

KATA PENGANTAR

Puji Syukur dipanjatkan kehaadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul “Kajian Unjuk Kerja Kelistrikan Arester Porselen dan Arester Polimer pada Sistem Tegangan 20 kV” dapat terselesaikan. Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik dari Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Skripsi ini membahas tentang analisis nilai arus bocor dan sudut kontak pada arester porselen dan arester polimer pada sistem tegangan 20 kV.

Pada kesempatan yang baik ini, ingin disampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar besarnya atas bimbingan, bantuan dan doa sehingga terselesainya skripsi ini kepada:

- Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Hadi Suyono, S.T.,M.T., Ph.D selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
- Bapak Ali Musthofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro
- Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc selaku KKDK Konsentrasi Teknik Energi Elektrik yang telah banyak memberikan pengarahan, bimbingan, nasehat, saran dan motivasinya.
- Bapak Drs. Ir. Moch. Dhofir. M.T. selaku dosen pembimbing dan Kepala Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi yang telah banyak memberikan bimbingan, nasehat, saran, masukan dan motivasinya.
- Bapak Ir. Teguh Utomo, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, nasehat, saran, masukan dan motivasinya.
- Kepada Ibunda tercinta Ainin Nisak, yang selalu memberikan kasih sayang dan doanya yang tiada akhir. Untuk seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan, doa, dan motivasinya.
- Teman – teman HMH (Dheo, Mas Bas, Maman, Alvin, Afnan, Boni, Abu, Azis, Yoga, Ari, Kevin, Yatma, Arez, Nizar, Fery, Faisol, Radek, Mu’ammar, Fajar, Sesa, Dimas, Rize, Azwar, Riza, Mas Tom) atas bantuan doa, semangat, dan waktu yang selalu diberikan.

- Teman-teman HVL'10 (Abdul Azis, Anastia Indah Lestari S, Mega Firdausi Nuzulla, Riza Aryanto) dan teman-teman HVL1112 (Aldy, Dian, Frengky, Inggil, Tofan, Adi, Gita, Nadir, Retno, Tito) yang telah banyak memberikan dukungan, doa, semangat dan waktunya.
- Teman seperjuangan Indah Permata Sari Safti, Dwi Yoga Hari P, Imam Suwandi, Laksana Widya Peryoga, Muhammad Aulia Rahman Sembiring, Nandha Putra Pamadya Riza Aryanto, Rizal Firmansyah, Septian Kevin Aditama, LP'10 yang bersama-sama berjuang menyelesaikan tugas akhir ini.
- Keluarga besar angkatan 2010 "MAGNET" atas doa, semangat, serta dukungan yang diberikan.
- Keluarga besar Konsentrasi Teknik Energi Elektrik yang telah menemani dan saling mendukung selama menjalani perkuliahan.
- Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Sekiranya Allah SWT mencatat amalan ikhlas semua pihak yang turut membantu sehingga skripsi ini terselesaikan. Akhirnya, disadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	vii
RINGKASAN	viii
SUMARRY	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Sambaran Petir	4
2.2 Tegangan Lebih dengan Frekuensi Jala-jala	6
2.3 Kerusakan Akibat Kelebihan Tegangan	6
2.4 Penanggulangan Kelebihan Tegangan	6
2.5 Arester (<i>Lightning Arrester</i>).....	7
2.6 Prinsip Kerja Arester	8
2.7 Arester Jenis Tabung (<i>Proctector Tube</i>).....	9
2.8 Arester Tipe Tahanan Tak Linear (<i>Non Linear Type Lightning Arrester</i>)... 10	
2.9 Bahan-bahan Isolasi.....	11
2.9.1 Bahan Porselen	11
2.9.2 Bahan Polimer	13
2.10 Tegangan Nominal atau Tegangan Pengenal (<i>Nominal Voltage Arrester</i>).. 15	
2.11 Arus Pelepasan Nominal (<i>Nominal Discharge Current</i>).....	16
2.12 Tegangan Percik Impuls 100 % (<i>100 % Impulse Spark Over Voltage</i>)	16
2.13 Tegangan Sisa (<i>Residual Voltage</i>).....	16
2.14 Arus Pelepasan Maksimum (<i>Maximum Discharge Current</i>).....	17



2.15	Tegangan Percikan Frekuensi Jala-jala (<i>Power Frequency Spark Over</i>).....	17
2.16	Tegangan Percikan Akibat Pensaklaran (<i>Spark Over Voltage by Switching</i>)	17
2.17	Karakteristik Arester Ideal.....	17
2.18	Lokasi Pemasangan Arester.....	18
2.19	Jarak Rambat	19
2.20	Arus Bocor (<i>Leakage Current</i>)	21
2.21	Perhitungan Arus Bocor.....	21
2.22	Sudut Kontak.....	23
BAB III METODE PENELITIAN.....		25
3.1	Studi Literatur.....	25
3.2	Variabel Penelitian.....	26
3.3	Objek Uji.....	26
3.4	Rangkaian Pengujian Arester.....	26
3.5	Kondisi Pengujian.....	28
3.5.1	Kondisi Pengujian Kering	28
3.5.2	Kondisi Pengujian Basah.....	28
3.6	Pengukuran Tingkat Pembasahan.....	29
3.7	Langkah-langkah pengujian arus bocor:.....	30
3.8	Analisa Hasil Pengujian.....	30
3.9	Penarikan Kesimpulan dan Saran	30
BAB IV ANALISIS.....		31
4.1	Pengujian Karakteristik Arus Bocor pada Arester Kondisi Kering	31
4.2	Pengujian Karakteristik Arus Bocor pada Arester Kondisi Basah.....	35
4.3	Analisis Data Pengujian Arus Bocor Arester.....	42
4.4	Hasil Perhitungan Resistansi Permukaan Arester.....	43
4.5	Hasil Perhitungan Sudut Kontak.....	47
BAB V PENUTUP		51
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran.....	51

DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	522



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Tegangan Tembus pada Setiap Tingkat Polusi.....	19
Tabel 2. 2 Tingkat Polusi Dilihat dari Lingkungannya Berdasarkan IEC 815	20
Tabel 3. 1 Volume air yang tertampung pada tiap tekanan	29
Tabel 4. 1 Pengujian Nilai Arus Bocor Kondisi Pengujian Kering pada Arester Porselen.....	32
Tabel 4. 2 Pengujian Nilai Arus Bocor Kondisi Pengujian Kering pada Arester Polimer.....	32
Tabel 4. 3 Perhitungan Nilai Resistansi Permukaan Kondisi Pengujian Kering pada Arester Porselen dan Polimer	34
Tabel 4. 4 Perhitungan Ekuivalensi Tekanan Air dengan Volume Curah Hujan	35
Tabel 4. 5 Pengujian Nilai Arus Bocor Arester Porselen A pada Berbagai Tingkat Pembasahan	36
Tabel 4. 6 Pengujian Nilai Arus Bocor Arester Porselen B pada Berbagai Tingkat Pembasahan	37
Tabel 4. 7 Pengujian Nilai Arus Bocor Arester Rata-rata Porselen pada Berbagai Tingkat Pembasahan	37
Tabel 4. 8 Pengujian Nilai Arus Bocor Arester Polimer A pada Berbagai Tingkat Pembasahan	39
Tabel 4. 9 Pengujian Nilai Arus Bocor Arester Polimer B pada Berbagai Tingkat Pembasahan	40
Tabel 4. 10 Pengujian Nilai Arus Bocor Rata-rata Arester Polimer pada Berbagai Tingkat Pembasahan	40
Tabel 4. 11 Perhitungan Resistansi Permukaan Arester Porselen pada Berbagai Tingkat Pembasahan	45
Tabel 4. 12 Perhitungan Resistansi Permukaan Arester Polimer pada berbagai Tingkat Pembasahan	46
Tabel 4. 13 Perhitungan Sudut Kontak Permukaan Arester terhadap Tetesan Air.....	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Proses terjadinya sambaran petir	4
Gambar 2. 2 Tegangan impuls petir standar	5
Gambar 2. 3 arester dengan housing porselen dan arester dengan housing polimer	8
Gambar 2. 4 Elemen-elemen lightning arester jenis ekspulsi.....	9
Gambar 2. 5 Elemen-elemen arester jenis Silicon Carbide dan Metal Oxide	11
Gambar 2. 6 Jarak rambat suatu arester	19
Gambar 2. 7 Rangkaian ekivalen arester bersih dan terkontaminasi	22
Gambar 2. 8 Klasifikasi sudut kontak.....	24
Gambar 3. 1 Diagram alir proses pengerjaan tugas akhir.....	25
Gambar 3. 2 Objek uji arester	26
Gambar 3. 3 Rangkaian pengujian arus bocor pada arester.....	27
Gambar 3. 4 Rangkaian pengujian kondisi basah.....	28
Gambar 4. 1 Grafik pengaruh tegangan uji terhadap arus bocor pada kondisi kering ...	33
Gambar 4. 2 Grafik nilai resistansi permukaan arester porselen dan arester polimer pada kondisi pengujian kering	34
Gambar 4.3 Grafik ekivalensi tekanan air dengan curah hujan.....	36
Gambar 4. 4 Pengaruh tingkat pembasahan terhadap nilai arus bocor dengan berbagai variasi tegangan uji pada arester porselen	38
Gambar 4. 5 Pengaruh tingkat pembasahan terhadap nilai arus bocor dengan berbagai variasi tegangan uji pada arester polimer	41
Gambar 4. 6 Pengaruh tingkat pembasahan terhadap nilai resistansi permukaan dengan berbagai variasi tegangan uji pada arester porselen.....	46
Gambar 4. 7 Pengaruh tingkat pembasahan terhadap nilai resistansi permukaan dengan berbagai variasi tegangan uji pada arester polimer	47
Gambar 4. 8 Hasil pemotretan sudut kontak pada arester porselen.....	48
Gambar 4. 9 Hasil Pemotretan sudut kontak pada arester polimer.....	48
Gambar 4. 10 Perhitungan sudut kontak arester porselen	49
Gambar 4. 11 Perhitungan sudut kontak arester polimer.....	49

RINGKASAN

Muhammad Iqbal Bayhaqi Fauzy, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2015, Kajian Unjuk Kerja Kelistrikan Arester Porselen dan Arester Polimer pada Sistem Tegangan 20 kV, Dosen Pembimbing: Drs. Ir. Moch. Dhofir. MT, Ir. Teguh Utomo, MT.

Arester merupakan peralatan proteksi tegangan lebih terhadap surja petir. Sebagai alat proteksi, arester akan memotong tegangan lebih sebelum sampai pada peralatan listrik. Sehingga tegangan lebih yang masuk dalam peralatan masih di bawah BIL (*Basic Insulation Level*) peralatan listrik yang diamankan. Sebelumnya, PLN masih memakai arester porselen. Namun dengan perkembangan teknologi, arester polimer mulai digunakan. Alasan penggunaan arester polimer ditinjau dari proses pembuatan arester porselen yang memerlukan pembakaran dengan temperatur tinggi. Hal ini menyebabkan pemborosan energi dan menghasilkan polusi bagi lingkungan hidup. Dengan digunakannya arester polimer diharapkan dapat mengatasi masalah efisiensi energi dan masalah polusi bagi lingkungan hidup.

Skripsi ini bertujuan untuk meneliti kinerja arester porselen dan polimer ditinjau dari arus bocornya serta mengetahui bagaimana sifat permukaan kedua jenis arester. Pengujian dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Rangkaian yang digunakan untuk pengujian arus bocor dengan tegangan tinggi bolak-balik, hal ini lebih dikarenakan untuk merepresentasikan kondisi sebenarnya di lapangan dimana tegangan sistem yang digunakan pada saluran distribusi di Indonesia adalah menggunakan tegangan bolak-balik. Tegangan kerja yang dikenakan dinaikan secara bertahap. Pada setiap tahap tegangan kerja yang dikenakan diukur arus bocornya.

Pada pengujian arester dalam kondisi kering, nilai arus bocor yang terukur pada arester polimer lebih tinggi daripada nilai arus bocor pada arester porselen. Tercatat nilai arus bocor pada arester polimer pada pengujian dengan tegangan uji 5 kV sebesar $6.3 \mu\text{A}$. Sedangkan untuk nilai arus bocor pada arester porselen nilai tegangan uji yang sama tercatat sebesar $40.5 \mu\text{A}$. Untuk pengujian arester dalam kondisi basah, arester diuji menggunakan tegangan 5 kV-20 kV dengan berbagai tingkat pembasahan. Tingkat pembasahan yang digunakan adalah 2,75 – 4,02 liter/menit.

Dalam kondisi basah, pada nilai tegangan uji dan tingkat pembasahan yang sama, nilai arus bocor yang tercatat pada *microammeter* sebesar $6070 \mu\text{A}$ untuk arester porselen dan $38.38 \mu\text{A}$ untuk arester polimer. Meningkatnya nilai arus bocor pada arester porselen dikarenakan menurunnya nilai resistansi pada permukaan arester. Hal ini disebabkan sifat dari permukaan kedua arester berbeda. Pada pengujian sudut kontak kedua arester, diketahui bahwa arester porselen memiliki sudut kontak sebesar 24.529° . Sedangkan untuk arester polimer sudut kontaknya adalah 109.891° .

Kesimpulan yang dapat diambil dari skripsi ini adalah penggunaan arester polimer lebih baik daripada arester porselen. Hal ini disebabkan karena material polimer lebih bersifat hidrofobik. Sedangkan arester porselen lebih bersifat hidrofilik yang berarti bahwa permukaan arester polimer mudah dibasahi oleh air. Permukaan yang basah menyebabkan turunya resistansi permukaan arester.

Kata Kunci: arester, arus bocor, resistansi permukaan, sudut kontak.

SUMMARY

Muhammad Iqbal Bayhaqi Fauzy, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, in January 2015, *Assessment of Performance Electrical Porcelain arrester and Polymers arrester on Voltage System 20 kV*, Advisor lecture: Drs . Ir . Moch, Dhofir, M.T , Ir . Teguh Utomo, M.T .

Arrester is an overvoltage protection equipment against lightning surges. As a means of protection, arrester will cut off overvoltage before reaching the electrical equipment. So that the overvoltage included in the equipment is still under secured electrical equipment BIL (Basic Insulation Level). Previously, PLN were still wearing porcelain arrester. However, with the development of technology, polymer arrester began to be used. The reason for using a polymer arrester is in terms of the process of making porcelain that requires high-temperature combustion. The utilization of polymer arrester is expected to solve the issue of energy efficiency and pollution problems to the environment.

This thesis aims to examine the porcelain and polymer arrester performance in terms of leakage current and know how the surface properties of the two types of arrester. Tests conducted at the High Voltage Laboratory, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya. Circuit used for testing leakage current with high voltage alternating current, it is more due to represent actual field conditions where the voltage systems used in distribution channels in Indonesia are using an alternating voltage. Working voltage used is increased gradually. Currents leaking are measured at every stage of the working voltage used.

In dry conditions testing, the measured value of leakage current on polymer arrester is higher than the value of leakage current on porcelain arrester. The value of leakage current on polymer arrester on testing with a test voltage of 5 kV was recorded at 6.3 uA. As for the value of leakage current on porcelain arrester same test voltage value was recorded at 40.5 uA. For arrester testing in wet conditions, arrester is tested using the voltage of 5 kV-20 kV with varying degrees of wetting. Wetting level used is from 2.75 to 4.02 liters / min.

In wet conditions, the value of the test voltage and the same degree of wetting, leakage current value recorded in microampremeter at 6070 uA for arrester porcelain and 38.38 uA for polymer arrester. Increment of the value of leakage current on porcelain arrester is due to the declining value of the resistance on the surface of the arrester. This is due to the nature of the surface of different arrester. In testing the contact angle of the second arrester, noted that the arrester porcelain has a contact angle of $24\ 529^\circ$. As for the polymer arrester its contact angle is $109\ 891^\circ$..

The conclusions of this thesis is the use of polymer arrester better than porcelain arrester. This is because of the more hydrophobic polymer material. While porcelain arrester is more hydrophilic, which means that the surface of the polymer arrester is easily wetted by water. Wet surface caused a decline in surface resistance arrester.

Keywords: Arrester, Leakage current, surface resistance, contact angle

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Arester merupakan peralatan proteksi tegangan lebih terhadap surja petir. Sebagai alat proteksi, arester akan memotong tegangan lebih sebelum sampai pada peralatan listrik. Sehingga tegangan lebih yang masuk dalam peralatan masih di bawah BIL (*Basic Insulation Level*) peralatan listrik yang diamankan.

Ketika tegangan pada arester belum melebihi tegangan kerjanya, arester akan bertindak sebagai saklar yang terbuka. Apabila tegangan pada arester sudah melebihi tegangan kerjanya, maka arester akan bertindak sebagai saklar yang tertutup. Arestor akan memotong tegangan lebih serta mengalirkan tegangan lebih ke tanah.

Arester digunakan pada ruang terbuka, oleh karena itu performa kerja dari arester, sangat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti curah hujan, intensitas sambaran petir, polutan. Kota Malang merupakan daerah yang mempunyai intensitas hujan cukup tinggi. Rata-rata intensitas curah hujan di kota Malang adalah 1000-1500mm per tahun dengan kelembapan berkisar 68-96% (BMKG, 2014).

Intensitas hujan yang tinggi menyebabkan kekuatan dielektrik udara akan turun. Hal ini akan membahayakan arester karena dapat menyebabkan terjadinya tegangan lompatan api (*flashover*) pada arester. *Flashover* merupakan peristiwa kegagalan isolator mengisolir konduktor bertegangan dengan konduktor lain, sehingga terjadi aliran arus bocor melalui udara di sekitar permukaan arester. Saat hujan, resistansi pada permukaan arester akan turun. Turunnya nilai resistansi ini disebabkan karena pada permukaan arester akan terlapisi air hujan yang membuat tahanan arester semakin rendah. Rendahnya tahanan arester akan menimbulkan arus bocor pada permukaan arester akan meningkat. Sehingga dalam jangka waktu tertentu dapat menimbulkan tegangan *flashover* pada arester.

Sebelumnya, PLN masih memakai arester porselen. Namun dengan perkembangan teknologi, arester polimer mulai digunakan. Alasan penggunaan arester polimer ditinjau dari proses pembuatan arester porselen yang memerlukan pembakaran dengan temperatur tinggi. Hal ini menyebabkan pemborosan energi dan menghasilkan polusi bagi lingkungan hidup. Dengan digunakannya arester polimer diharapkan dapat mengatasi masalah efisiensi energi dan masalah polusi bagi lingkungan hidup.

Secara listrik, kinerja arester ditinjau dari arus bocor yang diamati pada kedua jenis arester. Arus bocor pada kedua arester ini diamati dengan mengubah variabel tingkat tegangan dan kebasahan. Dalam skripsi ini, arester porselen dan polimer dikondisikan dalam suatu ruang uji (*chamber*). Variabel tingkat tegangan dan kebasahannya diubah dan diukur tingkat arus bocor pada masing-masing arester. Bentuk permukaan arester berbeda, oleh karena itu juga akan diamati sudut kontak permukaan arester. Disamping itu akan diamati tingkat tahanan isolasi arester dalam kondisi bersih kering dan bersih basah.

Skripsi ini bertujuan untuk meneliti kinerja arester porselen dan polimer ditinjau dari arus bocornya serta mengetahui bagaimana sifat permukaan kedua jenis arester. Hasil penelitian ini, diharapkan menjadi referensi dalam mempertimbangkan penggunaan arester pada sistem tegangan 20 kV.

1.2 Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang diatas maka rumusan masalah yang disusun adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh kenaikan tingkat tegangan terhadap arus bocor arester porselen dan arester polimer.
2. Bagaimana pengaruh curah hujan terhadap arus bocor arester porselen dan arester polimer.
3. Bagaimana nilai sudut kontak permukaan pada arester porselen dan arester polimer saat kondisi basah.

1.3 Batasan Masalah

Karena luasnya objek pengkajian sehingga perlu adanya pembatasan masalah agar pembahasan lebih terfokus pada rumusan masalah. Adapun batasan masalah pada skripsi ini adalah :

1. Dalam pengujian ini, jenis arester yang digunakan adalah arester berbahan porselen dan polimer untuk sistem tegangan 20 kV.
2. Tidak membahas waktu titik potong tegangan lebih akibat surja hubung
3. Pada Pengujian arester dilakukan di laboratorium tegangan tinggi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya Malang.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah mengamati karakteristik nilai arus bocor dan mengetahui sifat permukaan arester melalui pengujian sudut kontak permukaan pada arester berbahan porselen dan arester polimer.

1.5 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dari penulisan skripsi ini adalah:

BAB I Pendahuluan

Menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika pembahasan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Di bab ini akan dijelaskan dasar teori tentang arester secara umum, karakteristik arester, arus bocor, dan juga nilai sudut kontak permukaan arester.

BAB III Metode Penelitian

Membahas tentang tahap-tahap pengujian arester, cara mengondisikan *chamber* agar sesuai dengan keadaan yang diinginkan, rangkaian pengujian, tahap pengambilan parameter uji arus bocor dan nilai sudut kontak permukaan arester, serta sistematika penulisan yang memberikan gambaran perlunya penelitian ini.

BAB IV Hasil Penelitian dan Pembahasan

Membahas hasil pengujian yang disajikan dalam bentuk tabel maupun grafik.

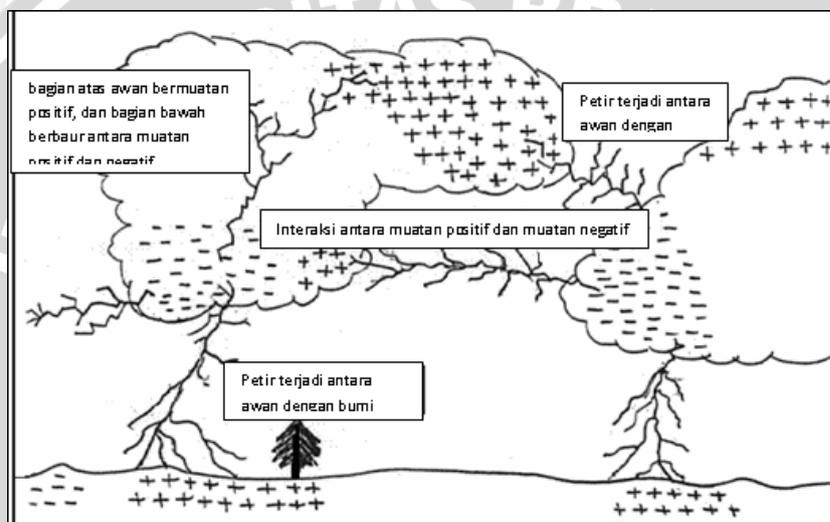
BAB V Kesimpulan dan Saran

Menjelaskan tentang pengambilan kesimpulan sesuai dengan hasil pengujian serta saran-saran yang diperlukan untuk melakukan perkembangan penelitian selanjutnya.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sambaran Petir

Petir adalah pelepasan muatan yang terjadi antara awan, dalam awan atau antara awan dengan tanah. dimana dalam awan terdapat muatan positif dan muatan negatif, jika muatan ini senama bertemu maka akan terjadi tarik menarik yang dapat menimbulkan ledakan/kilat di awan, begitu juga kalau muatan negatif dan muatan positif dekat akan terjadi tolak menolak, juga akan terjadi ledakan/kilat.



Gambar 2. 1 Proses terjadinya sambaran petir

Sumber : Hutaaruk, T. S : 1989

Bumi adalah sebagai gudang muatan positif maupun negatif, jika pelepasan muatan dari petir dekat dengan bumi, maka akan terjadi sambaran petir ke bumi. Seperti terlihat pada Gambar 2.1 di atas. Bila petir mengenai langsung ke penghantar SUTM, kemungkinan besar penghantar tersebut akan putus karena gelombang petir yang menimbulkan tegangan impuls yang melebihi BIL (*Basic Insulation Level*) dari penghantar SUTM. Apabila petir yang mengenai SUTM bukan sambaran langsung tetapi induksi dari petir, gelombang petir itu akan bergerak menjalar ke segala arah dengan perkataan lain terjadi gelombang berjalan sepanjang jaringan yang menuju suatu titik lain yang dapat menetralkan arus petir tersebut yaitu menuju ke titik pentanahan

Kelebihan tegangan yang disebabkan petir disebabkan oleh sambaran langsung atau sambaran tidak langsung (induksi) dapat dijelaskan sebagai berikut:

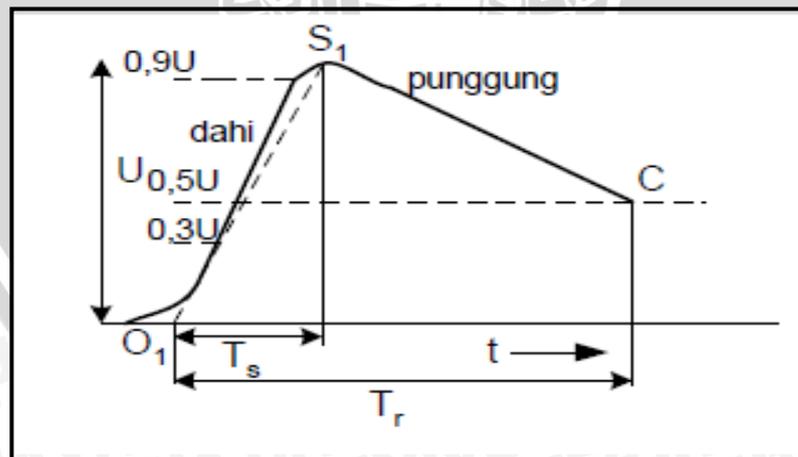
- Sambaran Langsung

Sambaran langsung yang mengenai rel dan peralatan adalah yang paling hebat diantara gelombang berjalan lainnya yang datang ke Peralatan. Sambaran langsung menyebabkan tegangan lebih yang sangat tinggi yang tidak mungkin dapat ditahan oleh isolasi yang ada ($> BIL$)

- Sambaran Induksi

Bila terjadi sambaran kilat ke tanah di dekat saluran maka akan terjadi fenomena transien yang diakibatkan oleh medan elektromagnetis dari kanal kilat. Fenomena kilat ini terjadi pada kawat penghantar. Akibat dari kejadian ini timbul tegangan lebih dan gelombang berjalan yang merambat pada kedua sisi kawat tempat sambaran berlangsung. Tegangan induksi dapat berubah-ubah tergantung dari keadaannya, secara umum besar tegangan lebih akibat sambaran induksi antara 100 – 200 kV, muka gelombangnya (*wave front*) lebih dari 10 μ s dan ekor gelombang (*wave tail*) 50 – 100 μ s, dimana gelombang ini sebagai ancaman bagi peralatan distribusi.

Bentuk gelombang surja petir (tegangan impuls) terlihat pada Gambar 2.2 dibawah ini, dengan T_s (waktu muka gelombang), T_r (waktu punggung gelombang) dan U (tegangan puncak). Untuk sambaran langsung besarnya $T_s = 1.2 \mu$ s, $T_r = 50 \mu$ s dan tegangan puncak $U =$ mendekati 300 kV, sambaran induksi besar $T_s = 10 \mu$ s, $T_r = 50 - 100 \mu$ s dan $U = 100 - 200$ kV



Gambar 2. 2 Tegangan impuls petir standar

Sumber : Arismunandar, A : 1978

Dimana :

T_s = waktu muka gelombang = 1,2 μ s

T_r = waktu punggung gelombang = 50 μ s

U = tegangan puncak (kV)

2.2 Tegangan Lebih dengan Frekuensi Jala-jala

Tegangan lebih dengan frekuensi jala-jala dibagi atas:

- Penutupan / pembukaan trafo yang tidak bersamaan
- Kenaikan tegangan dari fasa sehat pada waktu gangguan satu fasa ke tanah pada sistem.
- Tegangan yang terjadi akibat beban lepas.
- Hubungan kabel tanpa beban

Meskipun banyak macamnya, tetapi pada umumnya tegangan abnormal yang terjadi pada sistem tenaga listrik diperkirakan tidak sebesar surja petir dan surja hubung, sehingga perencanaan isolasi peralatan kebanyakan didasarkan pada kedua surja ini.

2.3 Kerusakan Akibat Kelebihan Tegangan

- Tegangan tembus luar (*External Flashover*) merusak arester, bagian permukaan peralatan. Ini disebabkan oleh amplitude gelombang datang.
- Tegangan tembus dalam (*Internal Flashover*), merusak isolasi utama dari peralatan ke tanah, merusak isolasi antara bagian-bagian dalam peralatan (isolasi antara gulungan dari trafo). Ini disebabkan oleh kecuraman gelombang datang.
- Tegangan tembus luar dan dalam (*Internal and External Flashover*) yang mungkin terjadi akibat osilasi yang terjadi pada peralatan. Ini disebabkan oleh kecuraman gelombang datang dengan ekor gelombang yang panjang.

2.4 Penanggulangan Kelebihan Tegangan

Untuk memberikan perlindungan pada peralatan listrik terhadap kelebihan tegangan berupa surja petir maka dipasang alat pelindung (*Protective Device*). Alat pelindung terhadap kelebihan tegangan berfungsi melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi kelebihan tegangan yang datang dan mengalirkan ke

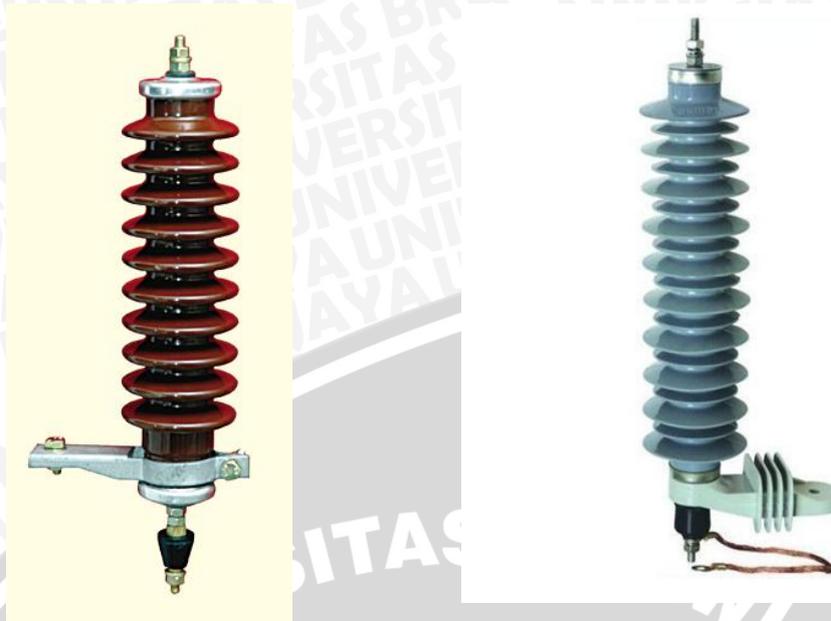
tanah. Berhubungan dengan fungsinya tersebut, maka alat pelindung harus dapat menahan tegangan sistem dalam waktu yang tak terbatas dan harus dapat melewati surja arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan.

Alat pelindung yang baik mempunyai perbandingan perlindungan atau *protective ratio* yang tinggi, yaitu perbandingan antara tegangan surja maksimum yang diperbolehkan sewaktu pelepasan (*discharge*) dan tegangan sistem maksimum yang ditahan sesudah pelepasan terjadi.

2.5 Arester (*Lightning Arrester*)

Arester atau biasa juga disebut *Lightning Arrester* adalah suatu alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surja petir (*surge*) dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah. Dipasang di dekat peralatan yang dihubungkan dari fasa konduktor ke tanah. Sesuai dengan fungsinya maka arester harus dapat menahan tegangan sistem pada frekuensi 50 Hz untuk waktu yang terbatas dan harus dapat melewati surja arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan pada arester itu sendiri. Arester berlaku sebagai jalan pintas di sekitar isolasi.

Arester membentuk jalan yang mudah untuk dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang nilainya tinggi pada peralatan. Selain melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih eksternal, arester juga melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih internal seperti surja hubung. Surja hubung merupakan suatu gangguan tegangan lebih yang muncul secara internal yang disebabkan oleh lepas beban (karena gangguan alam) dan fluktuasi beban. Selain itu arester juga merupakan kunci dalam koordinasi isolasi suatu sistem tenaga listrik. Bila surja hubung datang ke gardu induk maka arester akan bekerja melepaskan muatan listrik serta mengurangi tegangan abnormal yang mengenai peralatan dalam gardu induk. *Lightning arrester* bekerja pada tegangan tertentu di atas tegangan operasi untuk membuang muatan listrik dari surja petir dan berhenti beroperasi pada tegangan tertentu di atas tegangan operasi agar tidak terjadi arus pada tegangan operasi, dan perbandingan dua tegangan ini disebut rasio proteksi arester. Tingkat isolasi bahan arester harus berada di bawah tingkat isolasi bahan transformator agar apabila sampai terjadi flashover, maka flashover diharapkan terjadi pada arester dan tidak pada transformator.



Gambar 2. 3 arester dengan housing porselen dan arester dengan housing polimer
Sumber : Hinrichsen, V. 2011

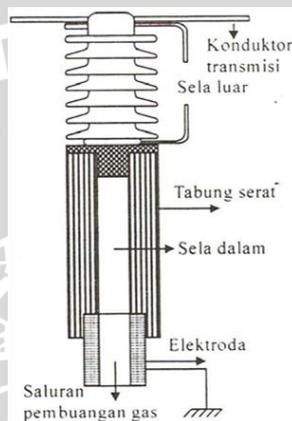
2.6 Prinsip Kerja Arestor

Pada umumnya prinsip kerja arester cukup sederhana yaitu membentuk jalan yang mudah dilalui oleh petir, sehingga tidak timbul tegangan yang lebih tinggi pada peralatan listrik lainnya. Pada kondisi kerja yang normal, arester berlaku sebagai isolasi tetapi bila timbul surja akibat adanya petir maka arester akan berlaku sebagai konduktor yang berfungsi melewatkan aliran arus yang tinggi ke tanah. Setelah tegangan surja itu hilang maka arester harus dengan cepat kembali berlaku sebagai isolator, sehingga pemutus tenaga (PMT) tidak sempat membuka. Pada kondisi yang normal (tidak terkena petir), arus bocor arester tidak boleh melebihi 2 mA. Apabila melebihi angka tersebut, berarti kemungkinan besar arester mengalami kerusakan.

2.7 Arester Jenis Tabung (*Proctector Tube*)

Arester ini merupakan tabung yang terdiri dari :

- Dinding tabung yang terbuat dari bahan yang mudah menghasilkan gas jika dilalui arus (bahan fiber).
- Sela batang (*external series*) yang biasanya diletakkan pada arester porselen, untuk mencegah arus mengalir dan membakar fiber pada tegangan jala-jala setelah gangguan diatasi.
- Sela pemutus bunga api diletakkan didalam tabung salah satu elektroda dihubungkan ke tanah.



Gambar 2. 4 Elemen-elemen lightning arester jenis ekspulsi

Sumber : Arismunandar, A : 1982

Setiap kawat fasa mempunyai tabung pelindung. Pada waktu tegangan terpa melalui sela batang dan sela bunga api maka impedansi tabung akan menjadi rendah sehingga arus terpa dan arus sistem mengalir ketanah. Tegangan diantara saluran dengan tanah turun setelah tembus terjadi.

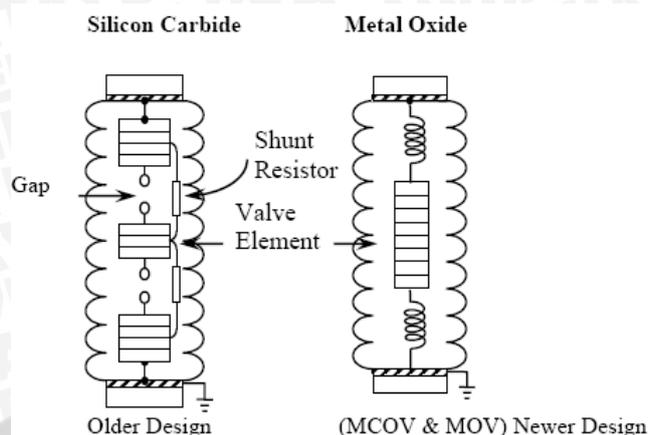
Arus yang mengalir akan membakar fiber dan menghasilkan gas yang bergerak cepat kearah lubang pembuangan dibagian bawah arester. Tekanan gas ini akan mematikan bunga api pada saat arus melalui titik nol pertamanya. Waktu pemadaman busur api ini hanya setengah atau satu siklus sehingga RRV (*Rate of Recovering Voltage*) lebih lambat dari *rate of rise* kekuatan dielektrik isolasi. Beda waktu ini cukup pendek untuk dapat dibaca oleh rele pelindung sehingga CB (*Circuit Breaker*) tetap bekerja (tertutup) dan pelayanan daya tidak terganggu. Segera setelah gas ditekan keluar dan api menjadi padam sistem dapat bekerja kembali dengan normal.

2.8 Arester Tipe Tahanan Tak Linear (*Non Linear Type Lightning Arrester*)

1. Jenis *Silicon Carbide* (SiC)

Arester ini terdiri dari beberapa sela yang tersusun seri dengan piringan-piringan tahanan, dimana tahanan ini mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- Harga tahanannya turun dengan cepat pada saat arus terpa mengalir sehingga tegangan antara terminal arester tidak terlalu besar dan harga tahanan naik kembali jika arus terpa sudah lewat sehingga memotong arus ikutan pada titik nol pertamanya. Sela api (*sparks gap*) dan tahanan disusun secara seri dan ditempatkan di dalam rumah porselen kedap air sehingga terlindung dari kelembapan, pengotoran, dan hujan.
- Distribusi tegangan yang tidak merata diantara celah sela api (*sparks gap*) menimbulkan masalah. Untuk mengatasi ini dipasang kapasitor dan tahanan non linear paralel dengan sela api. Pada daerah tegangan yang lebih tinggi kapasitor dan tahanan linear dihubungkan secara paralel dengan badan celah. Bila tegangan lebih menyebabkan loncatan bunga api pada celah-celah yang dipasang seri, arus akan sangat tinggi untuk mempercepat redanya tegangan lebih.
- Tegangan tertinggi yang akan muncul pada penangkal petir adalah tegangan loncatan atau tegangan yang terjadi pada tahanan tak linear pada saat lonjakan arus mengalir. Tegangan loncatan bunga api terendah dari penangkal disebut tegangan loncatan pulsa bunga api seratus persen (*Maximum 100% Impulse Spark Over Voltage*). Tegangan yang dibangkitkan tahanan non linear pada saat arus loncatan mengalir disebut tegangan residu. Semakin rendah harga-harga ini semakin baik tingkat perlindungan pada peralatan.
- Arus bocor yang mengalir melalui tahanan dalam dalam keadaan operasi normal dari sistem tidak melebihi 0,1 mA. Arus ini sudah cukup untuk mempertahankan temperatur dibagian dalam arester lima derajat lebih tinggi dari temperature sekeliling sehingga mencegah masuknya uap air kebagian dalam arester. Gambar arester jenis ini diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Elemen-elemen arester jenis Silicon Carbide dan Metal Oxide
Sumber : M.S. Naidu, V. Kamaraju : 2004

2. Jenis *Metal Oxide* (MOV)

Arester jenis *Metal Oxide* hanya terdiri dari unit-unit tahanan tak linear yang terhubung satu sama lainnya tanpa memakai sela percik pada setiap unit. Untuk arester jenis *Metal Oxide* material tahanan tak linear pada dasarnya porselen yang dibentuk dari oksida seng (ZnO) dengan penambahan oksida lain. Bahan ini telah banyak dipakai untuk perlindungan rangkaian-rangkaian yang bekerja pada beberapa kV sampai dengan tegangan transmisi.

2.9 Bahan-bahan Isolasi

Bahan isolasi yang biasa digunakan pada arester yang dioperasikan pada tegangan tinggi adalah berbahan porselen, bahan gelas, serta bahan polimer.

2.9.1 Bahan Porselen

Porselen terbuat dari tanah liat china (china clay) yang terdapat di alam dalam bentuk aluminium silikat. Bahan tersebut dicampur kaolin, feldspar, dan quartz. Kemudian campuran ini dipanaskan dalam tungku yang suhunya dapat diatur. Bahan porselen dibakar sampai keras, halus, mengkilat, dan bebas dari lubang-lubang.

Untuk mendapatkan sifat-sifat listrik dan sifat mekanis yang baik, harus dipilih suhu pemrosesan bahan isolasi yang sesuai, karena jika bahan isolasi diproses pada suhu yang agak rendah sifat mekanisnya baik tetapi bahan tetap berlubang-lubang. Sedangkan jika diproses pada suhu yang tinggi, lubang-lubangnya berkurang tetapi bahan menjadi rapuh. Arester porselen yang baik

secara mekanis mempunyai kuat dielektrik kira-kira 60 kV/cm, kuat tekan dan kuat tariknya masing-masing 70.000 kg/cm², dan 500 kg/cm². (Andang, A : 2006)

Beberapa kelebihan arester porselen/keramik antara lain:

1. Stabil

Adanya ikatan ionik yang kuat antar atom yang menyusun keramik, seperti silikon dan oksigen dalam silica dan silicates, membuat strukturnya sangat stabil dan tidak mengalami degradasi karena pengaruh lingkungan. Ini berarti bahwa arester porselen tidak akan rusak karena pengaruh UV, kelembaban, aktivitas elektrik, dsb.

2. Mempunyai kekuatan mekanik yang baik

Merupakan cirri alami bahwa bahan porslen mempunyai sifat mekanik yang kuat, sehingga pada pemakaian arester porselen tidak memerlukan material lain untuk menyokongnya.

3. Harganya relatif murah

Penyusun porselen seperti clay, feldspar, dan quartz harganya relatif murah dan persediannya melimpah.

4. Tahan lama

Proses pembuatan porselen yang terdiri dari beberapa proses seperti pencetakan dan pembakaran dalam mengurangi kadar air menyebabkan porselen mempunyai sifat awet.

Disamping kelebihan-kelebihan di atas, arester porselen mempunyai beberapa kekurangan, antara lain:

1. Mudah pecah

Arester porselen rentan pecah pada saat dibawa maupun instalasi. Vandalisme merupakan faktor utama yang menyebabkan isolator pecah.

2. Berat

Salah satu sifat dari porselen adalah mempunyai massa yang berat. Oleh karenanya, pada arester porselen berukuran besar dan berat biasanya mahal karena biaya yang dikeluarkan untuk pengiriman dan instalasi.

3. Berlubang akibat pembuatan kurang sempurna
Pada arester porselen yang berlubang dapat menyebabkan terjadinya tembus internal.
4. Bentuk geometri kompleks
Porselen relatif mempunyai karakteristik jarak rambat yang kecil, oleh karenanya untuk memperpanjang jarak rambat tidak dilakukan dengan memperbesar diameter atau memperpanjang arester melainkan mendesain isolator dengan membuat shed-shed. Hal ini membuat bentuknya menjadi kompleks.
5. Mudah terpolusi
Permukaan porselen bersifat hidrofilik, yang berarti bahwa permukaan porselen mudah untuk menangkap air, sehingga pada kondisi lingkungan yang berpolusi mudah untuk terbentuk lapisan konduktif dipermukaannya. Hal ini yang dapat menyebabkan kegagalan isolasi yaitu *flashover*.

2.9.2 Bahan Polimer

Bahan polimer telah dipakai selama kurang lebih 50 tahun dan mengalami perkembangan pesat dibanding bahan lainnya. Pada tahun 1940 telah dipakai bisphenol epoxy resin untuk arester dalam, cycloaliphatic epoxy untuk arester luar (1950). Selanjutnya terjadi perkembangan pesat dalam pemakaian polimer untuk bahan isolator dan dibuat untuk skala komersial. *Ethylene Propylene Rubber* (EPR) dibuat oleh Ceraver, Francis (1975), Ohio Brass, USA (1976), Sedivar, USA (1977), dan Lapp, USA (1980). *Silicone Rubber* (SIR) dibuat oleh Rosenthal, Jerman (1976) dan Reliable, USA (1983), serta penggunaan *cycloaliphatic epoxy* pada jaringan transmisi di United Kingdom (1977).

Arester polimer telah digunakan di beberapa negara lebih dari tiga dekade sebagai alternatif pengganti arester porselen dan gelas. Arester polimer menunjukkan performansi yang bagus pada beberapa kondisi, terutama untuk daerah berpolusi. Beberapa kelebihan yang dimiliki oleh arester polimer:

1. Ringan
kepadatan material polimer lebih rendah dibandingkan keramik maupun gelas, hal ini menyebabkan arester polimer ringan, sehingga mudah dalam penanganan maupun instalasi.
2. Bentuk geometri sederhana
karena mempunyai karakteristik jarak rambat yang relatif besar menyebabkan desain arester polimer sederhana.
3. Tahan terhadap polusi
karena bahan polimer mempunyai sifat hidrophobik (menolak air) yang baik. Sehingga air atau kotoran lainnya akan sukar menempel pada permukaannya meskipun dioperasikan pada kondisi lingkungan yang berpolusi maka arester polimer mempunyai ketahanan tegangan lewat-denyar yang baik.
4. Waktu pembuatan lebih singkat
dibandingkan dengan arester porselen, namun tidak mengurangi performansinya.
5. Tidak terdapat lubang karena pembuatan
karena sifat polimer yang berbeda dengan porselen dalam hal pembuatannya. Sehingga memungkinkan tidak terjadinya tembus internal.

Sedangkan kekurangan yang dimiliki oleh arester polimer adalah:

1. Penuaan/degradasi
pada permukaannya (*surface ageing*), stress yang disebabkan antara lain karena korona, radiasi UV atau zat kimia dapat menyebabkan reaksi kimia pada permukaan polimer. Sehingga dapat merusak permukaan polimer (penuaan) yang dapat menghilangkan sifat hidrofobiknya.
2. Mahal
penyusun polimer lebih mahal dibandingkan dengan porselen maupun gelas.

3. Kekuatan mekaniknya kecil
Arester polimer tidak mampu untuk menyokong dirinya sendiri. Oleh karenanya dalam instalasi dibutuhkan peralatan lain seperti jaket (*oversheath*) sebagai penyokongnya.
4. Kompabilitas material
produk polimer mempunyai interface lebih dari satu sumbu bergantung pada fungsi dan desainnya. Apabila terdapat banyak interface menyebabkan pengaruh penting pada perekatnya. Oleh karenanya harus diketahui dengan jelas sebelum menggunakan arester polimer, sebab dapat menimbulkan korosi atau retakan apabila formulasinya tidak sesuai.

2.10 Tegangan Nominal atau Tegangan Pengenal (*Nominal Voltage Arrester*)

Adalah tegangan dimana arester masih dapat bekerja sesuai dengan karakteristiknya. Arestor tidak dapat bekerja pada tegangan maksimum sistem yang direncanakan, tetapi mampu memutuskan arus ikutan dari sistem secara efektif. Tegangan pengenal dari arester harus lebih tinggi dari tegangan fasa sehat ketanah, jika tidak demikian maka arester akan melewatkan arus ikutan sistem terlalu besar yang menyebabkan arester rusak akibat beban lebih termis (*thermal overloading*). Tegangan tertinggi sebagai berikut: (Arismunandar, Wiranto, 1997)

- Tegangan sistem tertinggi (*system highest voltage*), umumnya diambil harga 110% dari harga tegangan nominal sistem.
- Koefisien pentanahan, didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan rms fasa sehat ke tanah dalam keadaan gangguan pada tempat dimana arester dipasang, dengan tegangan rms fasa ke fasa tertinggi dari sistem dalam keadaan tidak ada gangguan. Jadi tegangan pengenal dari arester (*arrester rating*) adalah tegangan rms fasa ke fasa $\times 1,10 \times$ koefisien pentanahan.
- Sistem yang ditanahkan langsung koefisien pentanahannya 0,8 \times Arestor disebut arester 80%. Sistem yang tidak ditanahkan langsung koefisien pentanahannya 1,0. Arestor ini disebut arester 100%.

2.11 Arus Pelepasan Nominal (*Nominal Discharge Current*)

Adalah arus pelepasan dengan harga puncak dan bentuk gelombang tertentu yang digunakan untuk menentukan kelas dari arester sesuai dengan:

- Kemampuan melewatkan arus
- Karakteristik Perlindungan

Bentuk gelombang arus pelepasan tersebut adalah:

- a. Menurut standar Inggris/Eropa (IEC) $8 \mu\text{s} / 20 \mu\text{s}$
- b. Menurut standar Amerika $10 \mu\text{s} / 20 \mu\text{s}$ dengan kelas:
 - Kelas Arus 10 kA untuk perlindungan Peralatan besar dengan frekuensi sambaran petir yang cukup tinggi dengan tegangan sistem diatas 70 kV.
 - Kelas arus 5 kA untuk tegangan sistem dibawah 70 kV.
 - Kelas 2,5 kA untuk gardu-gardu kecil dengan tegangan sistem dibawah 22 kV.
 - Kelas arus 1,5 kA untuk melindungi trafo-trafo kecil.

2.12 Tegangan Percik Impuls 100 % (*100 % Impulse Spark Over Voltage*)

Adalah tegangan gelombang impuls tertinggi yang terjadi pada terminal arester sebelum arester itu bekerja. Bentuk gelombang impuls petir seperti pada gambar 2.2 dan untuk tipe gelombang adalah $1,2 \mu\text{s} / 50 \mu\text{s}$. Hal ini menunjukkan bahwa jika tegangan puncak terpa petir yang datang mempunyai harga yang lebih tinggi atau sama dengan tegangan percik minimum dari arester, maka arester ini akan bekerja memotong terpa petir tersebut dan mengalirkan ke tanah.

2.13 Tegangan Sisa (*Residual Voltage*)

Adalah tegangan yang timbul diantara terminal arester pada saat arus pelepasan mengalir ke tanah. Tegangan sisa dan tegangan nominal dari suatu arester tergantung kepada kecuraman gelombang arus yang datang (di/dt dalam $A / \mu\text{s}$) dan amplitudo dari arus pelepasan. Untuk menentukan tegangan sisa ini digunakan impuls arus sebesar $8 \mu\text{s} / 20 \mu\text{s}$ (standar IEC) dengan harga puncak arus pelepasan 5 kA dan 10 kA. Untuk harga arus pelepasan yang lebih tinggi maka tegangan sisa ini tidak akan naik lebih tinggi lagi. Hal ini disebabkan karena karakteristik tahanan yang tidak linear dari arester. Umumnya tegangan sisa tidak akan melebihi BIL (*Basic Insulation Level* =

Tingkat Isolasi Dasar = TID) dari peralatan yang dilindungi walaupun arus pelepasan maksimum mencapai 65 kA hingga 100 kA.

2.14 Arus Pelepasan Maksimum (*Maximum Discharge Current*)

Adalah arus terpa maksimum yang dapat mengalir melalui penangkap petir setelah tembusnya sela seri tanpa merusak atau merubah karakteristik dari arester.

2.15 Tegangan Percikan Frekuensi Jala-jala (*Power Frequency Spark Over Voltage*)

Arester tidak boleh bekerja pada gangguan lebih dalam (*internal over voltage*) dengan amplitude yang rendah karena dapat membahayakan sistem. Untuk alasan ini maka ditentukan tegangan percikan frekuensi jala-jala minimum.

- Menurut standar Inggris tegangan percikan jala-jala minimum = $1,6 \times$ tegangan pengenalan arester.
- Menurut Standar IEC (*International Electrotechnical Commission*) tegangan percikan jala-jala minimum adalah = $1,5 \times$ tegangan pengenalan arester.

2.16 Tegangan Percikan Akibat Pensaklaran (*Spark Over Voltage by Switching Over Voltage*)

Tegangan percik pada celah seri akibat terkenal gangguan tegangan lebih oleh proses pensaklaran oleh peralatan penghubung (*switchgear*). Karakteristik gelombang impuls surja hubung dinyatakan dengan $250 / 2500 \mu s$.

2.17 Karakteristik Arester Ideal

Sebuah arester memiliki 4 karakter yang menjadi indikasi bahwa arester dapat bekerja secara sempurna yaitu: (Tobing, Bonggas L : 2003)

1. Pada tegangan sistem yang normal arester tak boleh bekerja. Tegangan tembus arester pada frekuensi jala – jala harus lebih tinggi dari tegangan lebih sempurna yang mungkin terjadi pada sistem.
2. Setiap gelombang transien dengan tegangan puncak yang lebih tinggi dari tegangan tembus arester (U_A) arester harus mampu bekerja untuk mengalirkan arus ke tanah.

3. Arester harus mampu melewati arus terpa ke tanah tanpa merusak arester itu sendiri dan tanpa menyebabkan tegangan pada terminal arester lebih tinggi dari tegangan sumbernya sendiri.
4. Arus dari sistem normal tidak boleh mengalir ke tanah setelah gangguan diatasi (*follow current*). Arus ikutan harus dipotong begitu gangguan telah lalu dan tegangan kembali normal.

2.18 Lokasi Pemasangan Arester

Umumnya alat-alat pelindungan harus diletakkan sedekat mungkin dengan peralatan yang akan dilindungi, terutama pada ujung distribusi dimana terdapat gardu atau trafo.

Karena biaya yang mahal maka tidak mungkin memasang arester pada setiap peralatan di gardu untuk melindungi peralatan tersebut. Hal ini tidak perlu dilakukan karena ada faktor perlindungan dari alat pelindungan dari arester, oleh karena itu hanya peralatan yang penting saja yang dilengkapi dengan arester. Transformator merupakan peralatan yang paling mahal dan yang paling penting pada sebuah gardu. Jika trafo rusak maka perbaikan / pergantiannya akan mahal, membutuhkan waktu yang lama, dan juga kerugian akibat terputusnya daya cukup besar.

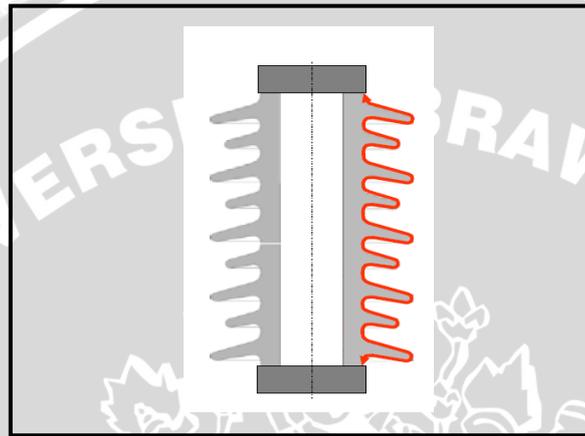
Selain itu trafo adalah ujung terminal dari suatu transmisi, tempat paling sering terjadi pemantulan gelombang. Pada sistem diatas 220 kV TID dari transformator dapat diperendah pada batas-batas yang diizinkan untuk memperkecil biaya isolasi. Karena alasan-alasan tersebut diatas maka arester pada peralatan umumnya dipasang pada terminal trafo daya.

Arester berfungsi sebagai *by-pass* di sekitar lokasi yang membentuk jalan dengan mudah dilalui oleh tegangan lebih ke sistem pentanahan sehingga tidak menimbulkan tegangan lebih yang tidak merusak peralatan isolasi listrik. *By-pass* ini sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran frekuensi 50 Hz.

Pada keadaan normal arester berlaku sebagai isolator, bila timbul gangguan surja, alat ini berfungsi sebagai konduktor yang tahanannya relatif rendah agar dapat mengalirkan arus yang tinggi ke tanah. Setelah surja hilang, arester dengan cepat kembali menjadi isolasi.

2.19 Jarak Rambat

Jarak rambat adalah jarak terpendek antara konduktor pada kap dan pin melalui permukaan arester. Jarak rambat pada arester berkisaran antara 295 sampai 600 mm. Jarak rambat arester yang akan digunakan tergantung pada jarak rambat spesifik dan tegangan nominal sistem di mana arester akan dipasang. Pedoman untuk menentukan jarak rambat arester yang akan digunakan tergantung dari tingkat bobot polusi daerah dimana arester akan dipasang.



Gambar 2. 6 Jarak rambat suatu arester
Sumber : E. Kuffel, W.S : 2005

Jarak rambat spesifik merupakan perbandingan dari jarak rambat dalam satuan mm dengan tegangan *line to line* sistem dalam satuan kV. Gradien permukaan yang direkomendasikan oleh IEC 815 pada setiap tingkat bobot polusi dapat dilihat pada Tabel 2.1 (Hinrichsen, V : 2011)

Tabel 2. 1 Tegangan Tembus pada Setiap Tingkat Polusi

Tingkat Polusi	Tegangan tembus (mm/kV)
Ringan	16
Sedang	20
Berat	25
Sangat Berat	31

Berdasarkan standar IEC 815, bobot polusi arester ditetapkan 4 tingkat, yaitu ringan, sedang, berat, dan sangat berat. Ada banyak metode untuk menentukan bobot polusi arester. 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 arester dengan metode tinjauan lapangan ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2. 2 Tingkat Polusi Dilihat dari Lingkungannya Berdasarkan IEC 815

Tingkat Polusi	Contoh Lingkungan
Ringan	<ul style="list-style-type: none"> • daerah dengan sedikit industri dan rumah penduduk dengan sarana pembakaran rendah. • daerah pertanian (penggunaan pupuk dapat meningkatkan bobot polusi) dan pegunungan. • daerah dengan jarak 10 km atau lebih dari laut dan tidak ada angin laut yang berhembus . <p>Cat: daerah-daerah di atas terletak kira-kira 10 sampai 20 km dari laut dan tidak terpapar angin laut secara langsung.</p>
Sedang	<ul style="list-style-type: none"> • daerah dengan industri yang tidak menghasilkan polusi gas. • daerah banyak industri dan/atau perumahan yang sering hujan dan/atau berangin. • daerah yang tidak terlalu dekat dengan pantai kira-kira beberapa kilometer.
Berat	<ul style="list-style-type: none"> • daerah banyak industri dan perkotaan dengan sarana pembakaran yang tinggi. • daerah dekat dengan laut dan terpapar angin laut secara langsung.
Sangat Berat	<ul style="list-style-type: none"> • daerah dekat pantai dan terkena air laut. • daerah padang pasir.

2.20 Arus Bocor (*Leakage Current*)

Arus bocor permukaan bahan arester saluran udara pasangan luar tergantung dari kondisi polutan yang menyebabkan kontaminasi permukaan. Polutan dapat berasal dari daerah pinggir laut / pantai, industri, debu vulkanik, tergantung pada iklim dan kondisi cuaca. Pembasahan lapisan kontaminasi oleh karena kelembaban yang tinggi, butir-butir air, mengakibatkan elektrolit yang konduktif, sehingga resistansi permukaan akan menjadi kecil, dan kemudian akan mengalir arus bocor permukaan. Arus bocor ini memberikan informasi tentang kuantitas kontaminasi dari polutan pada permukaan, juga menentukan bagaimana pengaruh kinerja lewat denyarnya. Lewat denyar terjadi karena peluahan pada pita kering melalui permukaan yang basah sebelum tegangan sama dengan nol. Jika arus bocor cukup tinggi terjadi peluahan terus menerus yang akhirnya timbul lompatan api (lewat denyar).

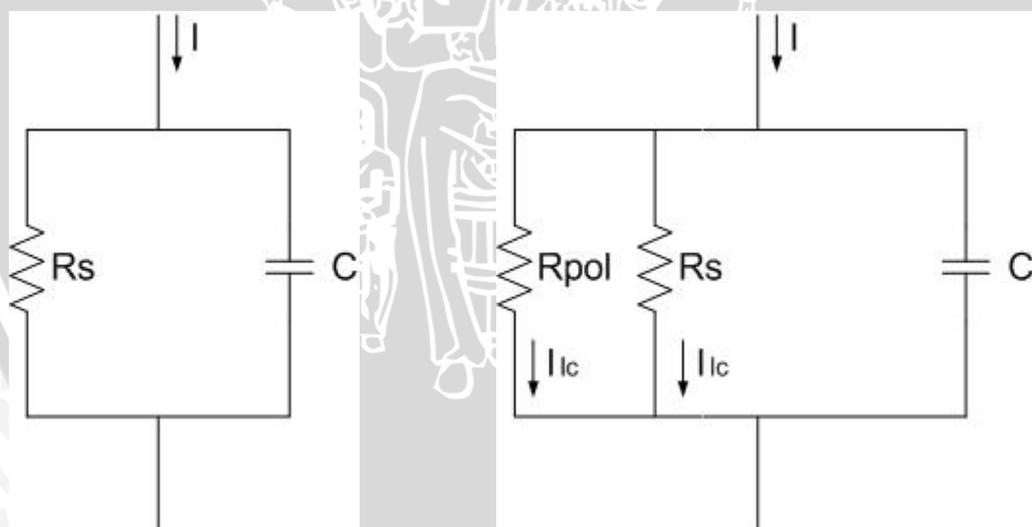
Semua arester dirancang sedemikian hingga tegangan tembus listriknnya jauh lebih tinggi dari tegangan tembusnya. Kekuatan dielektrik dan nilai tegangan yang dapat ditahan oleh arester tanpa terjadi lewat denyar dapat diperkirakan dari tiga karakteristik dasar arester, yaitu tegangan tembus bolak balik pada keadaan kering, tegangan tembus bolak balik pada keadaan basah, dan karakteristik tegangan-waktu yang diperoleh dari tegangan surja standar. Tegangan tembus bolak-balik digunakan untuk memperkirakan kekuatan elektrik arester jika memikul tegangan lebih internal.

2.21 Perhitungan Arus Bocor

Tegangan yang dipikul arester adalah tegangan AC, selain arus yang melalui permukaan arester ada dua arus lagi yang melewati arester yaitu arus yang melewati bagian dalam arester dan arus kapasitif. Arus yang melalui permukaan disebut arus permukaan, sedangkan hambatan yang dilalui arus ini disebut tahanan permukaan. Arus yang melalui bagian dalam arester disebut arus volume dan hambatan yang dialami arus tersebut disebut tahanan volume. Besarnya tahanan volume dipengaruhi oleh bahan arester yang digunakan, sedangkan besarnya tahanan permukaan dipengaruhi oleh kondisi dari permukaan arester. Jumlah arus volume dan arus permukaan disebut arus bocor. Arus kapasitif terjadi karena adanya kapasitansi yang dibentuk oleh bahan dielektrik dengan logam yang ada pada arester. Merujuk pada Gambar 2.7 yang menunjukkan arus permukaan, arus volume dan arus kapasitif yang mengalir pada arester.

Resistansi permukaan arester dapat bervariasi, bergantung pada material yang digunakan pada permukaan arester. Keadaan iklim, daerah pemasangan arester serta kelembaban udara menjadi faktor yang mempengaruhi besar tahanan permukaan arester. Kondisi permukaan arester yang basah menyebabkan tahanan permukaan arester turun dan meningkatkan besar arus permukaan yang mengalir pada permukaan arester sehingga arus bocor semakin besar. Sifat kelistrikan bahan porselen antara lain, tegangan tembus berkisar antara 10 hingga 30 kV/mm, resistivitas 10^{11} hingga 10^{14} Ω .cm, permitivitas (ϵ) berkisar antara 6 hingga 7, $\tan \delta$ (sudut kerugian dielektrik) 0,015 hingga 0,02 (Muhaimin, 1999 : 66).

Rangkaian ekuivalen suatu arester kondisi bersih dan dengan kontaminan adalah seperti pada Gambar 2.7 dengan C adalah nilai kapasitansi dari bahan arester itu sendiri yaitu dari bahan porselen dan resistansi permukaan arester dalam keadaan bersih (R_s). Dalam keadaan bersih arus bocor (I_{lc}) akan mengalir pada arester dengan nilai yang kecil. Jika arester tersebut mengalami pembasahan pada permukaannya, maka nilai resistansi permukaannya (R_s) akan turun. Dengan adanya pembasahan hal ini dapat dianalogikan dengan memasang resistansi polutan (R_{pol}) secara paralel terhadap resistansi permukaan (R_s).



Gambar 2. 7 Rangkaian ekuivalen arester bersih dan terkontaminasi

Sumber : Kind, D. 1993: 68

Pada kondisi basah jalur konduktif yang terbentuk pada permukaan arester akan mengalirkan arus dari konduktor ke tanah. Arus bocor merupakan fungsi dari nilai resistansi permukaan arester yang terkontaminasi, artinya dengan meningkatnya nilai

arus bocor ini diikuti dengan menurunnya nilai resistansi permukaan arester. 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 seperti dibawah ini.

$$I = \frac{V}{R} \quad (2-1)$$

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

Terbentuknya kontaminasi pada permukaan isolator menyebabkan menurunnya nilai resistansi isolator tersebut. Hal ini dapat digambarkan dengan memasang resistansi secara paralel. Dengan menganggap nilai resistansi rata-rata isolator terkontaminasi sebagai nilai resistansi ekuivalen (R_{ek}), nilai rata-rata isolator bersih sebagai nilai resistansi awal (R_s), maka nilai resistansi kontaminan (R_{pol}) sebagai resistansi yang dipasang paralel dapat dicari dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$R_{ek} = \frac{R_s \cdot R_{pol}}{R_s + R_{pol}} \quad (2-3)$$

$$R_{pol} = \frac{R_s \cdot R_{ek}}{R_s - R_{ek}} \quad (2-4)$$

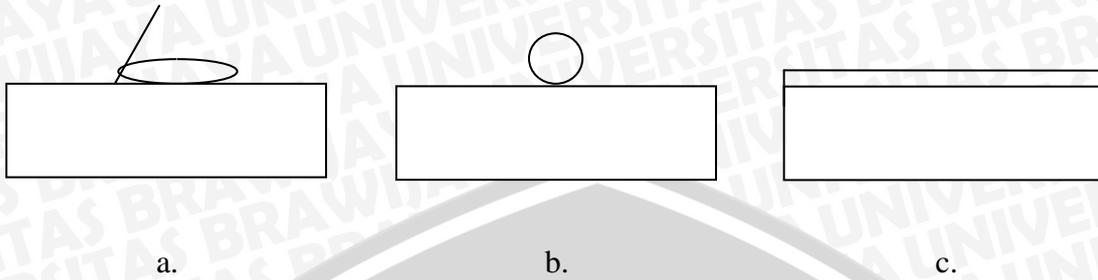
2.22 Sudut Kontak

Sudut kontak merupakan sudut yang dibentuk antara permukaan bahan uji dengan air yang diteteskan ke permukaan bahan uji. Pengukuran sudut kontak pada suatu bahan isolasi dilakukan untuk mengetahui sifat permukaan bahan, hidrofobik atau hidrofilik. Sifat hidrofobik merupakan suatu karakteristik bahan isolasi, dalam keadaan terpolusi, bahan masih mampu bersifat menolak air yang jatuh dipermukaannya. Sifat hidrofobik berguna untuk isolasi pasangan luar karena dalam keadaan basah atau lembab tidak akan terbentuk lapisan air yang kontinu pada permukaan isolator, sehingga permukaan isolator tetap memiliki konduktivitas yang rendah, akibatnya arus bocor sangat kecil (Amin, M. Et.al., 2007).

$$0^\circ < \theta < 90^\circ$$

$$90^\circ < \theta < 180^\circ$$

$$\theta = 0^\circ$$



Gambar 2. 8 Klasifikasi sudut kontak a. basah sebagian b. tidak basah c. basah keseluruhan

Sumber: Hasse, P : 2008

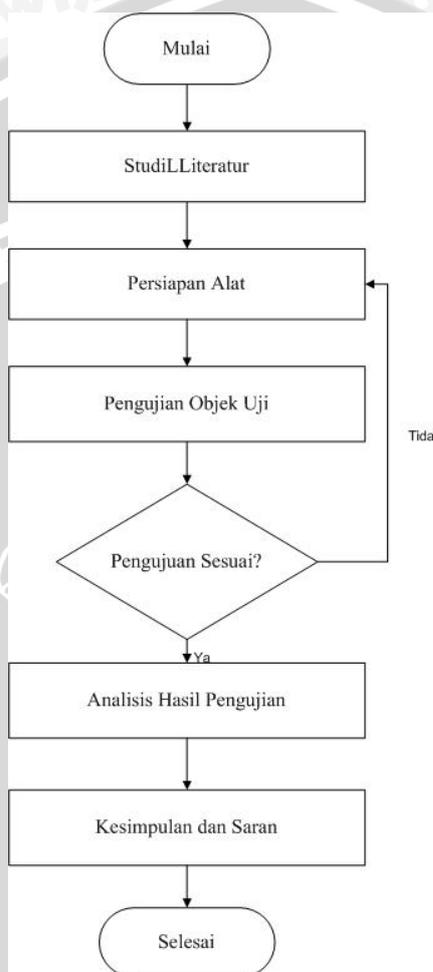
Untuk mendapatkan nilai sudut kontak rata-rata dari suatu permukaan bahan isolator, terlebih dahulu dicari nilai sudut kontak kanan dan sudut kontak kiri dari bahan tersebut

$$\text{Sudut kontak rata-rata} = \frac{\text{Sudut kanan} + \text{Sudut kiri}}{2} \quad (2-5)$$

Para Peneliti mengklasifikasikan permukaan material dengan kuantitas sudut kontak yaitu permukaan material sangat basah (hidrofilik) bila sudut kontak cairan pada permukaannya lebih kecil dari 30° . Bila sudut kontak antara 30° sampai dengan 89° , permukaan material disebut basah sebagian (*partially wetted*). Sudut kontak lebih dari 90° di sebut hidrofobik atau bersifat menolak air. (Shaowu, W. et.al., 2002).

BAB III METODE PENELITIAN

Untuk dapat mencapai tujuan penelitian ini, perlu adanya suatu metode. Metode yang dipakai dalam penelitian ini dengan percobaan atau pengujian di laboratorium dimana data-data yang diperoleh akan dianalisa dengan rujukan literatur. Adapun metode pembahasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Diagram alir proses pengerjaan tugas akhir

3.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dengan mempelajari buku-buku literatur maupun dari situs internet yang terkait dengan penyelesaian penelitian ini. Dasar teori yang menunjang penyelesaian penelitian yang berkaitan dengan teknik pengujian arus bocor pada arester, pengukuran sudut kontak permukaan arester serta pengondisian ruang uji (*chamber*)

3.2 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa hal yang akan diamati, antara lain arus bocor pada masing-masing arester akibat pengaruh perubahan kondisi arester dari kering menjadi basah dan juga sudut kontak permukaan arester.

3.3 Objek Uji

Obyek uji dalam penelitian ini berupa arester dengan housing porcelain dan arester dengan housing polimer yang digunakan pada sistem tegangan 20 kV. Arestor dengan housing porselen dengan spesifikasi, tipe BV-24AI, tegangan dasar 24 kV, arus 5 kA. Sedangkan untuk arester dengan housing polimer mempunyai spesifikasi, tipe CA 21/10.1 D, tegangan dasar 21 kV, arus 10 kA. Bentuk arester yang dimaksud diberikan pada Gambar 3.2.

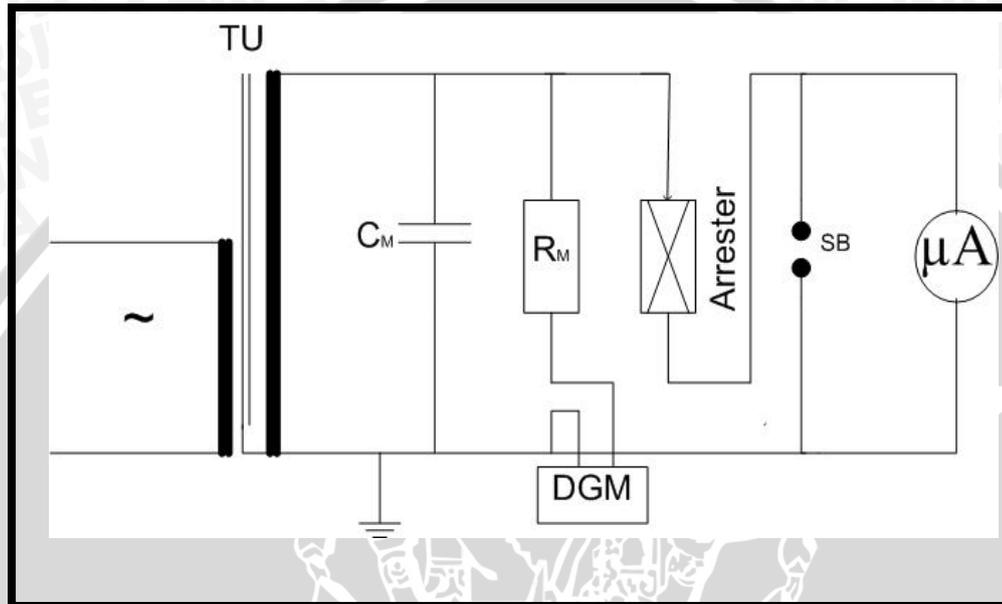


Gambar 3. 2 a. Arestor dengan housing porselen b. Arestor dengan housing polimer

3.4 Rangkaian Pengujian Arestor

Tahap Pengujian dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Rangkaian yang digunakan untuk pengujian arus bocor dengan tegangan tinggi bolak-balik seperti terlihat pada Gambar 2.3. Dalam pengujian digunakan tegangan tinggi bolak-balik (AC) hal ini lebih dikarenakan untuk merepresentasikan kondisi sebenarnya di lapangan dimana tegangan sistem yang digunakan pada saluran distribusi di Indonesia adalah menggunakan tegangan bolak-balik. Pada pengukuran arus bocor dipergunakan sela bola sebagai proteksi peralatan. Jarak sela bola diatur sebesar 1 cm. Tegangan kerja yang dikenakan dinaikan secara bertahap. Pada setiap tahap tegangan kerja yang dikenakan diukur arus bocornya. Proses ini dilakukan sebanyak tiga kali untuk satu tahap tegangan kerja, kemudian diambil nilai rata-ratanya. Besar arus bocor akan langsung ditampilkan pada *microampere* digital bolak-balik yang terpasang seri dengan benda uji yaitu pada sisi

tegangan rendahnya. Demikian seterusnya terhadap arester yang lainnya dilakukan perlakuan yang sama. Untuk menghindari kesalahan pengukuran akibat pemanasan, maka lama pengukuran arus bocor diusahakan dilakukan sesingkat mungkin. Pada pengujian dalam kondisi basah, arester akan dibasahi oleh air dengan volume 1000 ml – 4500 ml selama 60 detik. Setelah itu dilakukan tahap pengujian seperti pada kondisi kering. Tegangan kerja akan dinaikkan secara bertahap, mulai dari 6 kV hingga tegangan sistem 20 kV.



Gambar 3. 3 Rangkaian pengujian arus bocor pada arester
Sumber : Modul praktikum tegangan tinggi jurusan elektro

Bahan dan peralatan yang harus dipersiapkan untuk mengukur arus bocor dan waktu titik pemotongan tegangan lebih pada arester adalah :

1. Arestre : Obyek uji
2. *HV Transformer* (Trafo Uji) : 220V/100kV, 5kVA, 50 Hz
3. C_M : Pembagi kapasitif (10.000 pF)
4. SB (Sela Bola) : Susunan elektroda bola-bola
5. *DSM* : Alat ukur tegangan tinggi AC
6. *Microamperemeter* : Alat ukur arus listrik
7. *RM* : Resistor ukur (280 MΩ)

3.5 Kondisi Pengujian

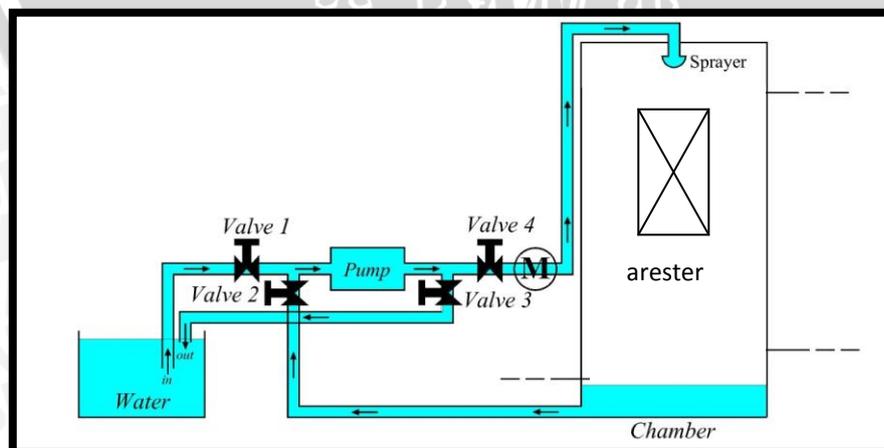
3.5.1 Kondisi Pengujian Kering

Pada kondisi pengujian dalam keadaan kering, objek uji arester digantungkan pada tiang penyangga, bagian atas dari arester dihubungkan ke dihubungkan dengan pembumian.

3.5.2 Kondisi Pengujian Basah

Kondisi pengujian dalam keadaan basah mempunyai kesamaan dalam pemasangan terminal tegangan tinggi dan terminal pembumian. Pengujian dalam kondisi basah memerlukan *chamber* sebagai alat bantu yang melingkupi isolator rantai, agar air yang nantinya disemprotkan ke isolator rantai tidak membasahi peralatan tegangan tinggi disekitarnya. Sebelum dilakukan proses pembasahan pada isolator, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mempersiapkan intensitas pembasahan yang digunakan.

Untuk mengatur kapasitas air yang digunakan agar sesuai dengan intensitas yang diinginkan, dapat diatur melalui *valve*(kran) yang terdiri dari 4 *valve*. *Valve* 1 dan 2 berfungsi menghisap air, *valve* 3 dan 4 berfungsi mengatur intensitas air yang disemprotkan ke isolator rantai, sehingga air yang digunakan sesuai dengan kapasitas intensitas air yang digunakan. Jika air yang berada di *chamber* sudah penuh, maka untuk mengeluarkan air dapat melalui *valve*2 dan 3. *Valve* 2 dan 3 dibuka, sedangkan *valve* 1 dan 4 ditutup agar air yang dihisap tidak sirkulasi menuju *sprayer*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.4 di bawah ini.



Gambar 3. 4 Rangkaian pengujian kondisi basah

3.6 Pengukuran Tingkat Pembasahan

Penggunaan air untuk pembasahan pada isolator rantai, menggunakan volume air yang telah dilakukan pengukuran sebelumnya dan dikondisikan seperti terjadi hujan atau hujan buatan. Dengan menggunakan alat ukur tekanan yang sudah terpasang di pompa air sebagai acuan kekuatan semburan air yang dikeluarkan. Maka didapatkan volume air seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Volume air yang tertampung pada tiap tekanan

No.	Tekanan (psi)	Volume Air (ml)	Intensitas Pembasahan (mm/menit)
1	4	2473	2,47
2	5	2749	2,75
3	6	2944	2,94
4	7	3085	3,08
5	8	3261	3,26
6	9	3426	3,43
7	10	3615	3,61
8	11	3850	3,85
9	12	4021	4,02
10	13	4121	4.12
11	14	4274	4.27
12	15	4474	4.47
13	16	4592	4.59
14	17	4686	4.69
15	18	4839	4.84

Volume air di atas dikonversikan ke dalam bentuk intensitas pembasahan. Pada waktu pengukuran waktu yang digunakan adalah selama 1 menit, sehingga intensitas pembasahan waktu yang dipakai per menit. Setelah didapatkan intensitas pembasahan yang diperlukan, langkah selanjutnya adalah menentukan intensitas pembasahan yang akan dipakai di dalam pengujian. Di dalam pengujian kali ini akan dipakai intensitas pembasahan sebesar 2,75; 2,94; 3,08; 3,26; 3,43; 3,61; 3,85; dan 4,02 mm/menit. Nilai-nilai tersebut mewakili variasi intensitas hujan dari skala kecil, hingga besar (deras).

3.7 Langkah-langkah pengujian arus bocor:

1. Menyusun rangkaian pengujian seperti pada Gambar 3.3
2. Menentukan lebar sela bola dan dijaga tetap
3. Menghubungkan tegangan tinggi AC pada arester
4. Mencatat hasil pengujian berupa arus bocor pada tiap titik pengamatan
5. Menghitung resistansi permukaan (R_s) pada arester
6. Menyusun hasil perhitungan dalam bentuk tabel
7. Membandingkan kenaikan tingkat pembasahan dengan nilai resistansi permukaan (R_s) arester

3.8 Analisa Hasil Pengujian

Data hasil pengujian yang telah didapat akan digunakan sebagai bahan analisis yang mengacu pada rumusan masalah yang meliputi:

- a) Perbandingan hasil perhitungan arus bocor pada arester porselen dan arester polimer.
- b) Perbandingan hasil pengukuran nilai sudut kontak permukaan arester porselen dan arester polimer.

3.9 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Pada tahapan ini dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil pengujian, hasil perhitungan serta analisis. Sebagai akhir dari pengujian yang dilakukan dapat ditarik suatu kesimpulan dari semua proses analisis yang telah dilakukan, dan juga dilakukan pemberian saran kepada pembaca yang akan melakukan studi terkait dengan skripsi ini. Meliputi hal-hal yang menjadi kendala dalam pengujian, atau hal-hal yang masih memerlukan kajian lebih dalam lagi terkait studi unjuk kerja kelistrikan arester porselen dan arester polimer pada sistem tegangan 20 kv.

BAB IV ANALISIS

Dalam bab ini akan dipaparkan tentang analisis hasil pengujian nilai arus bocor, kurva waktu titik potong tegangan arester porselen dan arester polimer. Selain mengamati karakteristik nilai arus bocor pada kedua arester, akan dianalisa juga bagaimana pengaruh sudut kontak, nilai resistansi permukaan arester, dan panjang jarak rambat arester. Pengujian arester pada kondisi kering dan pengujian arester pada kondisi basah dilakukan dalam skala laboratorium, untuk mensimulasikan penggunaan arester pada kondisi sebenarnya yang digunakan pada sistem tegangan 20 kV. Variabel dalam penelitian ini adalah jenis arester yang digunakan, tegangan yang diujikan pada arester yang dimulai dari nilai tegangan 5 kV – 20 kV, dan variasi tingkat pembasahan yang disesuaikan dengan tingkat curah hujan kota Malang.

4.1 Pengujian Karakteristik Arus Bocor pada Arestor Kondisi Kering

Pada pengujian ini ada dua jenis arester yang akan diamati nilai arus bocornya, yaitu arester porselen dan arester polimer untuk tegangan kerja 20 kV. Untuk masing-masing arester akan digunakan 2 buah sampel dengan spesifikasi yang sama. Setelah kedua sampel diuji dan didapat nilai arus bocornya, akan diambil nilai rata-rata nilai arus bocornya untuk arester porselen dan arester polimer. Hasil pengujian nilai arus bocor arester porselen dan arester polimer pada kondisi kering dengan variasi tegangan uji dari nilai 5 kV, 10 kV, 11 kV, 12 kV, 15 kV, dan 20 kV diberikan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Hasil pengujian masing-masing jenis arester dan grafik, akan diberikan pada lampiran 1.

Kondisi pengujian ini menggambarkan kondisi normal saat arester terpasang di lapangan dalam keadaan cuaca cerah. Dengan kondisi demikian, akan diukur nilai arus bocor pada kedua arester. Dari data yang didapat, akan dilakukan analisa bagaimana pengaruh tegangan uji terhadap nilai arus bocor pada kedua arester. Berikut merupakan data hasil pengujian nilai arus bocor pada kondisi kering untuk arester porselen dan arester polimer

Tabel 4. 1 Pengujian Nilai Arus Bocor Kondisi Pengujian Kering pada Arester Porselen

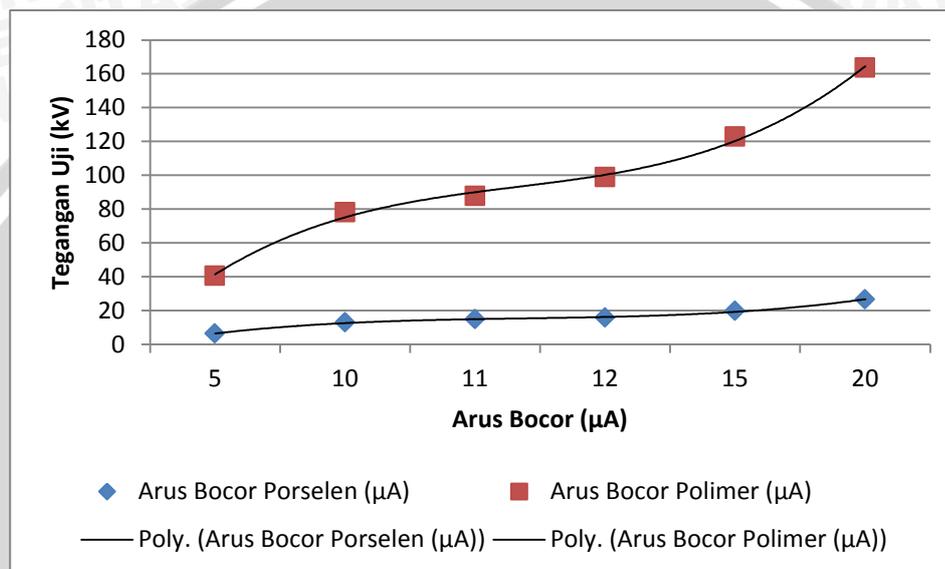
Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (μA)		Rata-Rata Arus Bocor (μA)		Rata-Rata Arus Bocor Arester Porselen (μA)
	Porselen A	Porselen B	Porselen A	Porselen B	
5	6,1	6,5	6,1	6,5	6,3
	6,1	6,5			
	6,1	6,4			
10	12,8	13,2	12,8	13,2	13,0
	12,8	13,2			
	12,8	13,2			
11	14,4	15,1	14,4	15,1	14,8
	14,4	15,1			
	14,4	15,1			
12	15,4	16	15,4	16,0	15,7
	15,4	16			
	15,4	16			
15	19,4	20,2	19,4	20,2	19,8
	19,4	20,2			
	19,4	20,2			
20	26,2	26,9	26,2	26,9	26,5
	26,2	26,8			
	26,2	26,9			

Tabel 4. 2 Pengujian Nilai Arus Bocor Kondisi Pengujian Kering pada Arester Polimer

Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (μA)		Rata-Rata Arus Bocor (μA)		Rata-Rata Arus Bocor Arester Polimer (μA)
	Polimer A	Polimer B	Polimer A	Polimer B	
5	39,6	41,3	39,6	41,3	40,5
	39,6	41,3			
	39,6	41,3			
10	75,6	80,5	75,7	80,5	78,1
	75,7	80,5			
	75,7	80,5			
11	85,3	90,2	85,3	90,2	87,8
	85,3	90,2			
	85,3	90,2			
12	95,6	102	95,7	102,1	98,9
	95,7	102,1			
	95,7	102,1			
15	118,2	127,5	118,2	127,6	122,9
	118,1	127,6			
	118,2	127,6			
20	159	168,3	158,9	168,3	163,6
	158,9	168,2			
	158,9	168,3			

Dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 dapat diamati bahwa karakteristik nilai arus bocor dari kedua arester dipengaruhi oleh tingkat tegangan uji. Semakin tinggi tegangan uji, maka semakin tinggi nilai arus bocornya

Dengan menggunakan data pada Tabel 4.1 dan 4.2 dapat dibuat grafik pengaruh kenaikan tingkat tegangan terhadap arus bocor pada masing-masing jenis arester dalam kondisi kering yang diberikan pada Gambar 4.1. Hubungan antara arus bocor dan tegangan pada grafik menunjukkan karakteristik ohmik dari permukaan arester dalam kondisi kering.



Gambar 4. 1 Grafik pengaruh tegangan uji terhadap arus bocor pada kondisi kering

Fungsi dari grafik diatas adalah:

- Porselen

$$y = -0,001x^2 + 1,388x - 0,607$$

$$R^2 = 0,999$$

- Polimer

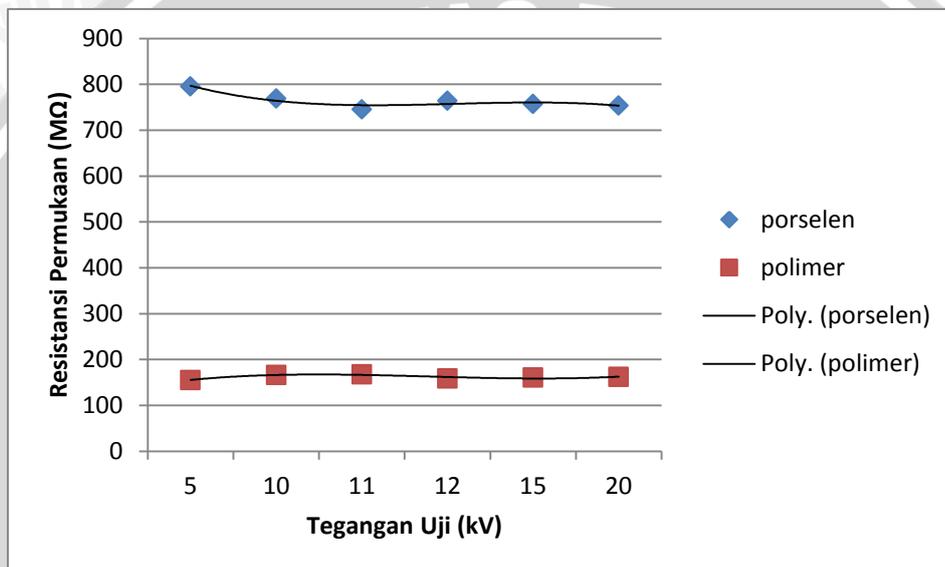
$$y = 0,016x^2 + 7,876x - 0,005$$

$$R^2 = 0,998$$

Dari grafik dapat diamati bahwa hubungan antara arus bocor dan tegangan pada arester porselen cenderung linier dengan kenaikan yang relatif kecil. Tetapi pada arester polimer kenaikan tidak linier dengan kenaikan arus bocor lebih tinggi.

Tabel 4. 3 Perhitungan Nilai Resistansi Permukaan Kondisi Pengujian Kering pada Arester Porselen dan Polimer

Tegangan Uji (kV)	Resistansi permukaan	
	Arester Porselen (M Ω)	Arester Polimer (M Ω)
5	795,755	155,335
10	769,230	166,488
11	745,762	168,091
12	764,331	158,799
15	757,575	161,150
20	753,769	162,184



Gambar 4. 2 Grafik nilai resistansi permukaan arester porselen dan arester polimer pada kondisi pengujian kering

Fungsi dari grafik diatas adalah:

- Porselen

$$I = f(V)$$

$$I = -0,039V^3 + 1,778V^2 - 26,67V + 889,8$$

$$R^2 = 0,813$$

- Polimer

$$I = f(V)$$

$$I = 0,033V^3 - 1,347V^2 + 16,32V + 103,3$$

$$R^2 = 0,664$$

Pada kondisi pengujian kering, nilai resistansi permukaan arester porselen lebih tinggi dibandingkan nilai resistansi permukaan arester polimer. Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai resistansi cenderung konstan meskipun diberi variasi tegangan uji.

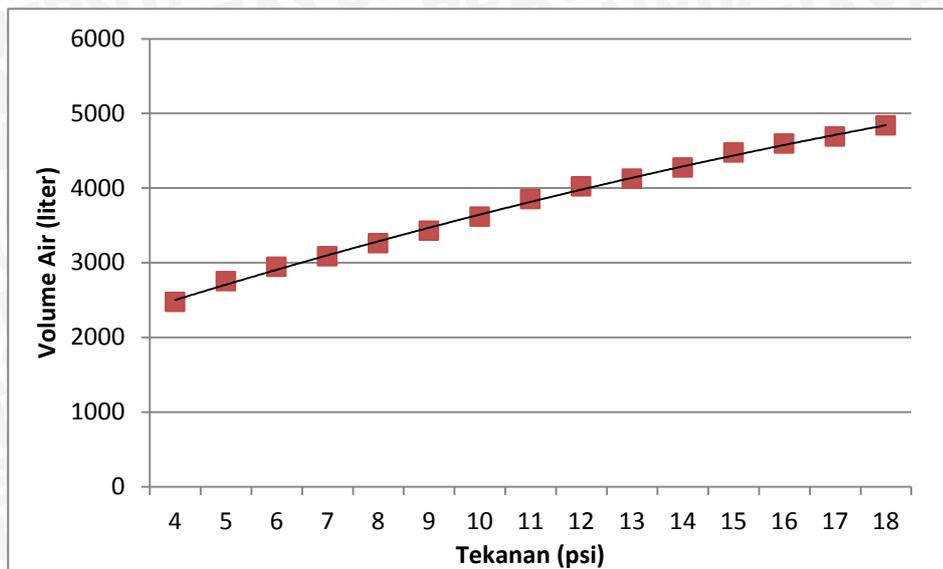
4.2 Pengujian Karakteristik Arus Bocor pada Arestor Kondisi Basah

Pengujian karakteristik arus bocor dari arester porselen dan arester polimer dibawah pengaruh tingkat pembasahan dilakukan dengan memberikan intensitas tingkat pembasahan yang bervariasi sesuai dengan intensitas curah hujan pada kota Malang. Untuk mengetahui berapa volume air yang disiramkan pada arester, digunakan alat pengukur tekanan (*pressure gauge*). Dengan alat pengukur tekanan, akan diketahui berapa tekanan volume air yang mengalir pada pipa. Dari tekanan yang terukur tersebut akan dilakukan percobaan, setiap tekanan dalam satuan psi ekivalen dengan volume berapa liter.

Metode pengukuran volume air dengan cara mengatur tekanan air yang keluar dari alat penyiram. Tekanan diatur mulai dari nilai 4 psi - 18 psi. Kemudian air disiramkan dengan sudut kemiringan 45° pada sebuah wadah penyiraman selama 1 menit. Setelah itu akan dihitung berapa volume air yang tertampung dalam 1 menit. Hasil perhitungan volume air yang tertampung selama 1 menit disajikan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Perhitungan Ekivalensi Tekanan Air dengan Volume Curah Hujan

No	Tekanan (psi)	Volume Air (mililiter)	Tingkat Pembasahan (liter/menit)
1	4	2473	2,47
2	5	2749	2,75
3	6	2944	2,94
4	7	3085	3,08
5	8	3261	3,26
6	9	3426	3,43
7	10	3615	3,61
8	11	3850	3,85
9	12	4021	4,02
10	13	4121	4,12
11	14	4274	4,27
12	15	4474	4,47
13	16	4592	4,59
14	17	4686	4,69
15	18	4839	4,84



Gambar 4.3 Grafik ekivalensi tekanan air dengan curah hujan

Fungsi dari grafik diatas adalah:

$$y = -2,922x^2 + 213,9x + 2290$$

Dari hasil perhitungan volume yang akan disiramkan pada arester, nilai 4 psi yang terukur pada alat pengukur tekanan sebanding dengan 2473 mililiter air. Sesuai dengan tinjauan pustaka, bahwa rata-rata intensitas curah hujan di kota Malang adalah sebesar 3 - 4.5 mm/menit. Oleh karena itu, untuk pengujian arester dalam kondisi basah akan digunakan tekanan 5 psi – 12 psi yang ekuivalen dengan tingkat pembasahan sebesar 2,75 – 4,02 mm/menit. Data hasil pengujian nilai arus bocor pada arester porselen akibat pengaruh dari tingkat pembasahan ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan 4.6. Untuk pengukuran nilai arus bocor arester porselen selengkapnya ditampilkan pada lampiran.

Tabel 4. 5 Pengujian Nilai Arus Bocor Arestor Porselen A pada Berbagai Tingkat Pembasahan

Tegangan Uji (kV)	Tingkat Pembasahan (mm/menit)							
	2,75	2,94	3,08	3,26	3,43	3,61	3,85	4,02
	Arus Bocor (μ A)							
5	6460	8613	9320	10506	10963	11350	12430	13890
10	1218	17148	20483	21380	22060	24760	25423	26840
11	14730	18940	22544	23461	24573	28039	28620	29410
12	15653	21042	23713	26375	27360	30058	31036	32124
15	18470	26378	30946	32540	34629	38026	39084	40600
20	23260	34600	42766	45400	49700	51176	52567	54180

Tabel 4. 6 Pengujian Nilai Arus Bocor Arester Porselen B pada Berbagai Tingkat Pembasahan

Tegangan Uji (kV)	Tingkat Pembasahan (mm/menit)							
	2,75	2,94	3,08	3,26	3,43	3,61	3,85	4,02
	Arus Bocor (μ A)							
5	5680	8477	10720	11105	11143	12750	13596	14280
10	13493	17918	20109	22380	23266	23160	25707	28540
11	14330	19540	23008	24345	26573	26427	29066	30916
12	15917	21970	25713	27177	28360	28188	31330	34284
15	19310	26848	29163	32840	35077	36520	39388	42000
20	27260	32600	39133	43940	46500	49353	52533	54686

Untuk mendapatkan nilai pengujian yang valid, dari Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 diambil nilai rata-ratanya. Pada kondisi tingkat pembasahan 2,75 mm/menit dengan tegangan uji 5 kV didapat nilai arus bocor rata-rata arester porselen sebesar:

$$\text{Nilai arus bocor rata - rata} = \frac{\text{Nilai Arus Bocor Arester A} + \text{Nilai Arus Bocor Arester B}}{2}$$

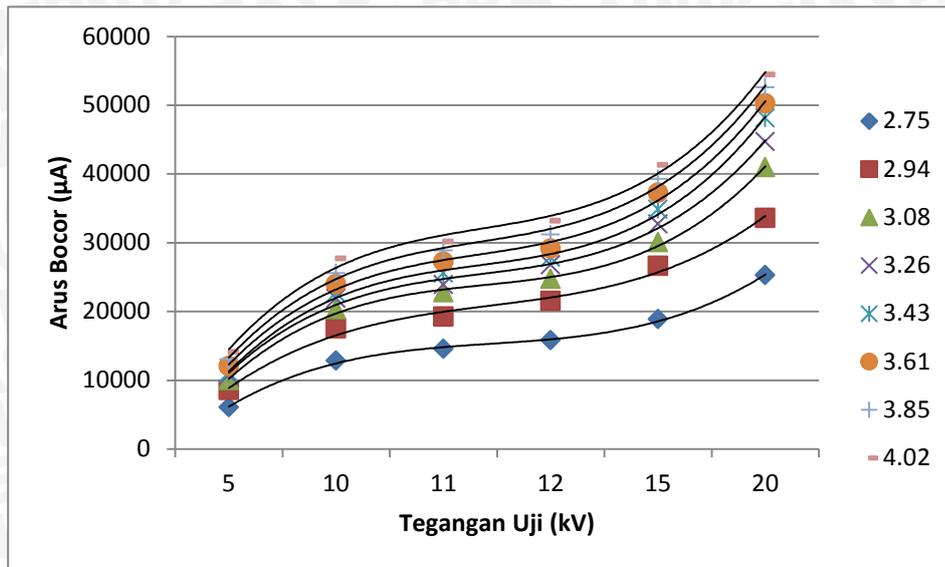
$$\text{Nilai arus bocor rata - rata}(5 \text{ kV}) = \frac{6460 + 5680}{2}$$

$$\text{Nilai arus bocor rata - rata}(5 \text{ kV}) = 6070 \mu\text{A}$$

Nilai Arus bocor rata-rata arester porselen pada kondisi tingkat pembasahan dan tegangan yang lain ditampilkan pada Tabel 4.7

Tabel 4. 7 Pengujian Nilai Arus Bocor Arester Rata-rata Porselen pada Berbagai Tingkat Pembasahan

Tegangan Uji (kV)	Tingkat Pembasahan (mm/menit)							
	2,75	2,94	3,08	3,26	3,43	3,61	3,85	4,02
	Arus Bocor (μ A)							
5	6070	8545	10020	10806	11053	12050	13013	14085
10	12835	17533	20296	21880	22663	23960	25565	27690
11	14530	19240	22776	23903	25573	27233	28843	30163
12	15785	21506	24713	26776	27860	29123	31183	33186
15	18890	26613	30055	32690	34853	37273	39236	41300
20	25260	33600	40950	44670	48100	50265	52550	54433



Gambar 4. 4 Pengaruh tingkat pembasahan terhadap nilai arus bocor dengan berbagai variasi tegangan uji pada arester porselen

Fungsi :

- Pembasahan 2,75 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = 449,4V^3 - 4654V^2 + 17087V - 6691$$

$$R^2 = 0,998$$

- Pembasahan 2,94 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = 487,5V^3 - 5054V^2 + 19427V - 5991$$

$$R^2 = 0,992$$

- Pembasahan 3,08 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = 727,6V^3 - 7380, V^2 + 26560V - 9698$$

$$R^2 = 0,998$$

- Pembasahan 3,26 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = 760,7V^3 - 7628V^2 + 27450V - 9496$$

$$R^2 = 0,996$$

- Pembasahan 3,43 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = 840,3V^3 - 8385V^2 + 29977V - 11149$$

$$R^2 = 0,998$$

- Pembasahan 3,61 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = -1,306V^3 + 57,47V^2 + 1797V + 1783,$$

$$R^2 = 0,999$$

- Pembasahan 3,85 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = -1,114V^3 + 45,73V^2 + 2077V + 1605$$

$$R^2 = 0,999$$

- Pembasahan 4,02 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = -1,034V^3 + 35,05V^2 + 2356V + 1559$$

$$R^2 = 0,999$$

Tabel 4. 8 Pengujian Nilai Arus Bocor Arester Polimer A pada Berbagai Tingkat Pembasahan

Tegangan Uji (kV)	Tingkat Pembasahan (mm/menit)							
	2,75	2,94	3,08	3,26	3,43	3,61	3,85	4,02
	Arus Bocor (μ A)							
5	40,27	42,37	42,75	45,70	46,00	47,23	50,37	53,07
10	86,30	86,43	89,82	91,61	93,27	95,67	97,93	103,67
11	93,28	93,58	96,20	99,47	102,30	104,24	108,42	113,97
12	103,30	103,62	105,73	106,85	110,59	113,54	122,87	125,32
15	114,10	124,80	131,35	132,73	135,50	141,23	157,60	165,68
20	181,41	191,43	205,50	212,55	214,37	219,10	221,93	225,37

Tabel 4. 9 Pengujian Nilai Arus Bocor Arester Polimer B pada Berbagai Tingkat Pembasahan

Tegangan Uji (kV)	Tingkat Pembasahan (mm/menit)							
	2,75	2,94	3,08	3,26	3,43	3,61	3,85	4,02
	Arus Bocor (μ A)							
5	36,49	40,23	44,71	45,24	48,62	51,23	54,37	55,05
10	84,30	87,51	89,38	91,73	94,27	97,39	99,13	103,05
11	87,18	93,82	96,26	99,59	102,44	107,02	110,38	112,75
12	98,44	103,58	105,21	110,81	110,47	115,00	123,59	125,54
15	111,10	115,60	125,31	139,33	149,20	160,03	161,20	165,04
20	179,45	187,27	193,56	206,45	222,37	239,10	257,93	271,35

Untuk mendapatkan nilai pengujian yang valid, dari Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 diambil nilai rata-ratanya. Pada kondisi tingkat pembasahan 2,75 mm/menit dengan tegangan uji 5 kV didapat nilai arus bocor rata-rata arester polimer sebesar:

$$\text{Nilai arus bocor rata - rata} = \frac{\text{Nilai Arus Bocor Arestor A} + \text{Nilai Arus Bocor Arestor B}}{2}$$

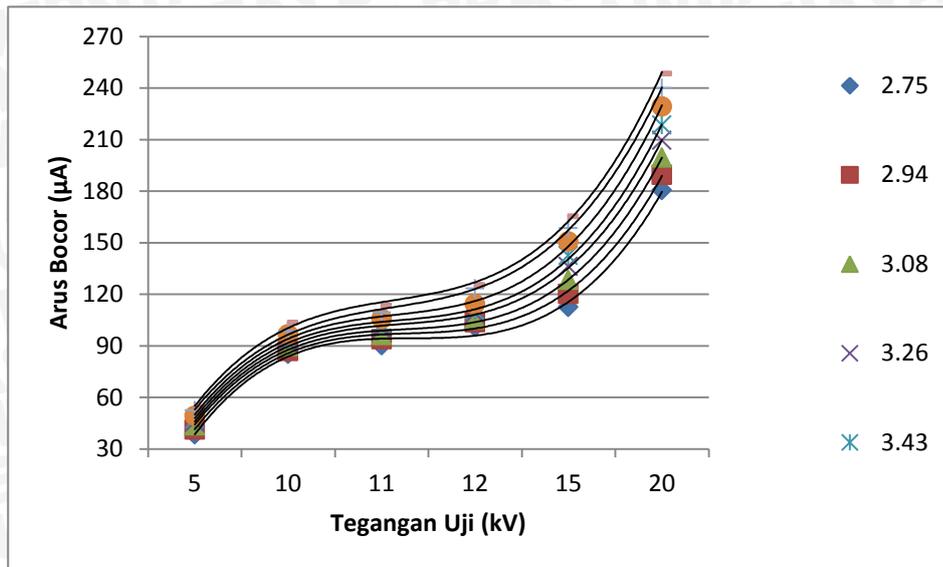
$$\text{Nilai arus bocor rata - rata}(5 \text{ kV}) = \frac{40,27 + 36,49}{2}$$

$$\text{Nilai arus bocor rata - rata}(5 \text{ kV}) = 38,38 \mu\text{A}$$

Nilai Arus bocor rata-rata arester polimer pada kondisi tingkat pembasahan dan tegangan yang lain ditampilkan pada Tabel 4.10

Tabel 4. 10 Pengujian Nilai Arus Bocor Rata-rata Arestor Polimer pada Berbagai Tingkat Pembasahan

Tegangan Uji (kV)	Tingkat Pembasahan (mm/menit)							
	2,75	2,94	3,08	3,26	3,43	3,61	3,85	4,02
	Arus Bocor (μ A)							
5	38,38	41,30	43,73	45,47	47,31	49,23	52,37	54,06
10	85,30	86,97	89,60	91,67	93,77	96,53	98,53	103,36
11	90,23	93,70	96,23	99,53	102,37	105,63	109,40	113,36
12	101,03	103,60	105,47	108,83	110,53	114,27	123,23	125,43
15	112,60	120,20	128,33	136,03	142,35	150,63	158,40	165,36
20	180,43	189,35	199,53	209,50	218,37	229,10	239,93	248,36



Gambar 4. 5 Pengaruh tingkat pembasahan terhadap nilai arus bocor dengan berbagai variasi tegangan uji pada arester polimer

Fungsi :

- Pembasahan 2,75 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = 0,079V^3 - 2,807V^2 + 37,88V - 90,98$$

$$R^2 = 0,997$$

- Pembasahan 2,94 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = 0,065V^3 - 2,236V^2 + 31,59V - 69,03$$

$$R^2 = 0,998$$

- Pembasahan 3,08 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = 0,015V^3 - 0,581V^2 + 15,14V - 19,34$$

$$R^2 = 0,999$$

- Pembasahan 3,26 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = 0,041V^3 - 1,267V^2 + 21,12V - 33,62$$

$$R^2 = 1$$

- Pembasahan 3,43 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = 0,033V^3 - 0,958V^2 + 17,72V - 21,51$$

$$R^2 = 1$$

- Pembasahan 3,61 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = 0,022V^3 - 0,523V^2 + 13,17V - 6,324$$

$$R^2 = 0,999$$

- Pembasahan 3,85 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = 0,010V^3 - 0,068V^2 + 8,545V + 9,903$$

$$R^2 = 0,999$$

- Pembasahan 4,02 mm/menit :

$$I = f(V)$$

$$I = 0,009V^3 - 0,008V^2 + 8,203V + 12,11$$

$$R^2 = 1$$

Untuk pengukuran nilai arus bocor arester porselen selengkapnya ditampilkan pada lampiran

4.3 Analisis Data Pengujian Arus Bocor Arestes

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, diketahui bahwa pada pengujian nilai arus bocor dalam kondisi kering arester porselen lebih kecil dibandingkan dengan arester polimer. Hal ini disebabkan karena jarak rambat arester porselen lebih pendek daripada jarak rambat arester polimer. Selain itu dari hasil pengujian dapat diketahui bahwa semakin besar nilai tegangan uji, maka semakin besar juga nilai arus bocornya. Pada pengujian arester dalam kondisi basah, hasil pengujian nilai arus bocor pada arester porselen lebih besar dari pada nilai arus bocor pada arester polimer. Pada arester porselen, meningkatnya nilai arus bocornya sangat signifikan, karena sifat dari material porselen yaitu hidrofilik. Dalam pengujian kondisi kering, nilai arus bocor porselen pada tegangan uji 5 kV adalah 6.3 μ A.

Pada pengujian kondisi basah dengan tegangan uji yang sama, nilai arus bocornya meningkat sampai 6070 μ A. Meningkatnya nilai arus bocor ini dipengaruhi oleh air yang terdapat pada permukaan arester yang menyebabkan resistansi permukaan dari arester menurun, sehingga konduktivitas permukaan arester meningkat. Hal ini yang menyebabkan arus bocor dalam kondisi pengujian basah lebih besar daripada pengujian dalam kondisi kering. Sedangkan pada arester polimer, meningkatnya nilai arus bocornya tidak signifikan pada arester porselen.

Pengujian arester polimer pada kondisi kering dengan tegangan uji 5 kV menghasilkan nilai arus bocor sebesar 40.5 μA . Untuk pengujian arester polimer pada kondisi basah dengan tegangan uji yang sama, nilai arus bocornya sebesar 38.38 μA . Ini disebabkan karena sifat hidrofobik, yaitu sifat menolak air dari material polimer. Seperti pada pengujian kondisi kering, tegangan uji juga mempengaruhi nilai arus bocor pada permukaan arester. Semakin tinggi tegangan yang diberikan, maka semakin tinggi juga nilai arus bocornya. Tingkat pembasahan juga berpengaruh pada nilai arus bocor permukaan arester. Semakin tinggi tingkat pembasahan, maka semakin tinggi nilai arus bocor pada permukaan arester.

4.4 Hasil Perhitungan Resistansi Permukaan Arestor

Pembasahan pada permukaan arester menyebabkan nilai resistansi permukaan arester menurun. Dengan menurunnya nilai resistansi permukaan arester mengakibatkan konduktivitas arester meningkat. Hal ini yang menyebabkan nilai arus bocor pada permukaan arester semakin meningkat. Pada tingkat pembasahan yang bervariasi, semakin tinggi nilai tegangan uji yang diberikan, semakin besar nilai arus bocornya, maka nilai resistansi permukaan arester akan semakin turun. Merujuk Persamaan 2-10, nilai resistansi permukaan dapat dihitung.

Dengan menggunakan data hasil perhitungan nilai arus bocor pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.10 dapat diketahui nilai resistansi permukaan arester. Tegangan yang diujikan dibagi dengan nilai arus bocor yang tercatat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.10 akan menghasilkan nilai resistansi permukaan arester porselen. Untuk Nilai resistansi selengkapnya ditampilkan pada lampiran. Pada berbagai tingkat pembasahan dan tegangan uji 5 kV didapat nilai resistansi permukaan arester porselen dan polimer sebesar:

1. Arestor Porselen

- Pada tingkat pembasahan 2,75 mm/menit

$$R = \frac{5000}{6070 \times 10^{-6}}$$

$$R = 0,824 \text{ M}\Omega$$

- Pada tingkat pembasahan 2,94 mm/menit

$$R = \frac{5000}{8545 \times 10^{-6}}$$

$$R = 0,585 \text{ M}\Omega$$

- Pada tingkat pembasahan 3,08 mm/menit

$$R = \frac{5000}{10020 \times 10^{-6}}$$

$$R = 0,499 \text{ M}\Omega$$

- Pada tingkat pembasahan 3,26 mm/menit

$$R = \frac{5000}{10806 \times 10^{-6}}$$

$$R = 0,463 \text{ M}\Omega$$

- Pada tingkat pembasahan 3,43 mm/menit

$$R = \frac{5000}{11053 \times 10^{-6}}$$

$$R = 0,452 \text{ M}\Omega$$

- Pada tingkat pembasahan 3,61 mm/menit

$$R = \frac{5000}{12050 \times 10^{-6}}$$

$$R = 0,415 \text{ M}\Omega$$

- Pada tingkat pembasahan 3,85 mm/menit

$$R = \frac{5000}{13013 \times 10^{-6}}$$

$$R = 0,384 \text{ M}\Omega$$

- Pada tingkat pembasahan 4,02 mm/menit

$$R = \frac{5000}{14085 \times 10^{-6}}$$

$$R = 0,355 \text{ M}\Omega$$

2. Arester Polimer

- Pada tingkat pembasahan 2,75 mm/menit

$$R = \frac{5000}{38.38 \times 10^{-6}}$$

$$R = 130.276 \text{ M}\Omega$$

- Pada tingkat pembasahan 2,94 mm/menit

$$R = \frac{5000}{41.30 \times 10^{-6}}$$

$$R = 121,065 \text{ M}\Omega$$

- Pada tingkat pembasahan 3,08 mm/menit

$$R = \frac{5000}{43.73 \times 10^{-6}}$$

$$R = 114,338 \text{ M}\Omega$$

- Pada tingkat pembasahan 3,26 mm/menit

$$R = \frac{5000}{45.47 \times 10^{-6}}$$

$$R = 109,963 \text{ M}\Omega$$

- Pada tingkat pembasahan 3,43 mm/menit

$$R = \frac{5000}{47.31 \times 10^{-6}}$$

$$R = 105,686 \text{ M}\Omega$$

- Pada tingkat pembasahan 3,61 mm/menit

$$R = \frac{5000}{49.23 \times 10^{-6}}$$

$$R = 101,564 \text{ M}\Omega$$

- Pada tingkat pembasahan 3,85 mm/menit

$$R = \frac{5000}{52.37 \times 10^{-6}}$$

$$R = 95,475 \text{ M}\Omega$$

- Pada tingkat pembasahan 4,02 mm/menit

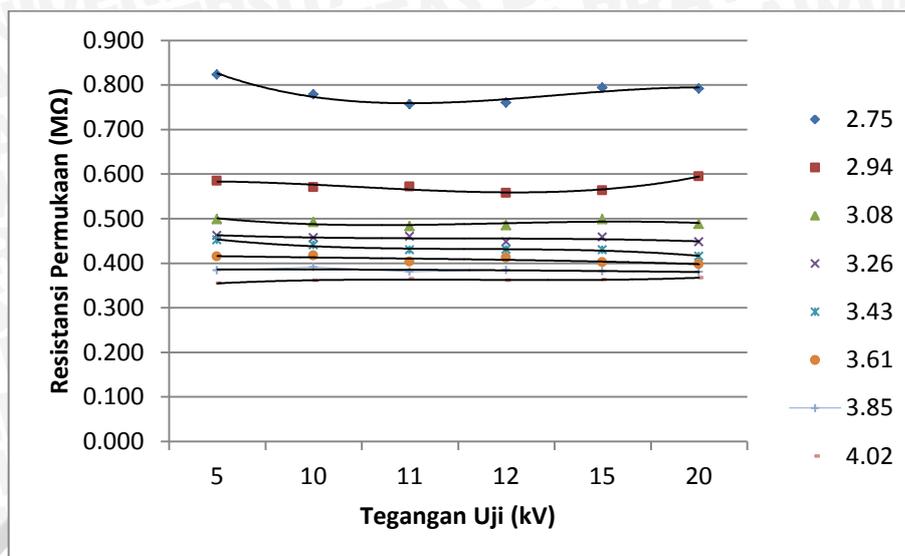
$$R = \frac{5000}{54.06 \times 10^{-6}}$$

$$R = 92,490 \text{ M}\Omega$$

Hasil perhitungan nilai resistansi permukaan arester porselen dapat dilihat dari Tabel 4.11 dan Gambar 4.6, sedangkan nilai resistansi permukaan arester polimer disajikan dalam Tabel 4.12 dan Gambar 4.7 berikut:

Tabel 4. 11 Perhitungan Resistansi Permukaan Arestor Porselen pada Berbagai Tingkat Pembasahan

Tegangan Uji (kV)	Tingkat Pembasahan (mm/menit)							
	2,75	2,94	3,08	3,26	3,43	3,61	3,85	4,02
Resistansi Permukaan (MΩ)								
5	0,824	0,585	0,499	0,463	0,452	0,415	0,384	0,355
10	0,779	0,570	0,493	0,457	0,441	0,417	0,391	0,361
11	0,757	0,572	0,483	0,460	0,430	0,404	0,381	0,365
12	0,760	0,558	0,486	0,448	0,431	0,412	0,385	0,362
15	0,794	0,564	0,499	0,459	0,430	0,402	0,382	0,363
20	0,792	0,595	0,488	0,448	0,416	0,398	0,381	0,367

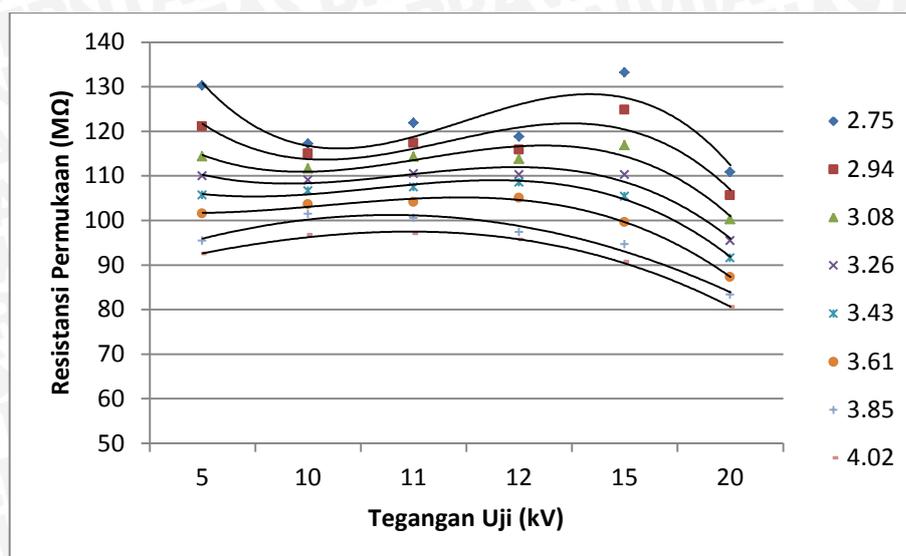


Gambar 4. 6 Pengaruh tingkat pembasahan terhadap nilai resistansi permukaan dengan berbagai variasi tegangan uji pada arester porselen

Dari Gambar diatas, diketahui bahwa nilai resistansi semakin menurun dengan naiknya tingkat pembasahan yang diberikan. Pada setiap tingkat pembasahan yang diberikan, untuk nilai tegangan uji 5 kV-20 kV nilai resistansinya cenderung konstan.

Tabel 4. 12 Perhitungan Resistansi Permukaan Arestor Polimer pada berbagai Tingkat Pembasahan

Tegangan Uji (kV)	Tingkat Pembasahan (mm/menit)							
	2,75	2,94	3,08	3,26	3,43	3,61	3,85	4,02
5	130,276	121,065	114,338	109,963	105,686	101,564	95,475	92,490
10	117,233	114,982	111,607	109,087	106,644	103,595	101,492	96,749
11	121,911	117,396	114,309	110,519	107,453	104,137	100,548	97,036
12	118,777	115,830	113,776	110,264	108,568	105,014	97,379	95,671
15	133,215	124,792	116,886	110,270	105,374	99,582	94,697	90,711
20	110,846	105,625	100,236	95,465	91,588	87,298	83,358	80,528

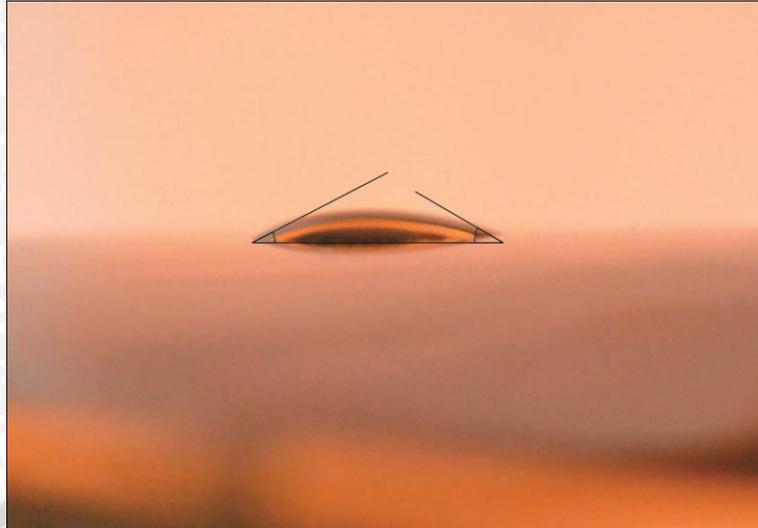


Gambar 4. 7 Pengaruh tingkat pembasahan terhadap nilai resistansi permukaan dengan berbagai variasi tegangan uji pada arester polimer

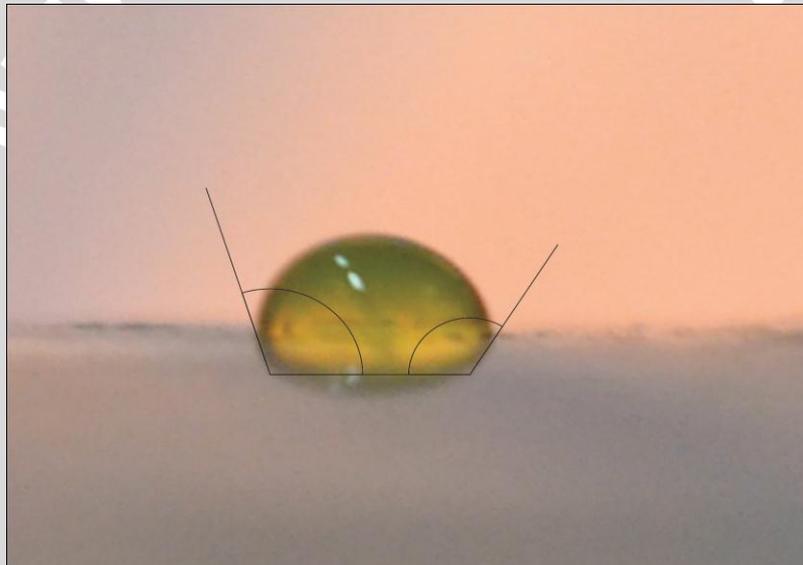
Pada Grafik diatas menunjukkan hubungan antara nilai resistansi permukaan arester polimer dengan tingkat pembasahan. Dapat dilihat pada Gambar diatas, bahwa nilai resistansi permukaan arester polimer semakin menurun seiring dengan naiknya tingkat pembasahan yang diujikan. Untuk setiap tingkat pembasahan, pada nilai tegangan uji 5 kV – 15 kV resistansi permukaannya cenderung konstan. Pada saat nilai tegangan uji melebihi nilai 15 kV, nilai resistansinya mengalami penurunan yang signifikan.

4.5 Hasil Perhitungan Sudut Kontak

Pengujian besarnya sudut kontak permukaan arester terhadap tetesan air dimaksudkan untuk mengetahui sifat permukaan arester. Sifat yang dimaksud adalah sifat menyerap air (*hydrophilic*) atau sifat menolak air (*hydrophobic*) dari suatu bahan. Untuk perhitungan sudut kontak rata-rata digunakan rumus pada persamaan 2-17

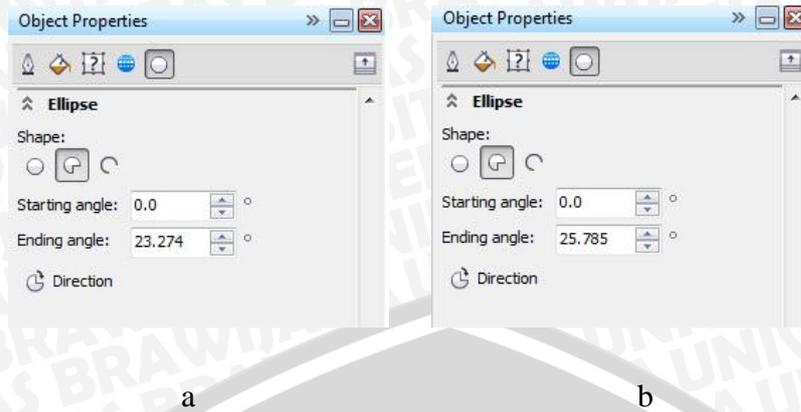


Gambar 4. 8 Hasil pemotretan sudut kontak pada arester porselen



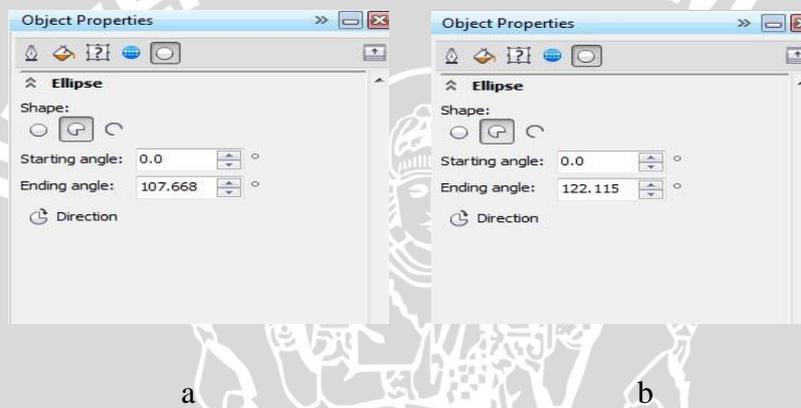
Gambar 4. 9 Hasil Pemotretan sudut kontak pada arester polimer

Dari hasil pemotretan sudut kontak tetesan air pada permukaan arester, gambar yang didapat akan diolah menggunakan perangkat komputer guna melihat berapa besar sudut kanan dan sudut kiri tetesan air pada permukaan arester. Setelah besar sudut diketahui, nilai besar sudut dimasukkan kedalam persamaan 2-17 untuk dihitung berapa sudut kontak rata-ratanya. Nilai sudut kontak kanan dan nilai sudut kontak kiri pada kedua jenis arester didapat dari mengolah gambar 4.8 dan Gambar 4.9 dengan menggunakan *software* CorelDRAW pada perangkat komputer. Hasil perhitungan sudut kontak kanan dan sudut kontak kiri pada kedua jenis arester ditampilkan pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 berikut:



Gambar 4. 10 Perhitungan sudut kontak arester porselen a. Perhitungan sudut kontak kanan b. Perhitungan sudut kontak kiri

a. Perhitungan sudut kontak kanan b. Perhitungan sudut kontak kiri.



Gambar 4. 11 Perhitungan sudut kontak arester polimer a. Perhitungan sudut kontak kanan b. Perhitungan sudut kontak kiri

Hasil perhitungan sudut kontak rata-rata permukaan arester terhadap tetesan air dapat dilihat pada Tabel 4.13 berikut:

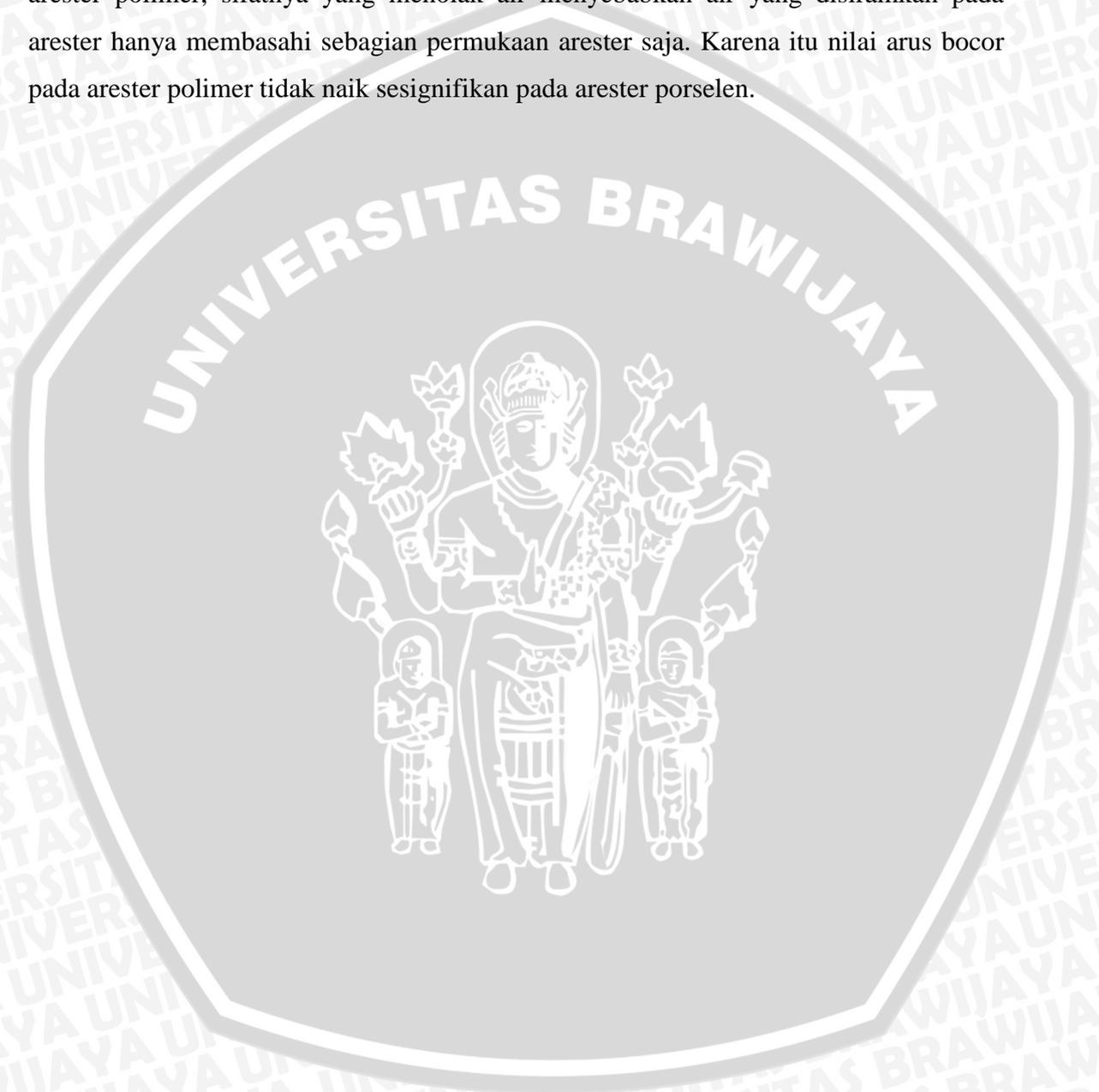
Tabel 4. 13 Perhitungan Sudut Kontak Permukaan Arestor terhadap Tetesan Air

Arestor	Sudut kontak kanan	Sudut kontak kiri	Sudut kontak rata-rata
Porselen	23,274°	25,785°	24,529°
Polimer	107,668°	112,115°	109,891°

Dari hasil pengukuran sudut kontak pada Tabel 4.13 menunjukkan bahwa nilai rata-rata sudut kontak arester polimer lebih dari nilai 90°. Nilai tersebut masuk dalam kategori bersifat hidrofobik atau sifat menolak air. Sedangkan nilai sudut kontak arester porselen berada pada kisaran 0° - 30°. Nilai ini menunjukkan bahwa sifat permukaan

arester porselen adalah sangat basah. Hal ini yang menyebabkan nilai arus bocor pada arester porselen lebih besar dari pada arester polimer.

Arester porselen karena sifatnya yang mudah menyerap air, pada saat air disemprotkan pada arester menyebabkan permukaan arester basah yang mengakibatkan nilai resistansi permukaan menurun dan nilai arus bocor meningkat. Sedangkan pada arester polimer, sifatnya yang menolak air menyebabkan air yang disiramkan pada arester hanya membasahi sebagian permukaan arester saja. Karena itu nilai arus bocor pada arester polimer tidak naik signifikan pada arester porselen.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang sudah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- a. Pada Kondisi cuaca normal (kering), nilai arus bocor pada arester porselen lebih rendah dibandingkan nilai arus bocor arester polimer.
- b. Pada Kondisi pengujian basah, nilai arus bocor pada arester polimer tercatat lebih rendah daripada nilai arus bocor pada arester porselen. Hal ini dikarenakan, pada saat kondisi basah nilai resistansi arester porselen jauh menurun dibandingkan nilai resistansi pada arester polimer.
- c. Berdasarkan pengujian sudut pada kedua jenis arester, arester porselen memiliki sudut kontak dibawah 90° . Nilai tersebut masuk dalam kategori basah sebagian, arester porselen lebih bersifat hidrofilik. Sedangkan pada arester polimer, nilai sudut kontaknya lebih besar dari 90° . Arestor polimer masuk dalam kategori hidrofobik atau bersifat menolak air. Jadi permukaan arester polimer tidak sebasah dibandingkan permukaan arester porselen. Hal ini yang menyebabkan nilai arus bocor dalam pengujian kondisi basah pada arester polimer lebih kecil daripada nilai arus bocor pada arester polimer..

5.2 Saran

Pada penelitian ini, saran yang dapat diberikan yaitu perlu dilakukan penelitian untuk jenis arester yang lain, semisal pada arester dengan material gelas. Selain itu perlu ditambahkan penelitian nilai arus bocor dengan menggunakan polutan dan penggaraman. Penelitian pada sisi proteksi terhadap surja hubung, bisa dilakukan dengan membandingkan waktu titik potong kedua arester.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M. et al., 2007. *Hidrophobicity of Silicone Rubber Used For Outdoor Insulation (An Overview)* Advanced Study Center CO.Ltd.
- Andang, Asep. 2006. *Pengaruh Ketebalan dan Kekentalan Lapisan Senyawa Silikon pada Unjuk Kerja Isolator Keramik Post Pin 20 kV pada berbagai Kondisi Lingkungan*. Tesis : Institut Teknologi Bandung.
- Arismunandar, Wiranto, 1997. *Teknik Tenaga Listrik I*. Bandung: ITB Press.
- Arismunandar, A. 1978. *Teknik Tegangan Tinggi*, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Arismunandar, A., Kuwahara, S. 1982. *Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik*, jilid II. Jakarta: PT. Pradnya Paramita
- E. Kuffel, W.S. Zaengl, J. Kuffel. 2005. *High Voltage Engineering Fundamental*. Newnes
- Hasse, P. 2008. *Overvoltage Protection of Low Voltage Systems*. London: The Institution of Engineering and Technology.
- Hinrichsen, V. 2011. *Metal Oxide Surge Arrester*. Germany
- Hutauruk, T. S. 1989. *Gelombang Berjalan dan Proteksi Surja*. Jakarta: Erlangga.
- Kind, D. 1993. *Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Terjemahan K.T. Sirait. Bandung : Penerbit ITB.
- M.S. Naidu, V. Kamaraju. 2004. *High Voltage Engineering*. Mc Graw Hill
- Muhaimin. 1999. *Bahan – Bahan Listrik untuk Politeknik*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Shaowu, W. et.a;., 2002. *Hydrophobicity Changing of Silicone Rubber Insulator in Service*, 21, rue d'artols F-5008, Paris
- Tobing, Bonggas L. 2003. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta : PT Gramedia Puadtaka Utama
-, <http://meteorologi.bmkg.go.id/prakiraan/hujanindonesia>