

3.3.3 Rangkaian Pengujian

Rangkaian pengujian yang digunakan untuk mengetahui arus bocor pada isolator rantai akan diberikan seperti pada Gambar 3.3. Dalam pengujian arus bocor digunakan tegangan bolak-balik (AC) dengan menggambarkan kondisi sebenarnya dilapangan di mana tegangan sistem yang digunakan adalah menggunakan tegangan bolak-balik. Pengukuran tegangan tinggi terdiri dari trafo uji (*HV Transformer*) yang dapat menaikan

tegangan sampai 100 kV, dengan daya yang dikeluarkan sebesar 5 kVA, dan frekuensi 50 Hz.



Gambar 3.3 Rangkaian Pengujian Arus Bocor pada Isolator Rantai dengan Lima Buah Isolator Piring.

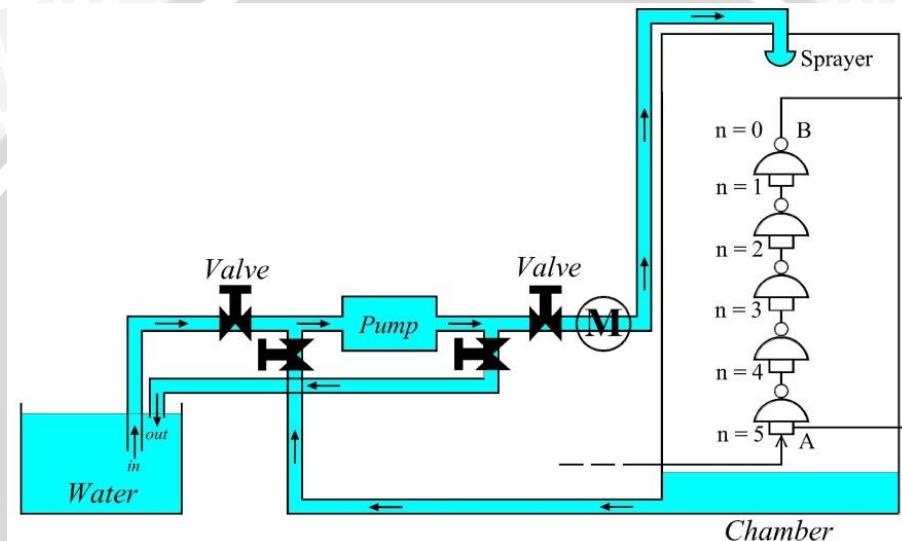
Trafo uji digunakan untuk membangkitkan tegangan tinggi AC. Pada saat pengujian, untuk menaikkan tegangan kerja pada sisi primer trafo dapat diatur melalui control desk, pada sisi sekunder trafo dihubungkan dengan CM dan isolator rantai. Untuk kebutuhan pengukuran dibutuhkan CM untuk digunakan sebagai pengaman DSM, DSM merupakan alat ukur tegangan tinggi AC, agar tegangan yang akan masuk pada DSM akan diturunkan terlebih dahulu oleh CM. Sisi sekunder trafo dihubungkan juga dengan isolator rantai, dengan bagian atas dari isolator rantai dikebumikan. Alat ukur arus listrik (Amperemeter) dipasang secara seri pada isolator rantai.

Besarnya arus bocor yang terjadi akan langsung ditampilkan pada Amperemeter, arus bocor yang terukur mempresentasikan arus yang melalui permukaan isolator. Digunakan juga sela bola yang dipasang pararel dengan Amperemeter dengan tujuan agar melindungi alat ukur bila terjadi tegangan tembus. Tegangan kerja yang dikenakan dinaikkan secara bertahap dan diukur arus bocornya. Pada setiap tahap tegangan kerja akan dibiarkan selama 1 menit dan diukur kembali arus bocornya. Hal ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk satu tahap tegangan kerja, kemudian diambil nilai rata-ratanya.

3.4 Kondisi Pengujian

Untuk pengujian kondisi kering, tidak perlu menggunakan chamber untuk melindungi isolator. Untuk pengujian kondisi basah, sebelum dilakukan proses pembasahan pada isolator, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mempersiapkan volume air yang digunakan. Penggunaan air untuk pembasahan akan diukur terlebih dahulu agar bisa dikondisikan seperti terjadi hujan atau hujan buatan. Alat ukur tekanan

dipasang pada pompa sebagai acuan kekuatan semburan air yang dikeluarkan. *Chamber* digunakan sebagai pelindung agar air yang disemprotkan ke obyek uji tidak membahasi peralatan tegangan tinggi. Untuk mengatur kapasitas air yang digunakan dapat diatur melalui *valve* (kran) yang diatur sedemikian rupa, sehingga air yang digunakan sesuai dengan kapasitas volume yang digunakan. Jika air yang berada di chamber sudah penuh, maka untuk mengeluarkan air dapat melalui *valve* dititik saluran chamber, dan *valve* dari titik bak air ditutup. Rangkaian pengujian pada saat kondisi basah dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian pengujian kondisi basah.

Tingkat pembasahan yang digunakan pada pengujian ini dengan menggunakan tiga macam tekanan yaitu, tekanan 5 psi, 10 psi, dan 15 psi. Pada Tabel 3.1 merupakan tabel volume air yang tertampung pada tekanan 5 psi, 10 psi, dan 15 psi.

Tabel 3.1 Volume air yang tertampung pada tiap tekanan

No.	Tekanan (psi)	Volume Air (ml)	Intensitas Pembasahan (mm/menit)
1	5	2749	2,75
2	10	3615	3,61
3	15	4474	4,47

3.5 Pembumian

Pengujian arus bocor pada isolator rantai merupakan percobaan tegangan tinggi, sehingga untuk menjaga keselamatan dalam pemakaiannya, semua peralatan yang bersifat dapat dialiri oleh arus listrik dalam keadaan normal atau sedang tidak dialiri arus

listrik harus dikebumikan, sehingga mempunyai potensial yang sama dengan tanah dan tidak mempengaruhi hasil pengukuran.

3.6 Langkah-langkah Pengujian

3.6.1 Langkah-langkah Pengujian Arus Bocor

1. Menyusun rangkaian pengujian seperti pada Gambar 3.3.
2. Menghubungkan tegangan tinggi AC pada isolator rantai.
3. Mencatat hasil pengujian berupa arus bocor.
4. Menentukan resistansi permukaan (R) pada isolator.
5. Menyusun hasil perhitungan dalam bentuk tabel.
6. Membandingkan kenaikan tingkat pembasahan dan penambahan keping isolator berpolutan dengan nilai resistansi permukaan (R) isolator.

3.6.2 Langkah-langkah Pengujian Polutan

1. Mengerik lapisan permukaan isolator piring dengan ukuran $1 \times 1 \text{ cm}^2$.
2. Polutan yang telah dikerik, dikirim ke laboratorium untuk mengetahui kandungan polutan yang ada pada isolator.

3.7 Analisis Hasil Pengujian

1. Analisis kandungan polutan pada sampel isolator piring.
2. Analisis nilai arus bocor dan resistansi piring pada isolator piring.
3. Analisis pengaruh penambahan keping isolator rantai berpolutan terhadap arus bocor pada kondisi kering dan basah dengan tingkat pembasahan yang berbeda.

3.8 Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan teori, hasil perhitungan, dan analisis. Kemudian pemberian saran kepada pembaca yang dimaksudkan untuk memperbaiki kesalahan-kesalahan yang terjadi serta menyempurnakan penelitian untuk pengembangan di masa mendatang.



BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai analisis hasil pengukuran arus bocor akibat penambahan keping isolator berpolutan pada kondisi kering dan dalam kondisi pembasahan. Pengujian isolator dalam kondisi kering dan dalam kondisi pembasahan dilakukan di dalam laboratorium. Selain itu dipaparkan pula tentang kandungan polutan pada sampel isolator piring di wilayah Malang. Variabel dalam penelitian ini adalah jumlah piring, tegangan uji yang dimulai dari 2 kV - 20 kV, dan variasi tingkat pembasahan.

4.1 Pengujian Polutan

Dalam mempengaruhi tahanan permukaan isolator, polutan dibagi menjadi dua jenis yaitu polutan yang bersifat konduktif dan polutan yang bersifat inert. Polutan konduktif adalah polutan yang dapat menghantarkan arus listrik, sedangkan polutan yang bersifat inert adalah polutan yang tidak dapat terurai dan dapat mempersulit proses pencucian sebuah isolator.

Pada pengujian polutan, parameter yang diamati ialah Natrium dan Magnesium. Pengujian sampel polutan yang diambil pada tiap keping isolator diuji menggunakan alat XRF. Pengujian ini dilakukan agar mengetahui kandungan apa saja yang terdapat di polutan pada permukaan isolator.

Luasan yang diambil untuk masing-masing permukaan $1 \times 1 \text{ cm}^2$. Pengujian XRF dilakukan dua kali, yang pertama tanpa menggunakan helium dan yang kedua menggunakan helium. Penggunaan helium dikarenakan untuk melihat nilai dari Natrium dan Magnesium.

Sampel pertama diambil pada keping isolator kesatu, berat sampel yang diambil pada permukaan keping isolator kesatu sebesar 0,0694 gram. Hasil pengujian XRF untuk sampel pada keping isolator kesatu diperlihatkan pada Tabel 4.1.



Tabel 4.1 Hasil pengujian XRF Sampel Keping Isolator Kesatu

Compound	Conc (%)	
	Tanpa Helium	Helium
Al (Alumunium)	8,40	-
Si (Silikon)	26,40	17,40
P (Fosfor)	1,60	1,20
S (Belerang)	1,60	2,02
K (Kalium)	2,56	4,34
Ca (Calsium)	15,40	29,8
Ti (Taliun)	2,49	6,30
V (Vanadium)	0,10	0,85
Cr (Khrom)	0,70	4,80
Mn (Mangan)	0,65	14,00
Fe (Besi)	36,9	-
Ni (Nikel)	0,65	-
Cu (Tembaga)	0,24	-
Zn (Seng)	2,23	-
Na (Natrium)	-	5,30
Mg (Magnesium)	-	0,30
Br (Brom)	-	5,90
Ba (Barium)	-	8,20

Pada Tabel 4.1 dijelaskan bahwa, pada keping isolator kesatu nilai Na (Natrium) sebesar 5,3 %, Mg (Magnesium) sebesar 0,3 %. Sampel kedua diambil pada keping isolator kedua, berat sampel yang diambil pada permukaan keping isolator kedua sebesar 0,1683 gram. Hasil pengujian XRF untuk sampel pada keping isolator kedua dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian XRF Sampel Keping Isolator Kedua

Compound	Conc (%)	
	Tanpa Helium	Helium
Al (Alumunium)	6,30	-
Si (Silikon)	19,60	12,20
P (Fosfor)	2,00	1,50
S (Belerang)	2,50	-
K (Kalium)	2,45	3,62
Ca (Calsium)	20,40	38,80
Ti (Taliun)	2,28	5,20
V (Vanadium)	0,12	0,97
Cr (Khrom)	0,20	2,10
Mn (Mangan)	0,72	14,00
Fe (Besi)	37,10	-
Ni (Nikel)	0,59	-
Cu (Tembaga)	0,33	-
Zn (Seng)	4,93	-
Eu (Eopium)	0,50	-
Na (Natrium)	-	7,90
Mg (Magnesium)	-	0,80
Br (Brom)	-	4,70
Ba (Barium)	-	8,10

Pada Tabel 4.2 dijelaskan bahwa, pada keping isolator kedua nilai Na (Natrium) sebesar 7,9 %, Mg (Magnesium) sebesar 0,8 %.

Sampel ketiga diambil pada keping isolator ketiga, berat sampel yang diambil pada permukaan keping isolator ketiga sebesar 0,0593 gram. Hasil pengujian XRF untuk sampel pada keping isolator ketiga dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian XRF Sampel Keping Isolator ketiga

Compound	Conc (%)	
	Tanpa Helium	Helium
Al (Alumunium)	7,60	-
Si (Silikon)	21,70	15,10
P (Fosfor)	2,60	2,10
K (Kalium)	2,00	3,70
Ca (Calsium)	16,40	40,10
Ti (Talium)	1,94	5,30
V (Vanadium)	0,11	1,80
Cr (Khrom)	0,31	-
Mn (Mangan)	0,50	-
Fe (Besi)	27,10	-
Ni (Nikel)	0,78	-
Cu (Tembaga)	0,23	-
Zn (Seng)	18,40	-
Eu (Eopium)	0,30	-
Yb (Iterbium)	0,10	-
Na (Natrium)	-	12,00
Mg (Magnesium)	-	2,40
Br (Brom)	-	6,10
Ba (Barium)	-	11,00

Pada Tabel 4.3 dijelaskan bahwa, pada keping isolator ketiga nilai Na (Natrium) sebesar 12 %, Mg (Magnesium) sebesar 2,4 %.

Sampel keempat diambil pada keping isolator keempat, berat sampel yang diambil pada permukaan keping isolator keempat sebesar 0,025 gram. Hasil pengujian XRF untuk sampel pada keping isolator keempat dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil pengujian XRF Sampel Keping Isolator Keempat

Compound	Conc (%)	
	Tanpa Helium	Helium
Al (Alumunium)	9,60	-
Si (Silikon)	23,00	12,00
P (Fosfor)	6,70	3,70
K (Kalium)	2,30	2,60
Ca (Calsium)	18,90	24,70
Ti (Talium)	1,90	2,50
V (Vanadium)	0,20	1,00
Cr (Khrom)	0,53	-
Mn (Mangan)	0,42	-
Fe (Besi)	26,10	-
Ni (Nikel)	2,51	-
Cu (Tembaga)	0,48	-
Zn (Seng)	6,38	-
Ba (Barium)	1,10	12,00
Na (Natrium)	-	21,00
Mg (Magnesium)	-	2,00
Ge (Germanium)	-	12,00
Br (Brom)	-	6,30

Pada Tabel 4.4 dijelaskan bahwa, pada keping isolator keempat nilai Na (Natrium) sebesar 21 %, Mg (Magnesium) sebesar 2 %. Sampel kelima diambil pada keping isolator kelima, berat sampel yang diambil pada permukaan keping isolator kelima sebesar 0,1476 gram. Hasil pengujian XRF untuk sampel pada keping isolator kelima dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengujian XRF Sampel Keping Isolator Kelima

Compound	Conc (%)	
	Tanpa Helium	Helium
Al (Alumunium)	8,30	-
Si (Silikon)	25,50	16,20
P (Fosfor)	3,00	2,20
K (Kalium)	2,10	3,10
Ca (Calsium)	19,30	35,10
Ti (Talium)	2,00	4,50
V (Vanadium)	0,13	1,60
Cr (Khrom)	0,23	-
Mn (Mangan)	0,63	-
Fe (Besi)	30,30	-
Ni (Nikel)	1,10	-
Cu (Tembaga)	0,35	-
Zn (Seng)	6,21	-
Ba (Barium)	0,60	12,00
Eu (Eopium)	0,30	-
Na (Natrium)	-	17,00
Mg (Magnesium)	-	2,80
Br (Brom)	-	6,10

Pada Tabel 4.5 dijelaskan bahwa, pada keping isolator kelima nilai Na (Natrium) sebesar 17 %, Mg (Magnesium) sebesar 2,8 %.

Dari Tabel 4.1 – 4.5 dapat dilihat bahwa kandungan polutan yang terdapat pada tiap keping isolator memiliki unsur dan kepekatan yang berbeda-beda. Beberapa unsur pada kandungan polutan yang terdapat sampel keping isolator memiliki sifat sukar larut dalam air. Unsur dari kandungan tersebut terdiri atas Ti (Talium), V (Vanadium), Cr (Chrom), Mn (Mangan), Fe (Besi), dan Ni (Nikel). Tabel 4.6 merupakan tabel unsur natrium dan magnesium dari tiap-tiap keping isolator rantai.

Tabel 4.6 Unsur Natrium dan Magnesium Tiap-Tiap Keping Isolator

Compound	Keping Isolator Ke-				
	Keping Isolator 1	Keping Isolator 2	Keping Isolator 3	Keping Isolator 4	Keping Isolator 5
	Conc (%)				
Na (Natrium)	5,3	7,9	12,00	21,00	17,00
Mg (Magnesium)	0,3	0,8	2,40	2,00	2,80

Pada Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa kepekatan unsur Natrium dan Magnesium pada tiap keping isolator berbeda-beda. Jika nilai diatas di rata-rata maka didapatkan 12,64 % Natrium dan 1,66% Magnesium pada seluruh sampel yang diuji.

4.2 Pengujian Arus Bocor Pada Isolator Berpolutan Kondisi Kering

Pengujian arus bocor pada isolator berpolutan dalam kondisi kering menggambarkan saat isolator tersebut berada di lapangan dengan keadaan cerah. Pada pengujian ini yang akan diamati ialah pengaruh penambahan keping isolator berpolutan dan variasi tegangan uji yang diberikan terhadap arus bocor.

Pada pengujian kondisi kering dibagi menjadi dua pengujian yaitu pengujian arus bocor tiap keping isolator dan pengujian arus bocor dengan penambahan keping isolator. Pengujian ini keping isolator berpolutan yang digunakan sejumlah 5 keping. Untuk pengujian penambahan keping isolator berpolutan, penambahan keping yang dilakukan untuk satu kali pengujian ialah 1 keping isolator berpolutan. Dalam pengujian arus bocor, variasi tegangan uji yang diberikan ialah 2 kV, 5kV, 8 kV, 11 kV, 14 kV, 17 kV dan 20 kV.

Tabel 4.7 merupakan tabel data pengujian nilai arus bocor pada keping isolator berpolutan kesatu sampai keping isolator ketiga beserta nilai resistansi permukaannya. Nilai resistansi permukaan didapatkan menggunakan persamaan 2-5. Untuk tabel keping isolator keempat dan kelima dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.7 Pengujian Arus Bocor Kondisi Kering Keping Isolator Kesatu sampai Keping Isolator Ketiga

Keping Rantai Isolator Ke -								
Keping Isolator 1			Keping Isolator 2			Keping Isolator 3		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)
2,33	17,33	134,231	2,34	17,97	130,241	2,34	18,00	129,815
5,52	40,30	136,890	5,55	39,83	139,247	5,57	41,73	133,466
8,51	60,83	139,836	8,54	63,30	134,966	8,54	64,43	132,540
11,57	84,13	137,520	11,53	88,67	130,038	11,51	89,00	129,326
14,67	106,13	138,254	14,61	112,20	130,244	14,63	113,07	129,422
17,34	125,40	138,251	17,34	133,30	130,083	17,33	134,20	129,136
20,39	149,80	136,115	20,44	156,03	131,019	20,36	158,03	128,834

Pada Tabel 4.7 dapat diamati bahwa untuk keping isolator kesatu dengan diberi tegangan 2,33 kV nilai arus bocornya sebesar 17,33 μ A, untuk keping isolator kedua dengan diberi tegangan 2,34 kV nilai arus bocornya 17,97 μ A dan untuk keping isolator keempat dengan diberi tegangan 2,34 kV nilai arus bocornya 18,00 μ A.

Dengan memberikan tegangan uji yang hampir sama nilai arus bocor untuk tiap-tiap keping isolator berbeda. Untuk nilai resistansi permukaannya, keping isolator kesatu memiliki nilai resistansi permukaan yang lebih besar dari pada keping isolator kedua dan ketiga.

Tabel 4.8 merupakan tabel data pengujian nilai arus bocor pada setiap penambahan 1 keping isolator berpolutan sampai 3 keping isolator berpolutan beserta nilai resistansi permukaannya. Nilai resistansi permukaan didapatkan dengan menggunakan persamaan 2-5. Untuk tabel penambahan keping 4 dan keping 5 dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.8 Pengujian Arus Bocor Kondisi Kering dengan Penambahan 1 Keping sampai 3 keping Isolator Berpolutan beserta Nilai Resistansi Permukaan

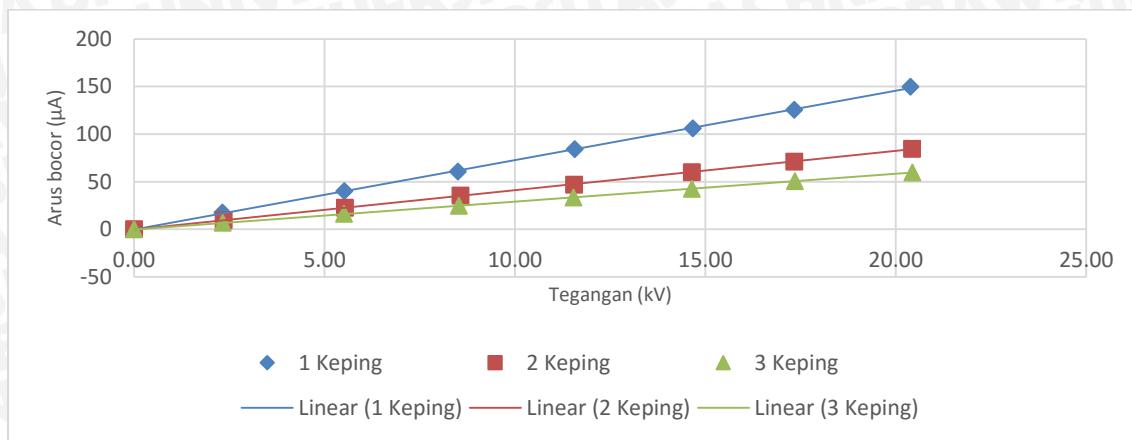
Jumlah Keping Rantai Isolator								
1 Keping Isolator			2 Keping Isolator			3 Keping Isolator		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan ($\text{M}\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan ($\text{M}\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan ($\text{M}\Omega$)
2,33	17,33	134,231	2,35	9,70	242,268	2,33	6,77	343,673
5,52	40,30	136,890	5,54	22,73	243,731	5,51	16,13	341,806
8,51	60,83	139,836	8,57	35,33	242,664	8,53	24,73	344,925
11,57	84,13	137,520	11,56	46,93	246,236	11,54	33,60	343,452
14,67	106,13	138,254	14,65	59,93	244,383	14,65	42,67	343,359
17,34	125,40	138,251	17,33	71,20	243,446	17,36	50,43	344,151
20,39	149,80	136,115	20,43	84,57	241,545	20,44	59,77	341,997

Tabel 4.8 dijelaskan bahwa pada saat satu keping isolator berpolutan dipasang dan diberi tegangan uji 2,33 kV nilai arus bocornya ialah 17,33 μA , saat dua keping isolator berpolutan dipasang dengan tegangan sebesar 2,35 kV nilai arus bocornya 9,70 μA , dan 3 keping isolator berpolutan dipasang dalam pengujian dan diberi tegangan 2,33 kV nilai arus bocornya 6,77 μA . Dapat diamati bahwa dengan menambah keping isolator pada saat pengujian akan menurunkan nilai arus bocor. Pada tabel 4.8 juga dapat dilihat pada saat 1 keping isolator berpolutan dipasang dan dengan memberikan tegangan uji sebesar 5,52 kV nilai arus bocornya 40,30 μA , saat diberikan tegangan uji 8,51 kV nilai arus bocornya 60,83 μA . Dapat diamati pula bahwa nilai arus bocor akan semakin meningkat pada saat tegangan uji yang diberikan juga diperbesar, hal ini juga berlaku pada saat pengujian penambahan keping isolator yang lainnya.

Pada Tabel 4.8 dapat dilihat bahwa nilai resistansi permukaan isolator berpolutan mengalami peningkatan dari 1 keping dengan tegangan 2,33 kV memiliki resistansi sebesar 134,231 $\text{M}\Omega$, 2 keping dengan tegangan 2,35 kV memiliki resistansi 242,268 $\text{M}\Omega$, dan pada 3 keping dengan tegangan 2,33 kV memiliki resistansi sebesar 343,673 $\text{M}\Omega$.

Dengan menggunakan Tabel 4.8 dapat di buat dua grafik, yaitu grafik pengaruh penambahan keping isolator berpolutan yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan grafik

resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi kering yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Pengaruh penambahan keping isolator berpolutan terhadap arus bocor

Gambar 4.1 merupakan grafik penambahan isolator berpolutan, dari gambar dapat dilihat bahwa nilai arus akan semakin tinggi jika tegangan yang diberikan juga semakin meningkat dan nilai arus bocor akan semakin rendah jika semakin banyak jumlah keping isolator dipasang saat pengujian.

Persamaan fungsi dari grafik Gambar 4.1 adalah.

- 1 Keping

$$I = 7,2887U$$

$$R^2 = 0,9998$$

- 2 Keping

$$I = 4,1201U$$

$$R^2 = 0,9999$$

- 3 Keping

$$I = 2,9165U$$

$$R^2 = 1$$

Untuk persamaan fungsi grafik Gambar 4.1 didapatkan dengan menggunakan metode regresi linier. Pada grafik didapatkan persamaan untuk setiap penambahan keping, dengan I merupakan arus bocor (μA) dan U (kV) adalah tegangan kerja. Dengan mengambil contoh satu tegangan kerja yang diberikan yaitu 2,33 kV untuk 1 keping , 2,35 kV untuk 2 keping dan 2,33 kV untuk 3 keping, maka perhitungannya sebagai berikut.

- 1 Keping

$$I = 7,2887U$$

$$I = 7,2887 (2,33)$$



$$I = 16,96 \mu\text{A}$$

- 2 Keping

$$I = 4,1201U$$

$$I = 4,1201 (2,35)$$

$$I = 9,68 \mu\text{A}$$

- 3 Keping

$$I = 2,9165U$$

$$I = 2,9165 (2,33)$$

$$I = 6,79 \mu\text{A}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dengan tegangan kerja 5-20 kV dari setiap penambahan keping isolator dapat dilihat pada Tabel 4.9 yang merupakan perbandingan data pengujian arus bocor dengan data menurut *trendline* pada penambahan 1 keping sampai 3 keping isolator berpolutan. Untuk tabel perbandingan pada keping 4 dan keping 5 dapat dilihat pada lampiran.

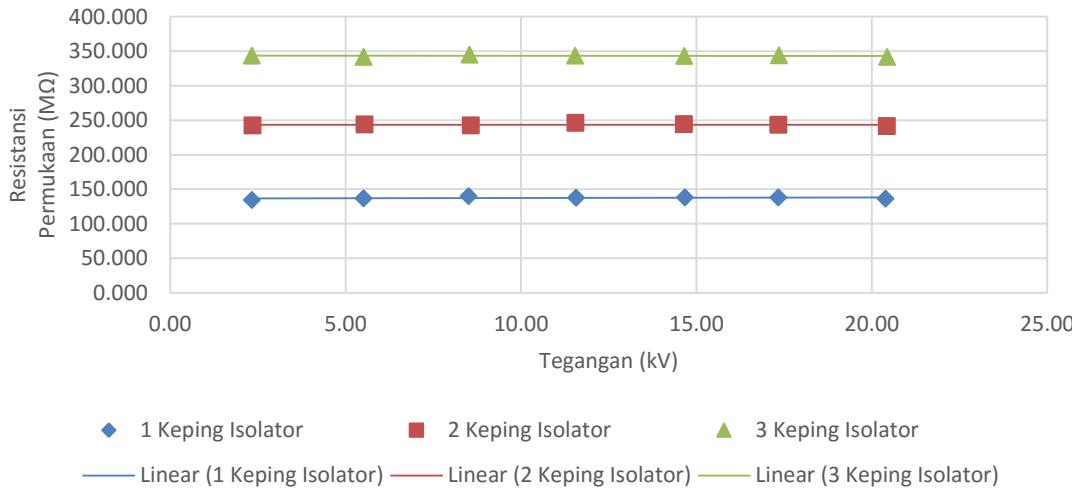
Tabel 4.9 Perbandingan Data Pengujian Arus Bocor dengan Data Menurut *Trendline* pada Penambahan 1 Keping sampai 3 Keping Isolator

Jumlah Keping Rantai Isolator											
1 Keping				2 Keping				3 Keping			
Teg. uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μA)	Arus bocor Trendline (μA)	ΔI (μA)	Teg. uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μA)	Arus bocor Trendline (μA)	ΔI (μA)	Teg. uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μA)	Arus bocor Trendline (μA)	ΔI (μA)
2,33	17,33	16,96	0,37	2,35	9,70	9,68	0,02	2,33	6,77	6,79	0,02
5,52	40,30	40,21	0,09	5,54	22,73	22,83	0,10	5,51	16,13	16,08	0,05
8,51	60,83	62,00	1,17	8,57	35,33	35,32	0,01	8,53	24,73	24,88	0,15
11,57	84,13	84,33	0,20	11,56	46,93	47,61	0,68	11,54	33,60	33,66	0,06
14,67	106,13	106,95	0,82	14,65	59,93	60,35	0,41	14,65	42,67	42,73	0,06
17,34	125,40	126,36	0,96	17,33	71,20	71,42	0,22	17,36	50,43	50,62	0,19
20,39	149,80	148,62	1,18	20,43	84,57	84,16	0,41	20,44	59,77	59,61	0,15
Rata-rata penyimpangan			0,68					0,26			



Dari Tabel 4.9 dapat dilihat perbandingan data pengujian arus bocor dengan data *trendline* memiliki rata-rata penyimpangan bernilai 0,10-0,68 pada pengujian arus bocor untuk penambahan 1 keping sampai 3 keping isolator berpolutan.

Gambar 4.2 merupakan grafik resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi kering untuk penambahan 1 keping isolator berpolutan sampai 3 keping isolator berpolutan.



Gambar 4.2 Grafik Resistansi Permukaan Isolator Berpolutan pada Kondisi Kering

Dari Gambar 4.2 diketahui bahwa nilai resistansi akan meningkat pada saat diberi penambahan keping isolator berpolutan dan nilai resistansi cenderung konstan pada tegangan 11 kV – 20 kV.

Dengan menggunakan data pada Tabel 4.9, dapat diperoleh hasil perbandingan data resistansi dari hasil pengujian dengan resistansi dari *trendline* yang diperlihatkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Perbandingan Data Resistansi dari Pengujian dengan Data Resistansi dari *Trendline*

Jumlah Keping Rantai Isolator											
1 Keping Isolator				2 Keping Isolator				3 Keping Isolator			
Teg. uji (kV)	Resistansi Permukaan Pengujian (MΩ)	Resistansi Permukaan <i>Trendline</i> (MΩ)	ΔR (MΩ)	Teg. uji (kV)	Resistansi Permukaan Pengujian (MΩ)	Resistansi Permukaan <i>Trendline</i> (MΩ)	ΔR (MΩ)	Teg. uji (kV)	Resistansi Permukaan Pengujian (MΩ)	Resistansi Permukaan <i>Trendline</i> (MΩ)	ΔR (MΩ)
2,33	134,23	137,20	2,97	2,35	242,27	242,71	0,44	2,33	343,67	342,88	0,80
5,52	136,89	137,20	0,31	5,54	243,73	242,71	1,02	5,51	341,81	342,88	1,07
8,51	139,84	137,20	2,64	8,57	242,66	242,71	0,05	8,53	344,93	342,88	2,05
11,57	137,52	137,20	0,32	11,56	246,24	242,71	3,52	11,54	343,45	342,88	0,58
14,67	138,25	137,20	1,06	14,65	244,38	242,71	1,67	14,65	343,36	342,88	0,48
17,34	138,25	137,20	1,05	17,33	243,45	242,71	0,73	17,36	344,15	342,88	1,27
20,39	136,11	137,20	1,08	20,43	241,55	242,71	1,17	20,44	342,00	342,88	0,88
Rata-rata Penyimpangan			1,35				1,23				1,02

Dari Tabel 4.10 dapat dilihat rata-rata penyimpangan pada perbandingan data resistansi pengujian dengan data *trendline* memiliki rata-rata penyimpangan bernilai 1,02 – 1,35 untuk penambahan 1 keping sampai 3 keping isolator berpolutan

4.3 Pengujian Arus Bocor Kondisi Basah

Untuk pengujian arus bocor kondisi basah menggambarkan keadaan saat isolator berpolutan di lapangan dalam keadaan musim hujan. Pada pengujian ini akan diamati mengenai pengaruh dari variasi tegangan uji, penambahan keping isolator berpolutan dan variasi tekanan air yang diberikan.

Pada pengujian kondisi basah ini sama dengan pada saat kondisi kering, dibagi menjadi dua pengujian yaitu pengujian arus bocor tiap keping isolator dan pengujian arus bocor dengan penambahan keping isolator. Pengujian ini keping isolator berpolutan yang digunakan sejumlah 5 keping. Untuk pengujian penambahan keping isolator berpolutan, penambahan keping yang dilakukan untuk satu kali pengujian ialah 1 keping isolator berpolutan.. Jumlah keping isolator berpolutan yang digunakan adalah 5 keping isolator berpolutan, untuk penambahan jumlah keping tiap satu kali pengujian ialah satu keping isolator.

Variasi tegangan uji yang diberikan pada saat pengujian arus bocor kondisi basah sama dengan tegangan uji pada saat kondisi kering yaitu 2 kV, 5 kV, 8 kV, 11 kV, 14 kV,

17 kV dan 20 kV. Untuk variasi tekanan air yang digunakan pada saat pengujian kondisi basah ialah 5 psi, 10 psi, dan 15 psi yang ekivalen dengan tingkat pembasahan sebesar 2,75 mm/menit, 3,61 mm/menit, 4,47 mm/menit.

Tabel 4.11 merupakan tabel data pengujian nilai arus bocor pada keping isolator berpolutan kesatu sampai keping isolator ketiga beserta nilai resistansi permukaannya pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan sebesar 2,75 mm/menit. Nilai resistansi permukaan didapatkan menggunakan persamaan 2-5. Untuk tabel keping isolator keempat dan kelima dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.11 Pengujian Arus Bocor Kondisi Basah Keping Isolator Kesatu sampai Keping Isolator Ketiga dengan Intensitas Pembasahan 2,75 mm/menit

Keping Rantai Isolator Ke -								
Keping Isolator 1			Keping Isolator 2			Keping Isolator 3		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan ($\text{M}\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan ($\text{M}\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan ($\text{M}\Omega$)
2,36	25,13	94,044	2,35	26,73	87,905	2,36	27,00	87,531
5,56	56,77	98,004	5,53	57,57	96,063	5,55	58,00	95,747
8,51	89,67	94,944	8,54	90,67	94,154	8,53	91,13	93,563
11,56	122,67	94,239	11,53	124,73	92,464	11,55	124,93	92,476
14,64	156,13	93,745	14,62	158,03	92,533	14,65	158,53	92,431
17,36	185,60	93,534	17,37	187,87	92,441	17,33	188,03	92,165
20,43	215,73	94,700	20,34	216,73	93,863	20,44	217,03	94,179

Tabel 4.11 dapat diamati bahwa untuk keping isolator kesatu dengan diberi tegangan 2,36 kV nilai arus bocornya sebesar 25,13 μA , untuk keping isolator kedua dengan diberi tegangan 2,35 kV nilai arus bocornya 26,73 μA dan untuk keping isolator ketiga dengan diberi tegangan 2,36 kV nilai arus bocornya 27,00 μA .

Pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 2,75 mm/menit, dengan memberikan tegangan uji yang hampir sama nilai arus bocor untuk tiap-tiap keping isolator berbeda. Untuk nilai resistansi permukaannya, keping isolator kesatu memiliki nilai resistansi permukaan yang lebih besar dari pada keping isolator kedua dan ketiga.

Tabel 4.12 merupakan tabel data pengujian nilai arus bocor kondisi basah dengan intensitas pembasahan 2,75 mm/menit pada setiap penambahan keping 1 isolator berpolutan sampai keping 3 isolator berpolutan beserta nilai resistansi permukaannya.

Nilai resistansi permukaan didapatkan dengan menggunakan persamaan 2-5. Untuk tabel penambahan keping 4 dan keping 5 dapat dilihat pada lampiran.

Pada Tabel 4.12 dijelaskan bahwa pada saat pengujian kondisi basah dengan intensitas pembasahan 2,75 mm/menit, ketika 1 keping isolator berpolutan dipasang dan diberi tegangan uji 2,36 kV nilai arus bocornya ialah 25,13 μ A, saat 2 keping isolator berpolutan dipasang dengan tegangan sebesar 2,37 kV nilai arus bocornya 22,30 μ A, dan saat 3 keping dipasang dalam pengujian dan diberi tegangan sebesar 2,33 kV nilai arus bocornya 21,13 μ A. Dapat diamati bahwa pada saat kondisi basah pun dengan menambah keping isolator pada saat pengujian akan menurunkan nilai arus bocor.

Tabel 4.12 Pengujian Nilai Arus Bocor Kondisi Basah pada Penambahan 1-3 Keping Isolator dengan Intensitas Pembasahan 2,75 mm/menit beserta Nilai Resistansi Permukaan

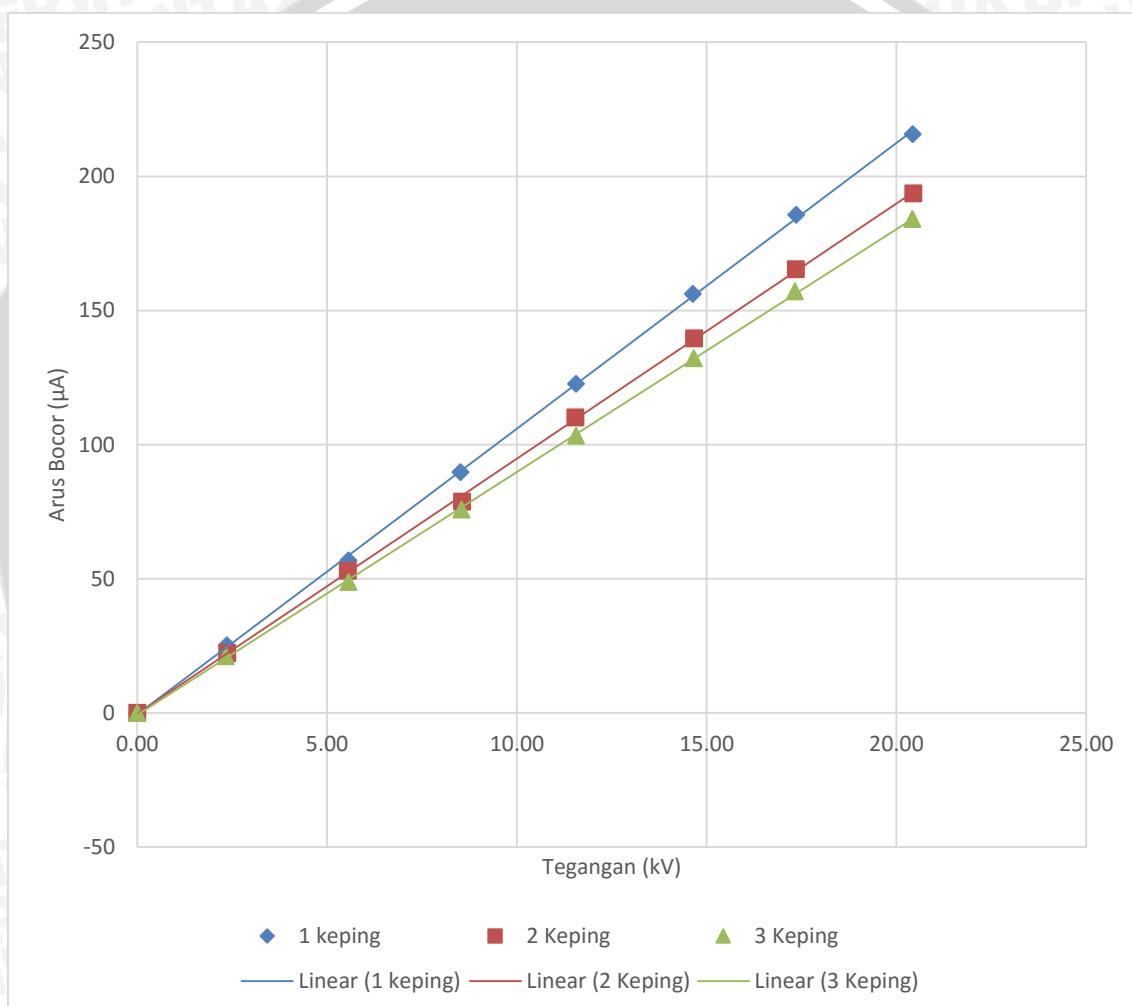
Jumlah Keping Rantai Isolator								
1 Keping Isolator			2 Keping Isolator			3 Keping Isolator		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan (M Ω)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan (M Ω)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan (M Ω)
2,36	25,13	94,044	2,37	22,30	106,278	2,33	21,13	110,270
5,56	56,77	98,004	5,55	52,93	104,792	5,57	48,80	114,071
8,51	89,67	94,944	8,56	78,80	108,629	8,54	75,77	112,758
11,56	122,67	94,239	11,54	110,10	104,814	11,56	103,27	111,911
14,64	156,13	93,745	14,67	139,57	105,135	14,66	132,23	110,865
17,36	185,60	93,534	17,35	165,37	104,939	17,33	157,10	110,312
20,43	215,73	94,700	20,45	193,60	105,613	20,42	184,10	110,918

Pada Tabel 4.12 juga dapat dilihat pada pemasangan 1 keping isolator berpolutan dengan memberikan tegangan uji sebesar 5,56 kV nilai arus bocornya 56,77 μ A, saat diberikan tegangan uji 8,51 kV nilai arus bocornya 89,67 μ A. Dapat diamati pula bahwa pada kondisi basah nilai arus bocor akan semakin meningkat pada saat tegangan uji yang diberikan juga diperbesar, hal ini juga berlaku pada saat pengujian penambahan keping isolator yang lainnya.

Pada Tabel 4.12 dapat dilihat bahwa nilai resistansi permukaan isolator berpolutan mengalami peningkatan dari 1 keping dengan tegangan 2,36 kV memiliki resistansi sebesar 94,044 M Ω , 2 keping dengan tegangan 2,37 kV memiliki resistansi 106,278 M Ω ,

dan pada 3 keping dengan tegangan 2,33 kV memiliki resistansi sebesar 110,270 M Ω . Bila dibanding dengan data resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi kering, nilai resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 2,75 mm/menit mengalami penurunan.

Dengan menggunakan Tabel 4.12 dapat di buat dua grafik, yaitu grafik pengaruh penambahan keping isolator berpolutan yang dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan grafik resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 2,75 mm/menit yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Pengaruh penambahan keping isolator berpolutan terhadap arus bocor pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 2,75 mm/menit

Gambar 4.3 merupakan grafik penambahan isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 2,75 mm/menit, dari gambar dapat dilihat bahwa nilai arus akan semakin tinggi jika tegangan yang diberikan juga semakin meningkat dan nilai arus bocor akan semakin rendah jika semakin banyak jumlah keping isolator dipasang saat pengujian.

Persamaan fungsi dari grafik Gambar 4.3 adalah.

- 1 Keping

$$I = 10,649U$$

$$R^2 = 0,9998$$

- 2 Keping

$$I = 9,5078U$$

$$R^2 = 0,9998$$

- 3 Keping

$$I = 9,0491U$$

$$R^2 = 0,9999$$

Untuk persamaan fungsi grafik Gambar 4.3 didapatkan dengan menggunakan metode regresi linier. Pada grafik didapatkan persamaan untuk setiap penambahan keping, dengan I merupakan arus bocor (μA) dan U adalah tegangan kerja (kV). Dengan mengambil contoh satu tegangan kerja yang diberikan yaitu 2,36 kV untuk 1 keping, 2,37 kV untuk 2 keping, dan 2,33 kV untuk 3 keping, maka perhitungannya sebagai berikut.

- 1 Keping

$$I = 10,649U$$

$$I = 10,649 (2,36)$$

$$I = 25,17 \mu A$$

- 2 Keping

$$I = 9,5078U$$

$$I = 9,5078 (2,37)$$

$$I = 22,53 \mu A$$

- 3 Keping

$$I = 9,0491U$$

$$I = 9,0491(2,33)$$

$$I = 21,08 \mu A$$

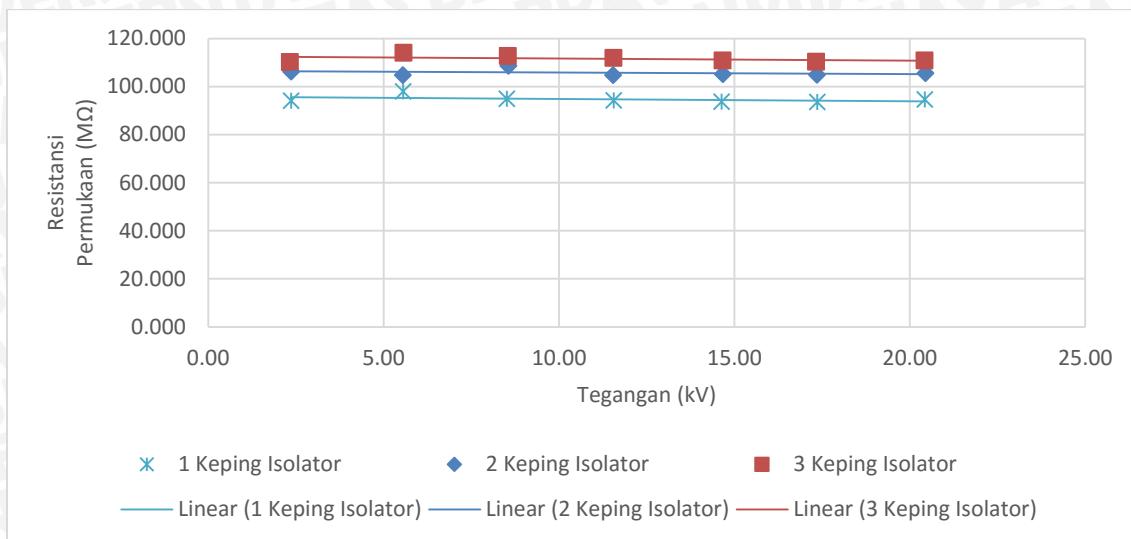
Untuk perhitungan selanjutnya dengan tegangan kerja 5-20 kV dari setiap penambahan keping isolator dapat dilihat pada Tabel 4.13 yang merupakan tabel perbandingan data pengujian dengan data menurut *trendline* pada penambahan 1 keping sampai 3 keping isolator berpolutan, untuk tabel perbandingan pada keping 4 dan keping 5 dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.13 Perbandingan Data Pengujian Arus Bocor dengan Data Menurut *Trendline* pada Penambahan 1 Keping sampai 3 Keping Isolator Kondisi Basah dengan Intensitas Pembasahan 2,75 mm/menit

Jumlah Keping Rantai Isolator											
1 Keping				2 Keping				3 Keping			
Teg. Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)	Teg. Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)	Teg. Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)
2,36	25,13	25,17	0,04	2,37	22,30	22,53	0,23	2,33	21,13	21,08	0,05
5,56	56,77	59,24	2,48	5,55	52,93	52,74	0,19	5,57	48,80	50,37	1,57
8,51	89,67	90,66	0,99	8,56	78,80	81,39	2,59	8,54	75,77	77,31	1,54
11,56	122,67	123,10	0,44	11,54	110,10	109,72	0,38	11,56	103,27	104,58	1,31
14,64	156,13	155,87	0,27	14,67	139,57	139,51	0,06	14,66	132,23	132,66	0,43
17,36	185,60	184,87	0,73	17,35	165,37	164,99	0,37	17,33	157,10	156,82	0,28
20,43	215,73	217,56	1,83	20,45	193,60	194,40	0,80	20,42	184,10	184,78	0,68
Rata-rata penyimpangan			0,97				0,66				0,84

Dari Tabel 4.13 dapat dilihat perbandingan data pengujian dengan data *trendline* memiliki rata-rata penyimpangan bernilai 0,66-0,97 pada pengujian arus bocor untuk penambahan keping 1 sampai keping 3 isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 2,75 mm/menit.

Gambar 4.4 merupakan grafik resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 2,75 mm/menit untuk penambahan 1 keping isolator berpolutan sampai 3 keping isolator berpolutan.



Gambar 4.4 Grafik Resistansi Permukaan Isolator Berpolutan pada Kondisi Basah dengan Intensitas Pembasahan 2,75 mm/menit

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa pada tegangan 5 kV nilai resistansi mengalami peningkatan dan mulai konstan pada 11 kV, pada gambar dapat diketahui pula bahwa nilai resistansi akan meningkat pada saat diberi penambahan keping isolator berpolutan.

Dengan menggunakan data pada Tabel 4.12, dapat diperoleh hasil perbandingan data resistansi dari hasil pengujian dengan resistansi dari *trendline* kondisi basah dengan tekanan 5 psi yang diperlihatkan pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Perbandingan Data Resistansi dari Pengujian dengan Data Resistansi dari *Trendline* Kondisi Basah dengan Intensitas Pembasahan 2,75 mm/menit

Jumlah Keping Rantai Isolator												
1 Keping Isolator				2 Keping Isolator				3 Keping Isolator				
Teg. uji (kV)	Resistansi Permukaan Pengujian ($M\Omega$)	Resistansi Permukaan <i>Trendline</i> ($M\Omega$)	ΔR ($M\Omega$)	Teg. uji (kV)	Resistansi Permukaan Pengujian ($M\Omega$)	Resistansi Permukaan <i>Trendline</i> ($M\Omega$)	ΔR ($M\Omega$)	Teg. uji (kV)	Resistansi Permukaan Pengujian ($M\Omega$)	Resistansi Permukaan <i>Trendline</i> ($M\Omega$)	ΔR ($M\Omega$)	
2,36	94,04	93,91	0,14	2,37	106,28	105,18	1,10	2,33	110,27	110,51	0,24	
5,56	98,00	93,91	4,10	5,55	104,79	105,18	0,38	5,57	114,07	110,51	3,56	
8,51	94,94	93,91	1,04	8,56	108,63	105,18	3,45	8,54	112,76	110,51	2,25	
11,56	94,24	93,91	0,33	11,54	104,81	105,18	0,36	11,56	111,91	110,51	1,40	
14,64	93,74	93,91	0,16	14,67	105,13	105,18	0,04	14,66	110,86	110,51	0,36	
17,36	93,53	93,91	0,37	17,35	104,94	105,18	0,24	17,33	110,31	110,51	0,20	
20,43	94,70	93,91	0,79	20,45	105,61	105,18	0,44	20,42	110,92	110,51	0,41	
Rata-rata Penyimpangan				0,99				0,86				1,20

Dari Tabel 4.14 dapat dilihat rata-rata penyimpangan pada perbandingan data resistansi pengujian dengan data *trendline* memiliki rata-rata penyimpangan bernilai 0,86-1,2 untuk penambahan 1 keping sampai 3 keping isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 2,75 mm/menit.

Untuk hasil pengujian kondisi basah dengan intensitas pembasahan 3,61 mm/menit dapat dilihat pada Tabel 4.15. Tabel 4.15 merupakan tabel data pengujian nilai arus bocor pada keping isolator berpolutan kesatu sampai keping isolator ketiga beserta nilai resistansi permukaannya pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan sebesar 3,61 mm/menit. Nilai resistansi permukaan didapatkan menggunakan persamaan 2-5.

Untuk tabel keping isolator keempat dan kelima dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.15 Pengujian Arus Bocor Kondisi Basah Keping Isolator Kesatu sampai Keping Isolator Ketiga dengan Intensitas Pembasahan 3,61 mm/menit

Keping Rantai Isolator Ke -								
Keping Isolator 1			Keping Isolator 2			Keping Isolator 3		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)
2,35	28,10	83,511	2,31	28,70	80,604	2,35	29,83	78,883
5,56	62,80	88,482	5,56	63,10	88,114	5,58	63,27	88,198
8,51	94,20	90,375	8,54	94,90	89,989	8,56	95,23	89,919
11,55	128,20	90,120	11,56	128,73	89,772	11,58	129,27	89,582
14,64	163,20	89,706	14,62	164,17	89,076	14,63	164,73	88,830
17,32	194,53	89,016	17,35	194,90	89,020	17,35	195,13	88,914
20,44	227,77	89,756	20,44	228,30	89,546	20,46	229,23	89,239

Tabel 4.15 dapat diamati bahwa untuk keping isolator kesatu dengan diberi tegangan 2,35 kV nilai arus bocornya sebesar 28,10 μ A, untuk keping isolator kedua dengan diberi tegangan 2,31 kV nilai arus bocornya 28,70 μ A dan untuk keping isolator keempat dengan diberi tegangan 2,35 kV nilai arus bocornya 29,83 μ A.

Pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 3,61 mm/menit, dengan memberikan tegangan uji yang hampir sama nilai arus bocor untuk tiap-tiap keping isolator berbeda. Untuk nilai resistansi permukaannya, keping isolator kesatu memiliki nilai resistansi permukaan yang lebih besar dari pada keping isolator kedua dan ketiga.

Tabel 4.16 merupakan tabel data pengujian nilai arus bocor kondisi basah dengan intensitas pembasahan 3,61 mm/menit pada setiap penambahan keping 1 isolator berpolutan sampai keping 3 isolator berpolutan beserta nilai resistansi permukaannya. Nilai resistansi permukaan didapatkan dengan menggunakan persamaan 2-5. Untuk tabel penambahan keping 4 dan keping 5 dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.16 Pengujian Nilai Arus Bocor Kondisi Basah pada Penambahan 1-3 Keping Isolator dengan Intensitas Pembasahan 3,61 mm/menit beserta Nilai Resistansi Permukaan

Jumlah Keping Rantai Isolator								
1 Keping Isolator			2 Keping Isolator			3 Keping Isolator		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan ($\text{M}\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan ($\text{M}\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan ($\text{M}\Omega$)
2,35	28,10	83,511	2,39	24,20	98,623	2,37	23,30	101,860
5,56	62,80	88,482	5,58	54,77	101,826	5,50	52,50	104,762
8,51	94,20	90,375	8,56	85,60	100,039	8,52	82,77	102,940
11,55	128,20	90,120	11,56	118,83	97,279	11,55	111,13	103,899
14,64	163,20	89,706	14,65	150,67	97,257	14,66	143,30	102,280
17,32	194,53	89,016	17,33	178,10	97,324	17,36	170,67	101,719
20,44	227,77	89,756	20,42	208,87	97,766	20,46	199,60	102,488

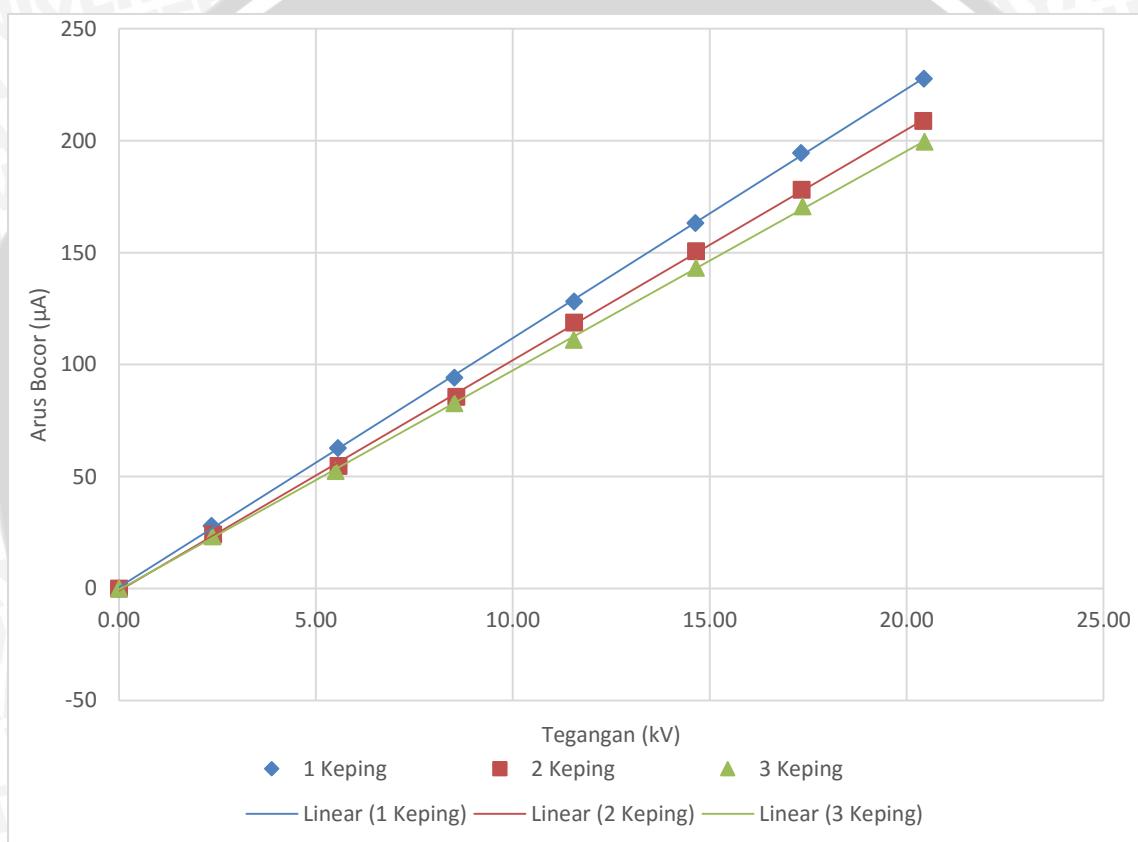
Dapat dijelaskan dari Tabel 4.16 bahwa pada saat pengujian kondisi basah dengan intensitas pembasahan 3,61 mm/menit, ketika 1 keping isolator berpolutan dipasang dan diberi tegangan uji 2,35 kV nilai arus bocornya ialah 28,10 μA , saat 2 keping isolator berpolutan dipasang dengan tegangan sebesar 2,39 kV nilai arus bocornya 24,20 μA , dan saat 3 keping dipasang dalam pengujian dan diberi tegangan sebesar 2,37 kV nilai arus bocornya 23,30 μA . Diamati bahwa pada saat kondisi basah pada intensitas pembasahan 3,61 mm/menit dengan menambah keping isolator saat pengujian akan menurunkan nilai arus bocor.

Pada Tabel 4.16 juga dapat dilihat pada saat 1 keping isolator berpolutan dipasang dan diberikan tegangan uji sebesar 5,56 kV nilai arus bocornya 62,80 μA , saat diberikan tegangan uji 8,51 kV nilai arus bocornya 94,20 μA . Pada kondisi basah dengan tekanan 10 psi nilai arus bocor juga akan semakin meningkat pada saat tegangan uji yang diberikan juga diperbesar, hal ini juga berlaku pada saat pengujian penambahan keping isolator yang lainnya. Bila dibandingkan dengan hasil pengujian arus bocor dengan intensitas pembasahan 2,75 mm/menit, nilai arus bocor pada pengujian arus bocor dengan intensitas pembasahan 3,61 mm/menit mengalami peningkatan.

Pada Tabel 4.16 dapat dilihat bahwa nilai resistansi permukaan isolator berpolutan mengalami peningkatan dari 1 keping dengan tegangan 2,35 kV memiliki resistansi

sebesar $83,511 \text{ M}\Omega$, 2 keping dengan tegangan $2,39 \text{ kV}$ memiliki resistansi $98,623 \text{ M}\Omega$, dan pada 3 keping dengan tegangan $2,37 \text{ kV}$ memiliki resistansi sebesar $101,860 \text{ M}\Omega$. Bila dibanding dengan data resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi intensitas pembasahan $2,75 \text{ mm/menit}$, nilai resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan $3,61 \text{ mm/menit}$ mengalami penurunan.

Dengan menggunakan Tabel 4.16 dapat di buat dua grafik, yaitu grafik pengaruh penambahan keping isolator berpolutan yang dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan grafik resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan $3,61 \text{ mm/menit}$ yang dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Pengaruh penambahan keping isolator berpolutan terhadap arus bocor pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan $3,61 \text{ mm/menit}$

Gambar 4.5 merupakan grafik penambahan isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan $3,61 \text{ mm/menit}$, dari gambar dapat dilihat bahwa nilai arus akan semakin tinggi jika tegangan yang diberikan juga semakin meningkat dan nilai arus bocor akan semakin rendah jika semakin banyak jumlah keping isolator dipasang saat pengujian.

Persamaan fungsi dari grafik Gambar 4.5 adalah.

- 1 Keping

$$I = 11,123U$$

$$R^2 = 0,9999$$

- 2 Keping

$$I = 10,297U$$

$$R^2 = 0,9998$$

- 3 Keping

$$I = 9,793U$$

$$R^2 = 0,9999$$

Untuk persamaan fungsi grafik Gambar 4.5 didapatkan dengan menggunakan metode regresi linier. Pada grafik didapatkan persamaan untuk setiap penambahan keping, dengan I merupakan arus bocor (μA) dan U adalah tegangan kerja (kV). Dengan mengambil contoh satu tegangan kerja yang diberikan yaitu 2,35 kV untuk 1 keping, 2,39 kV untuk 2 keping, 2,37 kV untuk 3 keping, maka perhitungannya sebagai berikut.

- 1 Keping

$$I = 11,123U$$

$$I = 11,123(2,35)$$

$$I = 26,10 \mu A$$

- 2 Keping

$$I = 10,297U$$

$$I = 10,297(2,35)$$

$$I = 24,58 \mu A$$

- 3 Keping

$$I = 9,793U$$

$$I = 9,793(2,35)$$

$$I = 23,24 \mu A$$

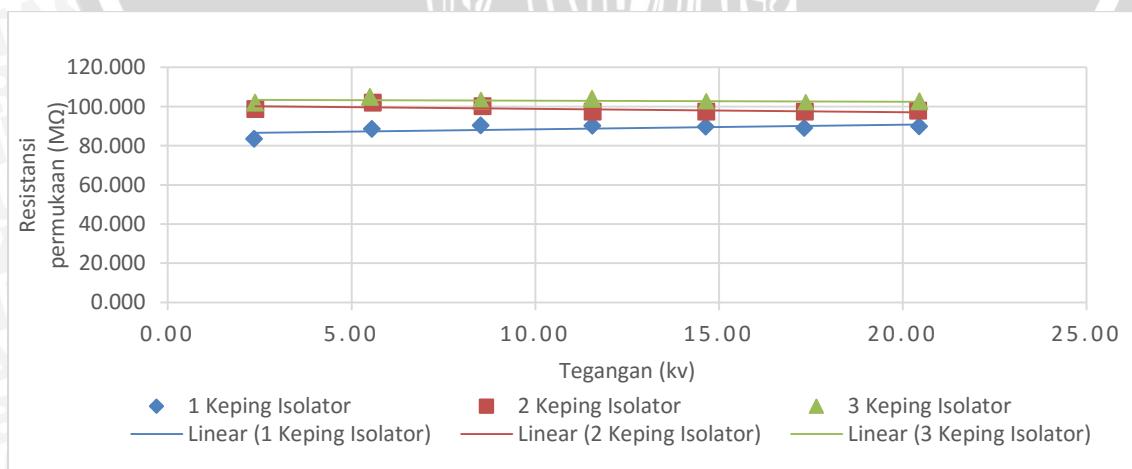


Untuk perhitungan selanjutnya dengan tegangan kerja 5-20 Kv dari setiap penambahan keping isolator dapat dilihat pada Tabel 4.17 yang merupakan tabel perbandingan data pengujian dengan data menurut *trendline* pada penambahan 1 keping sampai 3 keping isolator berpolutan, untuk tabel perbandingan pada keping 4 dan keping 5 dapat dilihat pada lampiran..

Tabel 4.17 Perbandingan Data Pengujian Arus Bocor dengan Data Menurut *Trendline* pada Penambahan 1 Keping sampai 3 Keping Isolator Kondisi Basah dengan Intensitas Pembasahan 3,61 mm/menit

Jumlah Keping Rantai Isolator											
1 Keping				2 Keping				3 Keping			
Teg. Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μA)	Arus bocor Trendline (μA)	ΔI (μA)	Teg. Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μA)	Arus bocor Trendline (μA)	ΔI (μA)	Teg. Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μA)	Arus bocor Trendline (μA)	ΔI (μA)
2,35	28,10	26,10	2,00	2,39	24,20	24,58	0,38	2,37	23,30	23,24	0,06
5,56	62,80	61,81	0,99	5,58	54,77	57,42	2,66	5,50	52,50	53,86	1,36
8,51	94,20	94,69	0,49	8,56	85,60	88,18	2,58	8,52	82,77	83,44	0,67
11,55	128,20	128,51	0,31	11,56	118,83	119,03	0,20	11,55	111,13	113,08	1,94
14,64	163,20	162,84	0,36	14,65	150,67	150,89	0,22	14,66	143,30	143,53	0,23
17,32	194,53	192,61	1,92	17,33	178,10	178,48	0,38	17,36	170,67	170,01	0,66
20,44	227,77	227,39	0,38	20,42	208,87	210,26	1,40	20,46	199,60	200,33	0,73
Rata-rata penyimpangan		0,92						1,12			0,81

Dari Tabel 4.17 dapat dilihat perbandingan data pengujian dengan data *trendline* memiliki rata-rata penyimpangan bernilai 0,81-1,12. Gambar 4.6 merupakan grafik resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 3,61 mm/menit untuk penambahan 1 keping isolator berpolutan sampai 3 keping isolator berpolutan.



Gambar 4.6 Grafik Resistansi Permukaan Isolator Berpolutan pada Kondisi Basah dengan intensitas pembasahan 3,61 mm/menit

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa pada tegangan 5 kV nilai resistansi mengalami peningkatan dan mulai konstan pada 11 kV, pada gambar dapat diketahui pula bahwa nilai resistansi akan meningkat pada saat diberi penambahan keping isolator berpolutan.

Dengan menggunakan data pada Tabel 4.16, dapat diperoleh hasil perbandingan data resistansi dari hasil pengujian dengan resistansi dari *trendline* kondisi basah dengan intensitas pembasahan 3,61 mm/menit yang diperlihatkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Perbandingan Data Resistansi dari Pengujian dengan Data Resistansi dari *Trendline* Kondisi Basah dengan Intensitas Pembasahan 3,61 mm/menit

Jumlah Keping Rantai Isolator											
1 Keping Isolator				2 Keping Isolator				3 Keping Isolator			
Teg. uji (kV)	Resistansi Permukaan Pengujian (MΩ)	Resistansi Permukaan <i>Trendline</i> (MΩ)	ΔR (MΩ)	Teg. uji (kV)	Resistansi Permukaan Pengujian (MΩ)	Resistansi Permukaan <i>Trendline</i> (MΩ)	ΔR (MΩ)	Teg. uji (kV)	Resistansi Permukaan Pengujian (MΩ)	Resistansi Permukaan <i>Trendline</i> (MΩ)	ΔR (MΩ)
2,35	83,51	89,90	6,39	2,39	98,62	97,12	1,51	2,37	101,86	102,11	0,25
5,56	88,48	89,90	1,42	5,58	101,83	97,12	4,71	5,50	104,76	102,11	2,65
8,51	90,38	89,90	0,47	8,56	100,04	97,12	2,92	8,52	102,94	102,11	0,83
11,55	90,12	89,90	0,22	11,56	97,28	97,12	0,16	11,55	103,90	102,11	1,79
14,64	89,71	89,90	0,20	14,65	97,26	97,12	0,14	14,66	102,28	102,11	0,17
17,32	89,02	89,90	0,89	17,33	97,32	97,12	0,21	17,36	101,72	102,11	0,40
20,44	89,76	89,90	0,15	20,42	97,77	97,12	0,65	20,46	102,49	102,11	0,37
Rata-rata Penyimpangan			1,39					1,47			
											0,92

Dari Tabel 4.18 dapat dilihat rata-rata penyimpangan pada perbandingan data resistansi pengujian dengan data *trendline* memiliki rata-rata penyimpangan bernilai 0,92-1,47 untuk penambahan 1 keping sampai 3 keping isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 3,61 mm/menit.

Untuk hasil pengujian kondisi basah dengan tekanan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit dapat dilihat pada Tabel 4.19. Tabel 4.19 merupakan tabel data pengujian nilai arus bocor pada keping isolator berpolutan kesatu sampai keping isolator ketiga beserta nilai resistansi permukaannya pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan sebesar 4,47 mm/menit. Nilai resistansi permukaan didapatkan menggunakan persamaan 2-5. Untuk tabel keping isolator keempat dan kelima dapat dilihat pada lampiran.



Tabel 4.19 Pengujian Arus Bocor Kondisi Basah Keping Isolator Kesatu sampai Keping Isolator Ketiga dengan Intensitas Pembasahan 4,47 mm/menit

Keping Rantai Isolator Ke -								
Keping Isolator 1			Keping Isolator 2			Keping Isolator 3		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)
2,37	27,33	86,840	2,34	32,77	71,414	2,37	32,90	71,935
5,53	64,23	86,092	5,54	64,90	85,362	5,55	65,10	85,202
8,52	97,63	87,299	8,52	98,43	86,556	8,55	98,90	86,451
11,51	132,13	87,109	11,52	133,03	86,595	11,53	133,13	86,630
14,64	169,53	86,355	14,66	170,33	86,047	14,67	170,77	85,887
17,33	199,00	87,069	17,34	200,13	86,659	17,35	200,27	86,618
20,47	238,33	85,902	20,42	238,90	85,475	20,43	239,07	85,443

Tabel 4.19 dapat diamati bahwa untuk keping isolator kesatu dengan diberi tegangan 2,37 kV nilai arus bocornya sebesar 27,33 μ A, untuk keping isolator kedua dengan diberi tegangan 2,34 kV nilai arus bocornya 32,77 μ A dan untuk keping isolator keempat dengan diberi tegangan 2,37 kV nilai arus bocornya 32,90 μ A.

Pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit, dengan memberikan tegangan uji yang hampir sama nilai arus bocor untuk tiap-tiap keping isolator berbeda. Untuk nilai resistansi permukaannya, keping isolator kesatu memiliki nilai resistansi permukaan yang lebih besar dari pada keping isolator kedua dan ketiga

Tabel 4.20 merupakan tabel data pengujian nilai arus bocor kondisi basah dengan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit pada setiap penambahan keping 1 isolator berpolutan sampai keping 3 isolator berpolutan beserta nilai resistansi permukaannya. Nilai resistansi permukaan didapatkan dengan menggunakan persamaan 2-5. Untuk tabel penambahan keping 4 dan keping 5 dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.20 Pengujian Nilai Arus Bocor Kondisi Basah pada Penambahan 1-3 Keping Isolator dengan Intensitas Pembasahan 4,47 mm/menit beserta Nilai Resistansi Permukaan

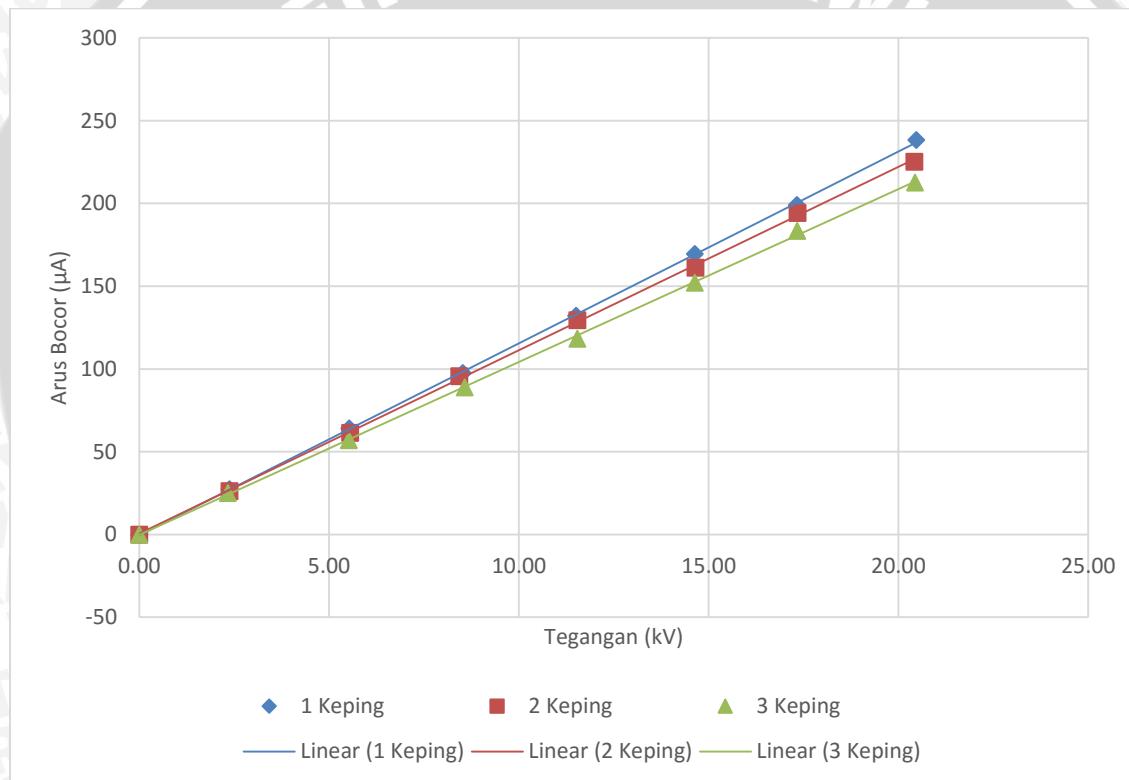
Jumlah Keping Rantai Isolator								
1 Keping Isolator			2 Keping Isolator			3 Keping Isolator		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)
2,37	27,33	86,840	2,37	26,17	90,689	2,33	25,00	93,200
5,53	64,23	86,092	5,56	61,43	90,450	5,52	57,00	96,842
8,52	97,63	87,299	8,43	95,70	88,088	8,57	88,97	96,366
11,51	132,13	87,109	11,54	129,53	89,089	11,54	118,30	97,549
14,64	169,53	86,355	14,65	161,10	90,958	14,64	152,07	96,274
17,33	199,00	87,069	17,34	194,23	89,274	17,34	183,33	94,564
20,47	238,33	85,902	20,42	225,17	90,703	20,44	212,60	96,143

Dari Tabel 4.20 dapat dijelaskan bahwa pada saat pengujian kondisi basah dengan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit, ketika 1 keping isolator berpolutan dipasang dan diberi tegangan uji 2,37 kV nilai arus bocornya ialah 27,33 μA , saat 2 keping isolator berpolutan dipasang dengan tegangan sebesar 2,37 kV nilai arus bocornya 26,17 μA , dan saat 3 keping dipasang dalam pengujian dan diberi tegangan sebesar 2,33 kV nilai arus bocornya 25,00 μA . Diamati bahwa pada saat kondisi basah pada intensitas pembasahan 4,47 mm/menit dengan menambah keping isolator saat pengujian akan menurunkan nilai arus bocor. Pada tabel 4.20 juga dapat dilihat pada saat 1 keping isolator berpolutan diberikan tegangan uji sebesar 5,53 kV nilai arus bocornya 64,23 μA , saat diberikan tegangan uji 8,52 kV nilai arus bocornya 97,63 μA . Sama dengan kondisi basah yang lainnya, pada intensitas pembasahan 4,47 mm/menit nilai arus bocor juga akan semakin meningkat pada saat tegangan uji yang diberikan juga diperbesar, hal ini juga berlaku pada saat pengujian penambahan keping isolator yang lainnya.

Pada pengujian intensitas pembasahan 2,75 mm/menit, 3,61 mm/menit, dan 4,47 mm/menit bila dibandingkan, maka pada intensitas pembasahan 4,47 mm/menit memiliki nilai arus bocor paling besar. Semakin besar tekanan air yang diberikan maka semakin tinggi pula nilai arus bocornya.

Pada Tabel 4.20 dapat dilihat bahwa nilai resistansi permukaan isolator berpolutan mengalami peningkatan dari 1 keping dengan tegangan 2,37 kV memiliki resistansi sebesar $86.840 \text{ M}\Omega$, 2 keping dengan tegangan 2,37 kV memiliki resistansi $90.689 \text{ M}\Omega$, dan pada 3 keping dengan tegangan 2,33 kV memiliki resistansi sebesar $93,2 \text{ M}\Omega$. Bila dibanding dengan data resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi basah intensitas pembasahan 3,61 mm/menit, nilai resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit mengalami penurunan.

Dengan menggunakan Tabel 4.20 dapat di buat dua grafik, yaitu grafik pengaruh penambahan keping isolator berpolutan yang dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan grafik resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit yang dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.7 Pengaruh penambahan keping isolator berpolutan terhadap arus bocor pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit

Gambar 4.7 merupakan grafik penambahan isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit, dari gambar dapat dilihat bahwa nilai arus akan semakin tinggi jika tegangan yang diberikan juga semakin meningkat dan nilai arus bocor akan semakin rendah jika semakin banyak jumlah keping isolator dipasang saat pengujian.

Persamaan fungsi dari grafik Gambar 4.7 adalah.



- 1 Keping
 $I = 11,584U$
 $R^2 = 0,9999$
- 2 Keping
 $I = 11,075U$
 $R^2 = 0,9997$
- 3 Keping
 $I = 10,441U$
 $R^2 = 0,9997$

Untuk persamaan fungsi grafik Gambar 4.7 didapatkan dengan menggunakan metode regresi linier. Pada grafik didapatkan persamaan untuk setiap penambahan keping, dengan I merupakan arus bocor (μA) dan U adalah tegangan kerja (kV). Dengan mengambil contoh satu tegangan kerja yang diberikan yaitu 2,37 kV untuk 1 keping dan 2 keping, 2,33 kV untuk 3 keping, maka perhitungannya sebagai berikut.

- 1 Keping
 $I = 11,584U$
 $I = 11,584(2,37)$
 $I = 27,49 \mu A$
- 2 Keping
 $I = 11,075U$
 $I = 11,075(2,37)$
 $I = 26,28 \mu A$
- 3 Keping
 $I = 10,441U$
 $I = 10,441(2,33)$
 $I = 24,33 \mu A$

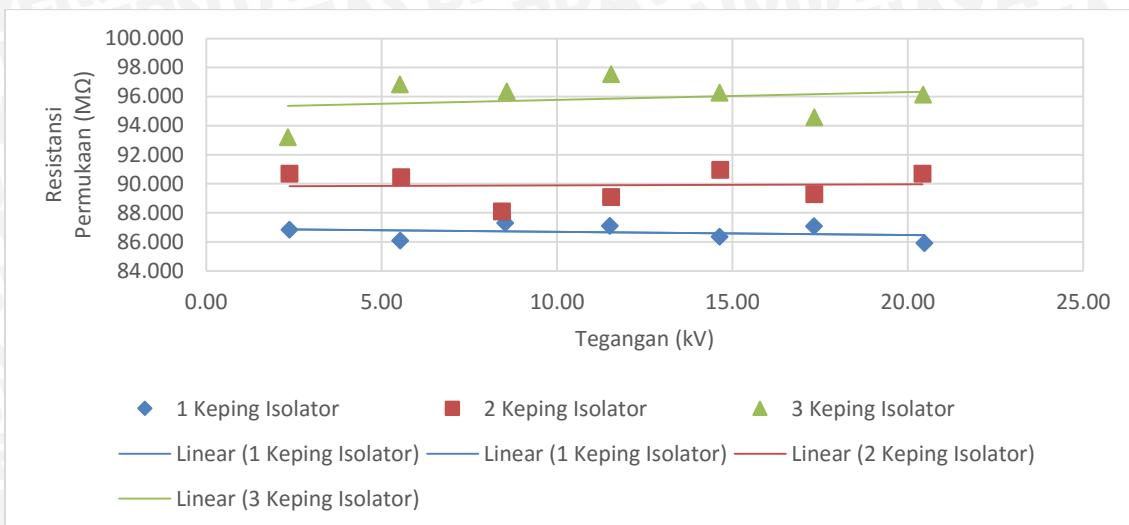
Untuk perhitungan selanjutnya dengan tegangan kerja 5-20 Kv dari setiap penambahan keping isolator dapat dilihat pada Tabel 4.21 yang merupakan tabel perbandingan data pengujian dengan data menurut *trendline* pada penambahan 1 keping sampai 3 keping isolator berpolutan, untuk tabel perbandingan pada keping 4 dan keping 5 dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.21 Perbandingan Data Pengujian Arus Bocor dengan Data Menurut *Trendline* pada Penambahan 1 Keping sampai 3 Keping Isolator Kondisi Basah dengan Intensitas Pembasahan 4,47 mm/menit

Jumlah Keping Rantai Isolator											
1 Keping				2 Keping				3 Keping			
Teg. Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μA)	Arus bocor Trendline (μA)	ΔI (μA)	Teg. Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μA)	Arus bocor Trendline (μA)	ΔI (μA)	Teg. Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μA)	Arus bocor Trendline (μA)	ΔI (μA)
2,37	27,33	27,49	0,16	2,37	26,17	26,28	0,11	2,33	25,00	24,33	0,67
5,53	64,23	64,06	0,17	5,56	61,43	61,54	0,11	5,52	57,00	57,63	0,63
8,52	97,63	98,73	1,10	8,43	95,70	93,36	2,34	8,57	88,97	89,51	0,55
11,51	132,13	133,33	1,20	11,54	129,53	127,81	1,73	11,54	118,30	120,49	2,19
14,64	169,53	169,59	-0,06	14,65	161,10	162,29	1,19	14,64	152,07	152,86	0,79
17,33	199,00	200,71	1,71	17,34	194,23	192,04	2,19	17,34	183,33	181,01	2,32
20,47	238,33	237,16	1,17	20,42	225,17	226,19	-1,02	20,44	212,60	213,41	0,81
Rata-rata penyimpangan		0,78					1,24				1,14

Dari Tabel 4.21 dapat dilihat perbandingan data pengujian dengan data *trendline* memiliki rata-rata penyimpangan bernilai 0,78-1,24 pada pengujian arus bocor untuk penambahan keping 1 sampai keping 3 isolator berpolutan.

Gambar 4.8 merupakan grafik resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit untuk penambahan 1 keping isolator berpolutan sampai 3 keping isolator berpolutan.



Gambar 4.8 Resistansi permukaan isolator berpolutan pada kondisi basah dengan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit

Gambar 4.8 dapat dilihat bahwa pada tegangan 5 kV nilai resistansi mengalami peningkatan dan mulai konstan pada 11 kV, pada gambar dapat diketahui pula bahwa nilai resistansi akan meningkat pada saat diberi penambahan keping isolator berpolutan.

Dengan menggunakan data pada Tabel 4.20, dapat diperoleh hasil perbandingan data resistansi dari hasil pengujian dengan resistansi dari *trendline* kondisi basah dengan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit yang diperlihatkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22 Perbandingan Data Resistansi dari Pengujian dengan Data Resistansi dari *Trendline* Kondisi Basah dengan Intensitas Pembasahan 4,47 mm/menit

Jumlah Keping Rantai Isolator											
1 Keping Isolator				2 Keping Isolator				3 Keping Isolator			
Teg. uji (kV)	Resistansi Permukaan Pengujian (MΩ)	Resistansi Permukaan <i>Trendline</i> (MΩ)	ΔR (MΩ)	Teg. uji (kV)	Resistansi Permukaan Pengujian (MΩ)	Resistansi Permukaan <i>Trendline</i> (MΩ)	ΔR (MΩ)	Teg. uji (kV)	Resistansi Permukaan Pengujian (MΩ)	Resistansi Permukaan <i>Trendline</i> (MΩ)	ΔR (MΩ)
2,37	86,84	86,33	0,51	2,37	90,69	90,29	0,40	2,33	93,20	95,78	2,58
5,53	86,09	86,33	0,23	5,56	90,45	90,29	0,16	5,52	96,84	95,78	1,07
8,52	87,30	86,33	0,97	8,43	88,09	90,29	2,21	8,57	96,37	95,78	0,59
11,51	87,11	86,33	0,78	11,54	89,09	90,29	1,20	11,54	97,55	95,78	1,77
14,64	86,35	86,33	0,03	14,65	90,96	90,29	0,66	14,64	96,27	95,78	0,50
17,33	87,07	86,33	0,74	17,34	89,27	90,29	1,02	17,34	94,56	95,78	1,21
20,47	85,90	86,33	0,42	20,42	90,70	90,29	0,41	20,44	96,14	95,78	0,37
Rata-rata Penyimpangan			0,53					0,87			

menambah keping isolator, maka sama dengan menambahkan nilai panjang. Karena R sebanding dengan panjang maka jika nilai panjang (l) semakin besar maka nilai R akan semakin besar. Jika nilai R semakin besar, maka nilai arus akan semakin kecil. Karena nilai R berbanding terbalik dengan nilai I.

Maka pada hasil pengujian yang telah dilakukan, pada saat kondisi basah dan kering, dengan menambahkan keping isolator pada isolator rantai maka nilai arus bocor akan semakin kecil.

Pada saat pengujian kondisi basah dengan berbagai tekanan, semakin besar tekanan air yang diberikan maka nilai arus bocornya semakin besar. Karena air yang melingkupi permukaan isolator semakin banyak sehingga lapisan isolator semakin konduktif dan arus bocor semakin mudah mengalir. Dari pembasan tersebut terjadi penurunan kepekatan kadar polutan yang nilainya sangat kecil sehingga dapat diabaikan, karena hal tersebut tidak berpengaruh terhadap nilai arus bocor.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa,

1. Kandungan polutan terdiri atas unsur pembentuk garam, logan dan unsur lainnya. Dari keseluruhan sampel isolator piring berpolutan, jumlah total kepekatan untuk unsur pembentuk garam berupa Na (Natrium) 63,2 % dan Mg (Magnesium) 8,3 %, kepekatan untuk logam berupa Al (Alumunium) 40,2%, K (Kalium) 11,41%, Ca (Calsium) 90,4%, Ti (Talium) 10,61%, Cr (Chrom) 1,97%, Mn (mangan) 2,92%, Fe (Besi) 157,5%, Ni (Nikel) 5,63%, Cu (Tembaga) 1,63%, Zn (Seng) 38,15%, dan kepekatan untuk unsur lain berupa Si (Silikon) 116,2%, P(Fosfor) 15,9%, S (Belerang) 4,1% dan V(Vanadium) 0,66%.
2. a. Pada tegangan 20 kV nilai arus bocor pada isolator piring berpolutan dalam kondisi kering antara 149,8 μ A sampai 158,03 μ A. Resistansi permukaan isolator piring berpolutan dalam kondisi kering hingga tegangan kerja 20 kV relatif tetap yaitu terletak direntang nilai 128,83 M Ω sampai 139,83 M Ω .
b. Pada tegangan 20 kV nilai arus bocor pada isolator piring berpolutan dalam kondisi basah dengan intensitas pembasahan 2,75 mm/menit antara 215,73 μ A sampai 217,03 μ A, intensitas pembasahan 3,61 mm/menit antara 227,77 μ A sampai 229,23 μ A, dan intensitas pembasahan 4,47 mm/menit antara 238,33 μ A sampai 239,07 μ A. Resistansi permukaan isolator piring berpolutan dalam kondisi basah hingga tegangan kerja 20 kV relatif tetap yaitu terletak direntang nilai 87,905 M Ω sampai 98,004 M Ω untuk intensitas pembasahan 2,75 mm/menit, 78,883 M Ω sampai 90,375 M Ω untuk intensitas pembasahan 3,61 mm/menit dan 71,411 M Ω sampai 87,299 M Ω untuk intensitas pembasahan 4,47 mm/menit .
3. Pengaruh penambahan keping rantai isolator berpolutan terhadap arus bocor pada saat kondisi kering dengan tegangan 2 kV, nilai arus bocor saat keping 1 isolator dipasang adalah 17,33 μ A, dan nilai arus bocor saat keping 1 dan keping 2 isolator di pasang adalah 9,70 μ A. Pada kondisi basah pada intensitas pembasahan 2,75 mm/menit dengan tegangan 2 kV, nilai arus bocor keping 1 isolator sebesar 25,13 μ A, nilai arus bocor pada saat keping 1 dan keping 2 dipasang sebesar 22,30 μ A.

5.2 Saran

Berdasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah melakukan pengujian lebih lanjut tentang keping isolator berpolutan di ruang terbuka agar menyerupai keadaaan yang sebenarnya, perlu dilakukan pembuktian tentang pengaruh radiasi matahari dan pengaruh air hujan yang sesungguhnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar. A, Kuwahara. S. 1982. *Buku Pegangan Teknik Tegangan Tinggi, jilid 2*, Jakarta : Pradnya Paramita.
- Arismunandar. A, Kuwahara. S. 1993. *Teknik Tegangan Tinggi, jilid 2*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika. 2014. *Sebaran Hujan Di Indonesia*. Jakarta: BMKG
- IEC 60815. 2001. “*Guide for the selection and dimensioning of high-voltage insulators for polluted condition*”s
- Manjang, Salama dan Herman. 2007. *Kajian Kinerja Isolator 20 kV dibawah Intensitas Polusi Tinggi Pada Gardu Distribusi PT. Semen Tonasa*. Proceedings SNTK, Universitas Hasanuddin Makassar.
- NGK Insulator, LTD. *Suspension Insulators*, Nagoya Japan.
- Pranoto, K. 2014. *Simulasi Perhitungan Distribusi Tegangan pada Isolator Rantai*. Skripsi tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- SPLN 10-1E. 1990. *Pengujian Isolator Keramik atau Isolator Gelas untuk Saluran Udara Bertegangan Nominal Lebih Dari 1000 Volt [(IEC 383 : 1983)]*. Jakarta : LMK.
- SPLN 10-3B. 1993. *Tingkat Intensitas Polusi Sehubungan Dengan Pedoman Pemilihan Isolator*. Jakarta : LMK.
- SPLN 10-4A. 1994. *Isolator Tonggak Pin (Pin Post) untuk Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV*. Jakarta : LMK.
- Suswanto, D. 2009. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Padang : Penerbit Universitas Negeri Padang.
- Suwarno, Harry Darmawan. 2001. *Pengukuran Arus Bocor Pada Isolator Dengan Sistim Pengukuran Berbasis Personal Komputer*. FOSTU.ITB.Bandung.
- Tobing L, Bonggas. 2012. *Dasar - Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Tukidi. 2007. *Meteorologi dan Klimatologi*. Semarang: Jurusan Geografi FIS UNNES
- Wilvian. 2012. *Pengaruh Kelembapan Terhadap Tegangan Flashover AC Isolator Piring*. Skripsi tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Sumatera Utara.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Pengujian arus bocor kondisi kering

Tabel 1. Keping Isolator Kesatu

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,35	17,50	2,33	17,33
	2,32	17,20		
	2,31	17,30		
2	5,50	40,20	5,52	40,30
	5,52	40,30		
	5,53	40,40		
3	8,52	60,10	8,51	60,83
	8,51	60,80		
	8,49	61,60		
4	11,55	84,00	11,57	84,13
	11,59	84,30		
	11,57	84,10		
5	14,70	106,30	14,67	106,13
	14,68	106,10		
	14,64	106,00		
6	17,33	125,80	17,34	125,40
	17,38	125,10		
	17,30	125,30		
7	20,40	150,00	20,39	149,80
	20,39	149,90		
	20,38	149,50		

Tabel 2. Keping Isolator Kedua

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,30	17,90	2,34	17,97
	2,35	18,00		
	2,37	18,00		
2	5,51	40,00	5,55	39,83
	5,55	39,80		
	5,58	39,70		
3	8,53	63,60	8,54	63,30
	8,58	63,30		
	8,52	63,00		
4	11,56	88,70	11,53	88,67
	11,50	88,60		
	11,53	88,70		
5	14,60	111,40	14,61	112,20
	14,63	111,80		
	14,61	113,40		
6	17,30	133,40	17,34	133,30
	17,34	133,50		
	17,38	133,00		

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
7	20,42	155,50	20,44	156,03
	20,47	156,30		
	20,44	156,30		

Tabel 3. Keping Isolator Ketiga

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,30	17,90	2,34	18,00
	2,35	18,00		
	2,36	18,10		
2	5,54	41,70	5,57	41,73
	5,58	41,70		
	5,59	41,80		
3	8,50	64,30	8,54	64,43
	8,53	64,50		
	8,59	64,50		
4	11,51	88,80	11,51	89,00
	11,52	89,10		
	11,50	89,10		
5	14,65	113,00	14,63	113,07
	14,62	113,10		
	14,63	113,10		
6	17,36	134,60	17,33	134,20
	17,30	134,20		
	17,33	133,80		
7	20,35	157,70	20,36	158,03
	20,39	158,00		
	20,34	158,40		

Tabel 4. Keping Isolator Keempat

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,33	19,50	2,36	19,63
	2,37	19,70		
	2,38	19,70		
2	5,55	42,90	5,57	42,87
	5,58	42,90		
	5,59	42,80		
3	8,59	65,20	8,59	65,33
	8,60	65,60		
	8,58	65,20		
4	11,58	90,60	11,54	90,67
	11,55	90,50		
	11,50	90,90		
5	14,61	114,70	14,64	114,67
	14,64	114,20		

	14,66	115,10		
6	17,37	136,30	17,34	136,33
	17,31	137,00		
	17,35	135,70		
	20,41	161,50		
7	20,46	161,70	20,44	161,30
	20,44	160,70		

Tabel 5. Keping Isolator Kelima

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,35	18,60	2,36	18,63
	2,38	18,70		
	2,36	18,60		
2	5,60	42,00	5,59	42,03
	5,59	42,00		
	5,57	42,10		
3	8,52	64,90	8,54	64,80
	8,57	64,80		
	8,53	64,70		
4	11,54	90,00	11,53	90,07
	11,50	90,20		
	11,56	90,00		
5	14,65	113,30	14,67	113,27
	14,67	113,20		
	14,68	113,30		
6	17,35	134,00	17,34	134,53
	17,30	134,50		
	17,37	135,10		
7	20,45	158,70	20,46	158,57
	20,49	158,30		
	20,43	158,70		

Tabel 6. 2 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,36	9,70	2,35	9,70
	2,34	9,70		
	2,35	9,70		
2	5,50	22,80	5,54	22,73
	5,55	22,70		
	5,57	22,70		
3	8,56	35,40	8,57	35,33
	8,59	35,30		
	8,57	35,30		
4	11,59	46,90	11,56	46,93
	11,55	46,80		
	11,53	47,10		
5	14,60	59,70	14,65	59,93

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
6	14,68	60,10	17,33	71,20
	14,66	60,00		
	17,38	71,10		
7	17,30	71,20	20,43	84,57
	17,32	71,30		
7	20,40	84,30	20,43	84,57
	20,46	84,80		
	20,42	84,60		

Tabel 7. 3 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,31	6,80	2,33	6,77
	2,33	6,80		
	2,34	6,70		
2	5,50	16,20	5,51	16,13
	5,53	16,30		
	5,51	15,90		
3	8,51	24,70	8,53	24,73
	8,55	24,90		
	8,53	24,60		
4	11,56	33,50	11,54	33,60
	11,52	33,60		
	11,54	33,70		
5	14,64	42,50	14,65	42,67
	14,69	42,70		
	14,62	42,80		
6	17,36	50,90	17,36	50,43
	17,32	50,30		
	17,39	50,10		
7	20,45	59,40	20,44	59,77
	20,41	60,10		
	20,46	59,80		

Tabel 8. 4 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,35	5,10	2,34	5,23
	2,34	5,40		
	2,33	5,20		
2	5,55	12,30	5,56	12,43
	5,56	12,60		
	5,58	12,40		
3	8,55	18,90	8,54	19,13
	8,54	19,30		
	8,52	19,20		

4	11,52	25,80	11,53	25,87
	11,56	25,50		
	11,52	26,30		
5	14,69	32,80	14,67	32,80
	14,66	32,90		
	14,65	32,70		
6	17,38	39,10	17,33	39,13
	17,32	39,20		
	17,30	39,10		
7	20,48	45,80	20,45	45,33
	20,44	45,20		
	20,43	45,00		

Tabel 9. 5 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,35	4,20	2,37	4,23
	2,38	3,90		
	2,37	4,60		
2	5,55	9,90	5,53	9,87
	5,53	9,90		
	5,52	9,80		
3	8,53	15,40	8,55	15,33
	8,55	15,80		
	8,56	14,80		
4	11,52	20,60	11,55	20,60
	11,56	20,50		
	11,57	20,70		
5	14,62	26,10	14,63	26,17
	14,65	26,20		
	14,63	26,20		
6	17,36	31,20	17,35	31,20
	17,31	31,00		
	17,39	31,40		
7	20,48	36,50	20,45	36,50
	20,40	36,40		
	20,46	36,60		

Lampiran 2. Pengujian Arus Bocor Kondisi Basah 2,75 mm/menit
Tabel 10. Keping Isolator Kesatu

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,35	25,30	2,36	25,13
	2,36	25,20		
	2,38	24,90		
2	5,52	56,90	5,56	56,77
	5,58	56,60		
	5,59	56,80		

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
3	8,53	89,50	8,51	89,67
	8,50	89,70		
	8,51	89,80		
4	11,54	122,40	11,56	122,67
	11,58	122,70		
	11,56	122,90		
5	14,69	156,10	14,64	156,13
	14,60	156,30		
	14,62	156,00		
6	17,36	185,40	17,36	185,60
	17,34	185,60		
	17,38	185,80		
7	20,41	215,50	20,43	215,73
	20,45	215,80		
	20,43	215,90		

Tabel 11. Keping Isolator Kedua

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,30	26,80	2,35	26,73
	2,38	26,90		
	2,37	26,50		
2	5,53	57,80	5,53	57,57
	5,56	57,50		
	5,50	57,40		
3	8,54	90,50	8,54	90,67
	8,52	90,60		
	8,55	90,90		
4	11,52	124,50	11,53	124,73
	11,53	124,80		
	11,55	124,90		
5	14,62	157,80	14,62	158,03
	14,61	158,00		
	14,64	158,30		
6	17,35	187,70	17,37	187,87
	17,38	187,80		
	17,37	188,10		
7	20,32	216,90	20,34	216,73
	20,35	216,80		
	20,36	216,50		

Tabel 12. Keping Isolator Ketiga

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,35	26,90	2,36	27,00
	2,38	27,00		

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
2	2,36	27,10	5,55	58,00
	5,57	57,90		
	5,55	58,00		
	5,54	58,10		
3	8,54	90,90	8,53	91,13
	8,51	91,20		
	8,53	91,30		
4	11,50	124,90	11,55	124,93
	11,59	124,90		
	11,57	125,00		
5	14,64	158,40	14,65	158,53
	14,65	158,90		
	14,67	158,30		
6	17,32	187,90	17,33	188,03
	17,37	187,90		
	17,30	188,30		
7	20,41	216,90	20,44	217,03
	20,45	217,00		
	20,46	217,20		

Tabel 13. Keping Isolator Keempat

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,38	27,80	2,38	27,77
	2,39	27,90		
	2,37	27,60		
2	5,58	58,90	5,57	59,00
	5,56	58,80		
	5,57	59,30		
3	8,56	92,40	8,57	92,57
	8,57	92,80		
	8,58	92,50		
4	11,51	125,90	11,55	126,33
	11,54	126,40		
	11,59	126,70		
5	14,64	159,90	14,65	160,23
	14,65	160,30		
	14,67	160,50		
6	17,32	189,00	17,32	189,33
	17,35	189,40		
	17,30	189,60		
7	20,41	218,20	20,44	218,37
	20,45	218,50		
	20,46	218,40		

Tabel 14. Keping Isolator Kelima

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,32	27,10	2,34	27,13
	2,34	27,30		
	2,37	27,00		
2	5,52	58,30	5,55	58,40
	5,56	58,50		
	5,57	58,40		
3	8,51	91,40	8,54	91,60
	8,53	91,60		
	8,57	91,80		
4	11,54	125,40	11,56	125,47
	11,54	125,30		
	11,59	125,70		
5	14,64	158,90	14,65	159,23
	14,65	159,30		
	14,67	159,50		
6	17,32	188,30	17,32	188,53
	17,35	188,50		
	17,30	188,80		
7	20,41	217,30	20,44	217,50
	20,45	217,50		
	20,46	217,70		

Tabel 15. 2 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,36	22,40	2,37	22,30
	2,38	22,20		
	2,37	22,30		
2	5,55	52,90	5,55	52,93
	5,53	52,90		
	5,56	53,00		
3	8,58	78,80	8,56	78,80
	8,56	78,70		
	8,54	78,90		
4	11,51	110,20	11,54	110,10
	11,55	110,10		
	11,56	110,00		
5	14,66	139,40	14,67	139,57
	14,67	139,50		
	14,69	139,80		
6	17,37	165,30	17,35	165,37
	17,38	165,80		
	17,31	165,00		
7	20,43	193,60	20,45	193,60
	20,46	193,40		
	20,45	193,80		

Tabel 16. 3 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,30	20,90	2,33	21,13
	2,31	21,30		
	2,38	21,20		
2	5,55	48,90	5,57	48,80
	5,58	48,70		
	5,57	48,80		
3	8,54	75,90	8,54	75,77
	8,52	75,80		
	8,57	75,60		
4	11,58	103,20	11,56	103,27
	11,50	103,60		
	11,59	103,00		
5	14,66	132,20	14,66	132,23
	14,63	132,40		
	14,69	132,10		
6	17,33	157,00	17,33	157,10
	17,34	157,10		
	17,32	157,20		
7	20,43	184,20	20,42	184,10
	20,41	184,10		
	20,42	184,00		

Tabel 17. 4 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,36	18,80	2,34	19,03
	2,33	19,20		
	2,34	19,10		
2	5,57	43,90	5,57	43,80
	5,58	43,80		
	5,55	43,70		
3	8,52	68,90	8,53	68,53
	8,51	68,80		
	8,57	67,90		
4	11,52	92,80	11,52	92,77
	11,51	92,60		
	11,53	92,90		
5	14,6	117,50	14,63	117,33
	14,69	117,20		
	14,61	117,30		
6	17,34	140,40	17,34	140,47
	17,35	140,80		
	17,32	140,20		
7	20,40	165,20	20,41	165,10
	20,41	165,00		
	20,43	165,10		

Tabel 18. 5 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,31	16,70	2,33	16,57
	2,32	16,40		
	2,35	16,60		
2	5,52	39,90	5,54	39,77
	5,56	39,80		
	5,53	39,60		
3	8,56	58,50	8,57	58,70
	8,59	58,90		
	8,57	58,70		
4	11,55	81,90	11,54	81,80
	11,57	81,80		
	11,50	81,70		
5	14,62	104,60	14,64	104,50
	14,67	104,70		
	14,63	104,20		
6	17,36	123,20	17,35	123,23
	17,33	123,50		
	17,35	123,00		
7	20,48	144,90	20,46	144,67
	20,46	144,80		
	20,44	144,30		

Lampiran 3. Pengujian Arus Bocor Kondisi Basah 3,61 mm/menit

Tabel 19. Keping Isolator Kesatu

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,36	28,10	2,35	28,10
	2,38	28,20		
	2,30	28,00		
2	5,54	62,70	5,56	62,80
	5,56	62,80		
	5,57	62,90		
3	8,50	94,50	8,51	94,20
	8,51	94,00		
	8,53	94,10		
4	11,59	128,10	11,55	128,20
	11,57	128,50		
	11,50	128,00		
5	14,60	163,00	14,64	163,20
	14,67	163,20		
	14,65	163,40		
6	17,32	194,90	17,32	194,53
	17,30	194,50		
	17,33	194,20		

7	20,46	227,60	20,44	227,77
	20,45	227,90		
	20,42	227,80		

Tabel 20. Keping Isolator Kedua

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,33	28,50	2,31	28,70
	2,30	28,70		
	2,31	28,90		
2	5,58	62,90	5,56	63,10
	5,59	63,10		
	5,51	63,30		
3	8,53	94,90	8,54	94,90
	8,54	94,80		
	8,55	95,00		
4	11,58	128,90	11,56	128,73
	11,54	128,70		
	11,55	128,60		
5	14,62	163,90	14,62	164,17
	14,65	164,20		
	14,60	164,40		
6	17,32	194,80	17,35	194,90
	17,36	195,00		
	17,37	194,90		
7	20,46	228,10	20,44	228,30
	20,45	228,30		
	20,42	228,50		

Tabel 21. Keping Isolator Ketiga

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,35	29,70	2,35	29,83
	2,34	29,80		
	2,37	30,00		
2	5,59	63,30	5,58	63,27
	5,58	63,00		
	5,57	63,50		
3	8,56	95,40	8,56	95,23
	8,58	95,30		
	8,55	95,00		
4	11,58	129,00	11,58	129,27
	11,59	129,30		
	11,57	129,50		
5	14,60	164,50	14,63	164,73
	14,62	164,80		
	14,68	164,90		
6	17,39	195,10	17,35	195,13
	17,34	195,30		

7	17,32	195,00	20,46	229,23
	20,46	228,90		
	20,47	229,30		
	20,44	229,50		

Tabel 22. Keping Isolator Keempat

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,39	30,60	2,38	30,77
	2,38	30,80		
	2,37	30,90		
2	5,53	63,90	5,51	63,77
	5,51	63,80		
	5,50	63,60		
3	8,51	96,00	8,52	96,20
	8,52	96,20		
	8,52	96,40		
4	11,51	129,90	11,54	130,07
	11,59	130,00		
	11,52	130,30		
5	14,64	165,90	14,65	165,90
	14,65	165,80		
	14,66	166,00		
6	17,34	195,90	17,32	196,13
	17,32	196,30		
	17,31	196,20		
7	20,44	230,60	20,44	230,77
	20,43	230,80		
	20,45	230,90		

Tabel 23. Keping Isolator Kelima

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,36	30,10	2,37	30,23
	2,37	30,40		
	2,38	30,20		
2	5,59	63,00	5,58	63,30
	5,56	63,50		
	5,58	63,40		
3	8,55	95,70	8,56	95,87
	8,58	95,90		
	8,56	96,00		
4	11,56	129,60	11,56	129,77
	11,57	129,80		
	11,55	129,90		
5	14,64	165,20	14,65	165,23
	14,65	165,00		
	14,67	165,50		
6	17,33	195,80	17,33	195,97

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
7	17,35	195,90	20,42	230,10
	17,32	196,20		
	20,42	229,90		
	20,44	230,10		
	20,40	230,30		

Tabel 24. 2 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,39	24,10	2,39	24,20
	2,38	24,50		
	2,39	24,00		
2	5,59	54,90	5,58	54,77
	5,56	54,80		
	5,58	54,60		
3	8,55	85,10	8,56	85,60
	8,58	85,90		
	8,56	85,80		
4	11,56	119,20	11,56	118,83
	11,57	118,60		
	11,55	118,70		
5	14,64	150,50	14,65	150,67
	14,65	150,70		
	14,67	150,80		
6	17,33	178,20	17,33	178,10
	17,35	178,00		
	17,32	178,10		
7	20,42	208,70	20,42	208,87
	20,44	209,10		
	20,40	208,80		

Tabel 25. 3 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,37	23,10	2,37	23,30
	2,38	23,50		
	2,37	23,30		
2	5,49	52,90	5,50	52,50
	5,51	52,80		
	5,50	51,80		
3	8,50	82,60	8,52	82,77
	8,54	82,90		
	8,52	82,80		
4	11,57	111,20	11,55	111,13
	11,53	111,30		
	11,54	110,90		

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
5	14,67	143,30	14,66	143,30
	14,66	143,40		
	14,64	143,20		
6	17,36	170,50	17,36	170,67
	17,35	170,80		
	17,37	170,70		
7	20,48	199,90	20,46	199,60
	20,49	199,80		
	20,40	199,10		

Tabel 26. 4 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,31	20,00	2,31	20,23
	2,32	20,20		
	2,30	20,50		
2	5,51	46,00	5,51	46,57
	5,52	46,90		
	5,49	46,80		
3	8,54	75,30	8,56	75,00
	8,55	74,90		
	8,58	74,80		
4	11,51	99,80	11,52	100,03
	11,52	99,90		
	11,54	100,40		
5	14,65	125,20	14,63	125,20
	14,61	125,40		
	14,63	125,00		
6	17,33	150,80	17,35	150,40
	17,35	150,00		
	17,36	150,40		
7	20,46	180,30	20,48	180,13
	20,48	180,10		
	20,49	180,00		

Tabel 27. 5 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,33	18,10	2,34	18,00
	2,34	17,90		
	2,35	18,00		
2	5,56	42,80	5,56	42,77
	5,55	42,60		
	5,56	42,90		
3	8,52	64,80	8,53	64,97
	8,51	64,90		
	8,57	65,20		
4	11,52	88,30	11,52	88,03
	11,51	88,20		
	11,53	87,60		
5	14,60	112,50	14,63	111,97
	14,69	111,80		
	14,61	111,60		
6	17,36	132,00	17,35	131,90
	17,33	131,90		
	17,35	131,80		
7	20,43	156,40	20,45	156,20
	20,48	156,20		
	20,45	156,00		

Lampiran 3. Pengujian Arus Bocor Kondisi Basah 4,47 mm/menit
 Tabel 28. Keping Isolator Kesatu

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,35	27,20	2,37	27,33
	2,39	27,40		
	2,38	27,40		
2	5,53	64,20	5,53	64,23
	5,52	64,00		
	5,54	64,50		
3	8,51	97,20	8,52	97,63
	8,52	97,90		
	8,54	97,80		
4	11,50	131,90	11,51	132,13
	11,52	132,30		
	11,51	132,20		
5	14,60	169,70	14,64	169,53
	14,65	169,40		
	14,67	169,50		
6	17,34	199,20	17,33	199,00
	17,33	199,00		
	17,31	198,80		
7	20,45	238,00	20,47	238,33
	20,49	238,60		

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
	20,48	238,40		

Tabel 29. Keping Isolator Kedua

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,34	32,60	2,34	32,77
	2,33	32,80		
	2,35	32,90		
2	5,53	64,80	5,54	64,90
	5,54	64,90		
	5,55	65,00		
3	8,52	98,30	8,52	98,43
	8,53	98,40		
	8,51	98,60		
4	11,50	132,80	11,52	133,03
	11,51	132,90		
	11,55	133,40		
5	14,60	170,20	14,66	170,33
	14,68	170,30		
	14,69	170,50		
6	17,34	199,90	17,34	200,13
	17,33	200,20		
	17,36	200,30		
7	20,41	238,80	20,42	238,90
	20,43	238,90		
	20,42	239,00		

Tabel 30. Keping Isolator Ketiga

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,38	32,90	2,37	32,90
	2,33	33,00		
	2,39	32,80		
2	5,52	64,90	5,55	65,10
	5,53	65,10		
	5,59	65,30		
3	8,55	98,80	8,55	98,90
	8,53	98,90		
	8,57	99,00		
4	11,55	133,00	11,53	133,13
	11,54	133,10		
	11,51	133,30		
5	14,65	170,60	14,67	170,77
	14,68	170,80		
	14,67	170,90		
6	17,36	199,90	17,35	200,27

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
7	17,33	200,40	20,43	239,07
	17,35	200,50		
	20,45	238,90		
	20,43	239,10		
	20,40	239,20		

Tabel 31. Keping Isolator Keempat

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,30	33,00	2,32	33,13
	2,32	33,10		
	2,34	33,30		
2	5,56	65,10	5,57	65,27
	5,59	65,20		
	5,55	65,50		
3	8,55	99,00	8,55	99,00
	8,52	98,90		
	8,58	99,10		
4	11,56	133,60	11,56	133,77
	11,57	133,80		
	11,55	133,90		
5	14,61	171,10	14,61	171,27
	14,60	171,40		
	14,63	171,30		
6	17,34	200,60	17,32	200,77
	17,32	200,80		
	17,30	200,90		
7	20,47	239,60	20,44	239,57
	20,46	239,40		
	20,40	239,70		

Tabel 32. Keping Isolator Kelima

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,30	32,90	2,34	32,93
	2,39	32,90		
	2,33	33,00		
2	5,55	64,90	5,53	65,10
	5,53	65,00		
	5,52	65,40		
3	8,59	99,00	8,58	98,93
	8,57	98,90		
	8,58	98,90		
4	11,57	133,10	11,58	133,27
	11,58	133,20		
	11,59	133,50		

5	14,64	170,90	14,64	170,93
	14,65	170,90		
	14,63	171,00		
6	17,30	199,90	17,31	200,30
	17,31	200,40		
	17,32	200,60		
7	20,40	238,90	20,44	239,10
	20,47	239,00		
	20,45	239,40		

Tabel 33. 2 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,36	26,10	2,37	26,17
	2,39	25,90		
	2,37	26,50		
2	5,54	61,30	5,56	61,43
	5,59	61,60		
	5,54	61,40		
3	8,44	95,60	8,43	95,70
	8,43	96,30		
	8,42	95,20		
4	11,54	129,10	11,54	129,53
	11,50	129,60		
	11,58	129,90		
5	14,69	161,20	14,65	161,10
	14,66	161,30		
	14,61	160,80		
6	17,37	193,40	17,34	194,23
	17,32	194,60		
	17,33	194,70		
7	20,49	225,70	20,42	225,17
	20,47	224,30		
	20,31	225,50		

Tabel 34. 3 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,32	25,10	2,33	25,00
	2,34	25,00		
	2,33	24,90		
2	5,51	56,80	5,52	57,00
	5,53	56,90		
	5,52	57,30		
3	8,56	88,90	8,57	88,97
	8,59	88,70		
	8,57	89,30		
4	11,55	118,30	11,54	118,30
	11,57	118,40		

	11,50	118,20		
5	14,62	152,30	14,64	152,07
	14,67	151,90		
	14,63	152,00		
	17,34	183,50		
6	17,35	183,70	17,34	183,33
	17,32	182,80		
	20,44	212,90		
7	20,43	212,70	20,44	212,60
	20,45	212,20		

Tabel 35. 4 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,36	22,20	2,34	22,17
	2,33	22,00		
	2,34	22,30		
2	5,52	52,90	5,54	53,23
	5,56	53,30		
	5,53	53,50		
3	8,52	78,80	8,53	78,47
	8,51	78,00		
	8,57	78,60		
4	11,52	110,40	11,52	110,20
	11,51	110,20		
	11,53	110,00		
5	14,60	140,50	14,63	140,13
	14,69	140,30		
	14,61	139,60		
6	17,39	166,60	17,35	166,27
	17,34	166,20		
	17,32	166,00		
7	20,46	195,40	20,44	195,03
	20,45	194,80		
	20,42	194,90		

Tabel 36. 5 Keping Isolator

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
1	2,37	21,40	2,37	21,47
	2,38	21,40		
	2,35	21,60		
2	5,54	48,90	5,56	48,73
	5,56	48,70		
	5,57	48,60		
3	8,53	75,90	8,53	75,77
	8,52	75,80		
	8,54	75,60		

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (uA)	Rata-rata tegangan (kV)	Rata-rata arus bocor (uA)
4	11,51	103,60	11,52	103,80
	11,50	103,80		
	11,54	104,00		
5	14,61	131,00	14,62	131,20
	14,60	131,20		
	14,64	131,40		
6	17,34	157,30	17,35	157,60
	17,37	157,60		
	17,33	157,90		
7	20,48	184,00	20,45	184,20
	20,47	184,20		
	20,40	184,40		



Lampiran 4. Perbandingan Data Arus Bocor Pengujian dengan Trendline Kondisi Kering

Jumlah Keping Rantai Isolator																				
1 Keping				2 Keping				3 Keping				4 Keping				5 Keping				
Teg, uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μA)	Arus bocor Trendline (μA)	ΔI (μA)	Teg, uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μA)	Arus bocor Trendline (μA)	ΔI (μA)	Teg, uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μA)	Arus bocor Trendline (μA)	ΔI (μA)	Teg, uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μA)	Arus bocor Trendline (μA)	ΔI (μA)	Teg, uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μA)	Arus bocor Trendline (μA)	ΔI (μA)	
2,33	17,33	16,96	0,37	2,35	9,70	9,68	0,02	2,33	6,77	6,79	0,02	2,34	5,23	5,24	0,01	2,37	4,23	4,24	0,01	
5,52	40,30	40,21	0,09	5,54	22,73	22,83	0,10	5,51	16,13	16,08	0,05	5,56	12,43	12,45	0,02	5,53	9,87	9,90	0,03	
8,51	60,83	62,00	1,17	8,57	35,33	35,32	0,01	8,53	24,73	24,88	0,15	8,54	19,13	19,11	0,02	8,55	15,33	15,30	-0,03	
11,57	84,13	84,33	0,20	11,56	46,93	47,61	0,68	11,54	33,60	33,66	0,06	11,53	25,87	25,81	0,06	11,55	20,60	20,67	0,07	
14,67	106,13	106,95	0,82	14,65	59,93	60,35	0,41	14,65	42,67	42,73	0,06	14,67	32,80	32,83	0,03	14,63	26,17	26,19	0,02	
17,34	125,40	126,36	0,96	17,33	71,20	71,42	0,22	17,36	50,43	50,62	0,19	17,33	39,13	38,80	0,34	17,35	31,20	31,06	-0,14	
20,39	149,80	148,62	1,18	20,43	84,57	84,16	0,41	20,44	59,77	59,61	0,15	20,45	45,53	45,77	0,24	20,45	36,50	36,59	0,09	
Rata-rata penyimpangan		0,68					0,26					0,10					0,10			0,01

Lampiran 5. Perbandingan Data Arus Bocor Pengujian dengan Trendline Kondisi Basah 2,75 mm/menit

Jumlah Keping Rantai Isolator																			
1 Keping				2 Keping				3 Keping				4 Keping				5 Keping			
Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)	Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)	Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)	Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)	Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)
2,36	25,13	25,17	0,04	2,37	22,30	22,53	0,23	2,33	21,13	21,08	0,05	2,34	19,03	18,97	0,06	2,33	16,57	16,54	0,03
5,56	56,77	59,24	2,48	5,55	52,93	52,74	0,19	5,57	48,80	50,37	1,57	5,57	43,80	45,05	1,25	5,54	39,77	39,36	0,41
8,51	89,67	90,66	0,99	8,56	78,80	81,39	2,59	8,54	75,77	77,31	1,54	8,53	68,53	69,07	0,53	8,57	58,70	60,95	2,25
11,56	122,67	123,10	0,44	11,54	110,10	109,72	0,38	11,56	103,27	104,58	1,31	11,52	92,77	93,24	0,47	11,54	81,80	82,04	0,24
14,64	156,13	155,87	0,27	14,67	139,57	139,51	0,06	14,66	132,23	132,66	0,43	14,63	117,33	118,44	1,10	14,64	104,50	104,08	0,42
17,36	185,60	184,87	0,73	17,35	165,37	164,99	0,37	17,33	157,10	156,82	0,28	17,34	140,47	140,32	0,15	17,35	123,23	123,32	0,09
20,43	215,73	217,56	1,83	20,45	193,60	194,40	0,80	20,42	184,10	184,78	0,68	20,41	165,10	165,22	0,12	20,46	144,67	145,45	0,79
Rata-rata penyimpangan			0,97				0,66				0,84				0,53				0,60

Lampiran 6. Perbandingan Data Arus Bocor Pengujian dengan Trendline Kondisi Basah 3,61 mm/menit

Jumlah Keping Rantai Isolator																			
1 Keping				2 Keping				3 Keping				4 Keping				5 Keping			
Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)	Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)	Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)	Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)	Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)
2,35	28,10	26,10	2,00	2,39	24,20	24,58	0,38	2,37	23,30	23,24	0,06	2,31	20,23	20,17	0,06	2,34	18,00	17,84	0,16
5,56	62,80	61,81	0,99	5,58	54,77	57,42	2,66	5,50	52,50	53,86	1,36	5,51	46,57	48,08	1,51	5,56	42,77	42,36	0,41
8,51	94,20	94,69	0,49	8,56	85,60	88,18	2,58	8,52	82,77	83,44	0,67	8,56	75,00	74,70	0,30	8,53	64,97	65,04	0,08
11,55	128,20	128,51	0,31	11,56	118,83	119,03	0,20	11,55	111,13	113,08	1,94	11,52	100,03	100,61	0,57	11,52	88,03	87,81	0,22
14,64	163,20	162,84	0,36	14,65	150,67	150,89	0,22	14,66	143,30	143,53	0,23	14,63	125,20	127,73	2,53	14,63	111,97	111,54	0,43
17,32	194,53	192,61	1,92	17,33	178,10	178,48	0,38	17,36	170,67	170,01	0,66	17,35	150,40	151,45	1,05	17,35	131,90	132,22	0,32
20,44	227,77	227,39	0,38	20,42	208,87	210,26	1,40	20,46	199,60	200,33	0,73	20,48	180,13	178,77	1,36	20,45	156,20	155,90	0,30
Rata-rata penyimpangan			0,92				1,12				0,81				1,05				0,27

Lampiran 7. Perbandingan Data Arus Bocor Pengujian dengan Trendline Kondisi Basah 4,47 mm/menit

Jumlah Keping Rantai Isolator																			
1 Keping				2 Keping				3 Keping				4 Keping				5 Keping			
Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)	Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)	Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)	Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)	Teg, Uji (kV)	Arus bocor Pengujian (μ A)	Arus bocor Trendline (μ A)	ΔI (μ A)
2,37	27,33	27,49	0,16	2,37	26,17	26,28	0,11	2,33	25,00	24,33	0,67	2,34	22,17	22,43	0,27	2,37	21,47	21,41	0,06
5,53	64,23	64,06	0,17	5,56	61,43	61,54	0,11	5,52	57,00	57,63	0,63	5,54	53,23	53,01	0,22	5,56	48,73	50,27	1,53
8,52	97,63	98,73	1,10	8,43	95,70	93,36	2,34	8,57	88,97	89,51	0,55	8,53	78,47	81,70	3,23	8,53	75,77	77,16	1,40
11,51	132,13	133,33	1,20	11,54	129,53	127,81	1,73	11,54	118,30	120,49	2,19	11,52	110,20	110,29	0,09	11,52	103,80	104,18	0,38
14,64	169,53	169,59	0,06	14,65	161,10	162,29	1,19	14,64	152,07	152,86	0,79	14,63	140,13	140,10	0,04	14,62	131,20	132,23	1,03
17,33	199,00	200,71	1,71	17,34	194,23	192,04	2,19	17,34	183,33	181,01	2,32	17,35	166,27	166,11	0,16	17,35	157,60	156,92	0,68
20,47	238,33	237,16	1,17	20,42	225,17	226,19	1,02	20,44	212,60	213,41	0,81	20,44	195,03	195,72	0,69	20,45	184,20	184,99	0,79
Rata-rata penyimpangan			0,78				1,24				1,14				0,67			0,84	

Lampiran 8. Data Nilai Resistansi Kondisi Kering

Tabel 37, Tabel Resistansi Perkeping Isolator

Keping Rantai Isolator Ke -														
Keping Isolator 1			Keping Isolator 2			Keping Isolator 3			Keping Isolator 4			Keping Isolator 5		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)
2,33	17,33	134,231	2,34	17,97	130,241	2,34	18,00	129,815	2,36	19,63	120,204	2,36	18,63	126,834
5,52	40,30	136,890	5,55	39,83	139,247	5,57	41,73	133,466	5,57	42,87	130,016	5,59	42,03	132,910
8,51	60,83	139,836	8,54	63,30	134,966	8,54	64,43	132,540	8,59	65,33	131,480	8,54	64,80	131,790
11,57	84,13	137,520	11,53	88,67	130,038	11,51	89,00	129,326	11,54	90,67	127,316	11,53	90,07	128,053
14,67	106,13	138,254	14,61	112,20	130,244	14,63	113,07	129,422	14,64	114,67	127,645	14,67	113,27	129,488
17,34	125,40	138,251	17,34	133,30	130,083	17,33	134,20	129,136	17,34	136,33	127,213	17,34	134,53	128,890
20,39	149,80	136,115	20,44	156,03	131,019	20,36	158,03	128,834	20,44	161,30	126,700	20,46	158,57	129,010

Tabel 38. Tabel Resistansi Pertambahan Keping

Jumlah Keping Rantai Isolator														
1 Keping Isolator			2 Keping Isolator			3 Keping Isolator			4 Keping Isolator			5 Keping Isolator		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)
2,33	17,33	134,231	2,35	9,70	242,268	2,33	6,77	343,673	2,34	5,23	494,366	2,37	4,23	559,496
5,52	40,30	136,890	5,54	22,73	243,731	5,51	16,13	341,806	5,56	12,43	464,903	5,53	9,87	560,621
8,51	60,83	139,836	8,57	35,33	242,664	8,53	24,73	344,925	8,54	19,13	460,612	8,55	15,33	557,513
11,57	84,13	137,520	11,56	46,93	246,236	11,54	33,60	343,452	11,53	25,87	437,975	11,55	20,60	560,680
14,67	106,13	138,254	14,65	59,93	244,383	14,65	42,67	343,359	14,67	32,80	454,545	14,63	26,17	559,236
17,34	125,40	138,251	17,33	71,20	243,446	17,36	50,43	344,151	17,33	39,13	442,930	17,35	31,20	556,197
20,39	149,80	136,115	20,43	84,57	241,545	20,44	59,77	341,997	20,45	45,53	451,103	20,45	36,50	560,183

Lampiran 9. Data Nilai Resistansi Kondisi Basah 2,75 mm/menit

Tabel 39. Tabel Resistansi Perkeping Isolator

			Keping Rantai Isolator Ke -											
Keping Isolator 1			Keping Isolator 2			Keping Isolator 3			Keping Isolator 4			Keping Isolator 5		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)
2,36	25,13	94,044	2,35	26,73	87,905	2,36	27,00	87,531	2,38	27,77	85,714	2,34	27,13	86,364
5,56	56,77	98,004	5,53	57,57	96,063	5,55	58,00	95,747	5,57	59,00	94,407	5,55	58,40	95,034
8,51	89,67	94,944	8,54	90,67	94,154	8,53	91,13	93,563	8,57	92,57	92,582	8,54	91,60	93,195
11,56	122,67	94,239	11,53	124,73	92,464	11,55	124,93	92,476	11,55	126,33	91,398	11,56	125,47	92,109
14,64	156,13	93,745	14,62	158,03	92,533	14,65	158,53	92,431	14,65	160,23	91,450	14,65	159,23	92,024
17,36	185,60	93,534	17,37	187,87	92,441	17,33	188,03	92,165	17,32	189,33	91,496	17,32	188,53	91,885
20,43	215,73	94,700	20,34	216,73	93,863	20,44	217,03	94,179	20,44	218,37	93,604	20,44	217,50	93,977

Tabel 40. Tabel Resistansi Pertambahan Keping

Jumlah Keping Rantai Isolator														
1 Keping Isolator			2 Keping Isolator			3 Keping Isolator			4 Keping Isolator			5 Keping Isolator		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)
2,36	25,13	94,044	2,37	22,30	106,278	2,33	21,13	110,270	2,34	19,03	123,139	2,33	16,57	140,414
5,56	56,77	98,004	5,55	52,93	104,792	5,57	48,80	114,071	5,57	43,80	127,093	5,54	39,77	139,229
8,51	89,67	94,944	8,56	78,80	108,629	8,54	75,77	112,758	8,53	68,53	124,514	8,57	58,70	146,053
11,56	122,67	94,239	11,54	110,10	104,814	11,56	103,27	111,911	11,52	92,77	124,183	11,54	81,80	141,076
14,64	156,13	93,745	14,67	139,57	105,135	14,66	132,23	110,865	14,63	117,33	124,716	14,64	104,50	140,096
17,36	185,60	93,534	17,35	165,37	104,939	17,33	157,10	110,312	17,34	140,47	123,422	17,35	123,23	140,763
20,43	215,73	94,700	20,45	193,60	105,613	20,42	184,10	110,918	20,41	165,10	123,642	20,46	144,67	141,429

Lampiran 10. Data Nilai Resistansi Kondisi Basah 3,61 mm/menit

Tabel 41. Tabel Resistansi Perkeping Isolator

Keping Rantai Isolator Ke -														
Keping Isolator 1			Keping Isolator 2			Keping Isolator 3			Keping Isolator 4			Keping Isolator 5		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)
2,35	28,10	83,511	2,31	28,70	80,604	2,35	29,83	78,883	2,38	30,77	77,356	2,37	30,23	78,390
5,56	62,80	88,482	5,56	63,10	88,114	5,58	63,27	88,198	5,51	63,77	86,461	5,58	63,30	88,099
8,51	94,20	90,375	8,54	94,90	89,989	8,56	95,23	89,919	8,52	96,20	88,531	8,56	95,87	89,325
11,55	128,20	90,120	11,56	128,73	89,772	11,58	129,27	89,582	11,54	130,07	88,724	11,56	129,77	89,083
14,64	163,20	89,706	14,62	164,17	89,076	14,63	164,73	88,830	14,65	165,90	88,306	14,65	165,23	88,683
17,32	194,53	89,016	17,35	194,90	89,020	17,35	195,13	88,914	17,32	196,13	88,324	17,33	195,97	88,450
20,44	227,77	89,756	20,44	228,30	89,546	20,46	229,23	89,239	20,44	230,77	88,574	20,42	230,10	88,744

Tabel 42. Tabel Resistansi Pertambahan Keping

Jumlah Keping Rantai Isolator														
1 Keping Isolator			2 Keping Isolator			3 Keping Isolator			4 Keping Isolator			5 Keping Isolator		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (µA)	Resistansi Permukaan (MΩ)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (µA)	Resistansi Permukaan (MΩ)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (µA)	Resistansi Permukaan (MΩ)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (µA)	Resistansi Permukaan (MΩ)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (µA)	Resistansi Permukaan (MΩ)
2,35	28,10	83,511	2,39	24,20	98,623	2,37	23,30	101,860	2,31	20,23	114,187	2,34	18,00	130,000
5,56	62,80	88,482	5,58	54,77	101,826	5,50	52,50	104,762	5,51	46,57	118,253	5,56	42,77	129,920
8,51	94,20	90,375	8,56	85,60	100,039	8,52	82,77	102,940	8,56	75,00	114,089	8,53	64,97	131,349
11,55	128,20	90,120	11,56	118,83	97,279	11,55	111,13	103,899	11,52	100,03	115,195	11,52	88,03	130,860
14,64	163,20	89,706	14,65	150,67	97,257	14,66	143,30	102,280	14,63	125,20	116,853	14,63	111,97	130,694
17,32	194,53	89,016	17,33	178,10	97,324	17,36	170,67	101,719	17,35	150,40	115,337	17,35	131,90	131,514
20,44	227,77	89,756	20,42	208,87	97,766	20,46	199,60	102,488	20,48	180,13	113,675	20,45	156,20	130,943

Lampiran 11. Data Nilai Resistansi Kondisi Basah 4,47 mm/menit

Tabel 43. Tabel Resistansi Perkeping Isolator

Keping Isolator 1			Keping Isolator 2			Keping Isolator 3			Keping Isolator 4			Keping Isolator 5		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μ A)	Resistansi Permukaan ($M\Omega$)
2,37	27,33	86,840	2,34	32,77	71,414	2,37	32,90	71,935	2,32	33,13	70,020	2,34	32,93	71,053
5,53	64,23	86,092	5,54	64,90	85,362	5,55	65,10	85,202	5,57	65,27	85,291	5,53	65,10	84,997
8,52	97,63	87,299	8,52	98,43	86,556	8,55	98,90	86,451	8,55	99,00	86,364	8,58	98,93	86,725
11,51	132,13	87,109	11,52	133,03	86,595	11,53	133,13	86,630	11,56	133,77	86,419	11,58	133,27	86,893
14,64	169,53	86,355	14,66	170,33	86,047	14,67	170,77	85,887	14,61	171,27	85,325	14,64	170,93	85,647
17,33	199,00	87,069	17,34	200,13	86,659	17,35	200,27	86,618	17,32	200,77	86,269	17,31	200,30	86,420
20,47	238,33	85,902	20,42	238,90	85,475	20,43	239,07	85,443	20,44	239,57	85,335	20,44	239,10	85,487

Tabel 44. Tabel Resistansi Pertambahan Keping

Jumlah Keping Rantai Isolator														
1 Keping Isolator			2 Keping Isolator			3 Keping Isolator			4 Keping Isolator			5 Keping Isolator		
Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan (MΩ)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan (MΩ)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan (MΩ)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan (MΩ)	Tegangan uji (kV)	Arus Bocor (μA)	Resistansi Permukaan (MΩ)
2,37	27,33	86,840	2,37	26,17	90,689	2,33	25,00	93,200	2,34	22,17	105,714	2,37	21,47	110,231
5,53	64,23	86,092	5,56	61,43	90,450	5,52	57,00	96,842	5,54	53,23	104,014	5,56	48,73	114,022
8,52	97,63	87,299	8,43	95,70	88,088	8,57	88,97	96,366	8,53	78,47	108,751	8,53	75,77	112,582
11,51	132,13	87,109	11,54	129,53	89,089	11,54	118,30	97,549	11,52	110,20	104,537	11,52	103,80	110,951
14,64	169,53	86,355	14,65	161,10	90,958	14,64	152,07	96,274	14,63	140,13	104,424	14,62	131,20	111,408
17,33	199,00	87,069	17,34	194,23	89,274	17,34	183,33	94,564	17,35	166,27	104,350	17,35	157,60	110,068
20,47	238,33	85,902	20,42	225,17	90,703	20,44	212,60	96,143	20,44	195,03	104,820	20,45	184,20	111,021