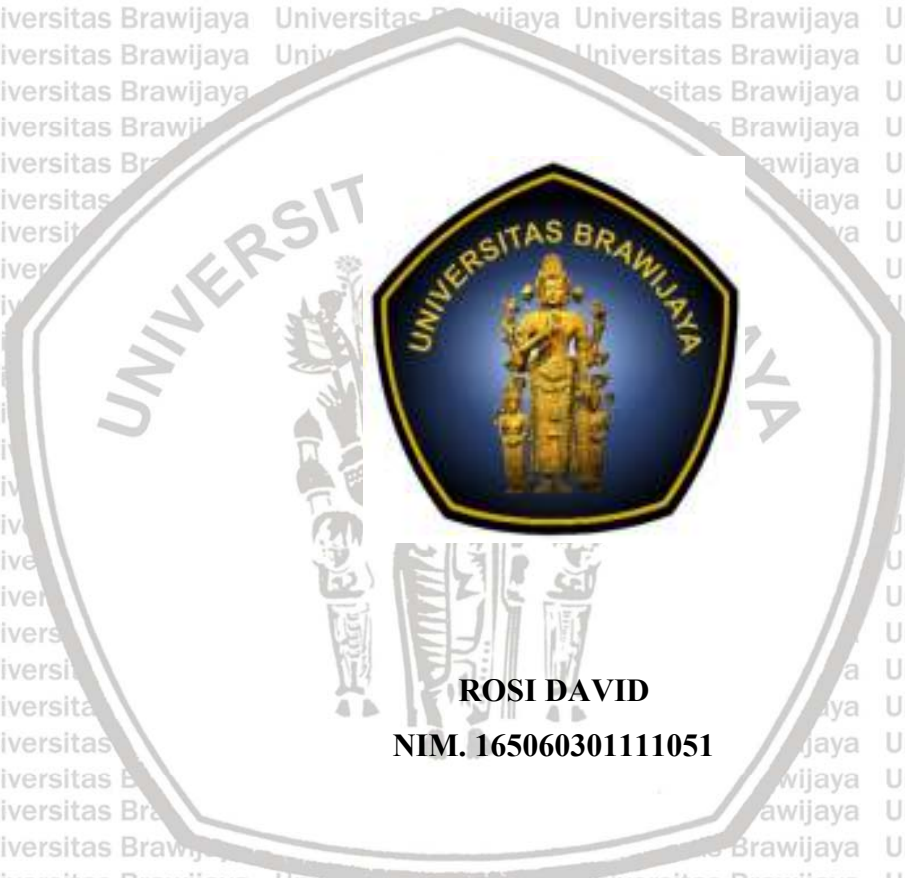


**REKAYASA DAN PENGUJIAN PERFORMANSI ISOLATOR
POLIMER RESIN EPOKSI DENGAN *FILLER FLY ASH*
SKRIPSI
TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK**

Ditujukan untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik



**ROSI DAVID
NIM. 165060301111051**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2021**



LEMBAR PENGESAHAN
REKAYASA DAN PENGUJIAN PERFORMANSI ISOLATOR
POLIMER RESIN EPOKSI DENGAN *FILLER FLY ASH*

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ROSI DAVID

NIM. 165060301111051

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 27 Juli 2021

Dosen Pembimbing I

Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T.

NIP. 19600701 199002 1 001

Dosen Pembimbing II

Ir. Unggul Wibawa, M.Sc.

NIP. 19630106 198802 1 001

Mengetahui



Ph.D. Jurusan Teknik Elektro

Muhammad Muslim, ST., M.T., Ph.D.

NIP. 19741203 200012 1 001

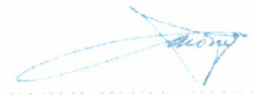
JUDUL SKRIPSI:

REKAYASA DAN PENGUJIAN PERFORMANSI ISOLATOR POLIMER
RESIN EPOKSI DENGAN *FILLER FLY ASH*

Nama Mahasiswa : Rosi David
NIM : 165060301111051
Program Studi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik

KOMISI PEMBIMBING:

Ketua : Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T.



Anggota : Ir. Unggul Wibawa, M.Sc



TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji I : Mahfudz Shidiq, Ir. MT.

 disetujui tanggal 27 Juli 2021

Dosen Penguji II : Tri Nurwati, Dr. ST, MT.

 disetujui tanggal 27 Juli 2021

Tanggal Ujian : 19 Juli 2021

SK Penguji : 1249 Tahun 2021



*Teriring Ucapan Terimakasih kepada:
Ayahanda Salik dan Ibunda Mirza Irawati tercinta*

PERYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan ditulis di dalam naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 26 Juli 2021

Mahasiswa,

Rosi David

NIP. 165060301111051



RIWAYAT HIDUP

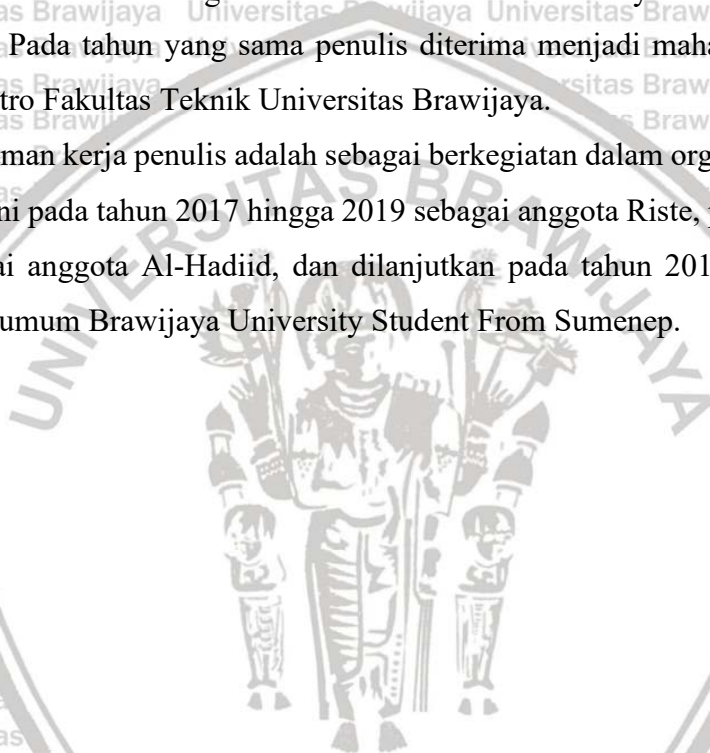
Rosi David lahir di kota Sumenep, Provinsi Jawa Timur pada 09 Maret 1998. Penulis lahir dari pasangan Salik dan Mirza Irawati serta merupakan anak kedua dari 4 bersaudara yakni Ilfana Farihah, Baburroyan, dan Firdaus.

Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar sampai dengan sekolah menengah atas di kota Sumenep. Pada tahun 2004 penulis masuk SD Negeri Tamba Agung Tengah II dan lulus pada tahun 2010. Kemudian melanjutkan sekolah menengah pertama pada tahun yang sama di SMP Negeri 1 Sumenep dan lulus 3 tahun kemudian pada tahun 2013. Selanjutnya masuk pada sekolah menengah atas di SMA 1 Muhammadiyah Sumenep dan lulus pada tahun 2016. Pada tahun yang sama penulis diterima menjadi mahasiswa program sarjana Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Pengalaman kerja penulis adalah sebagai berkegiatan dalam organisasi mahasiswa intra kampus yakni pada tahun 2017 hingga 2019 sebagai anggota Riste, pada tahun 2017 hingga 2019 sebagai anggota Al-Hadiid, dan dilanjutkan pada tahun 2018 hingga 2019 sebagai wakil ketua umum Brawijaya University Student From Sumenep.

Malang,

Penulis



PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur kehadiran Allah SWT dengan rahmat dan hidayah-Nya skripsi berjudul **“Rekayasa dan Pengujian Performansi Isolator Polimer Resin Epoksi Dengan *Filler Fly Ash*”** dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada yang telah berkenan memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Bapak M. Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Plt. Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Ibu Ir. Nurussa'adah, MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya
3. Ibu Rahmadwati, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya
4. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. selaku KKJF Konsentrasi Teknik Energi Elektrik
5. Bapak Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T. selaku Dosen Pembimbing I skripsi atas segala bimbingan, kritik, dan saran yang telah diberikan dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Ir. Unggul Wibawa, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing II skripsi atas segala bimbingan, kritik, dan saran yang telah diberikan dalam penyusunan skripsi ini.
7. Bapak Ir. Teguh Utomo, M.T. selaku dosen pembimbing akademik atas segala bimbingan, nasehat, dan motivasi yang telah diberikan.
8. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang selalu membantu selama perkuliahan.
9. Keluarga tercinta Bapak Salik dan Ibu Mirza Irawati yang selalu memberikan kasih sayang dan doanya yang tiada akhir serta Kakak Ilfana Fariyah, Adik tercinta Baburroyyan, dan Firdaus atas segala dukungan dan doa yang telah diberikan.

10. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu, terimakasih banyak atas semua bantuannya.

Perlu disadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dan diharapkan agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang,

Penulis



RINGKASAN

Rosi David, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas “**Rekayasa dan Pengujian Performansi Isolator Polimer Resin Epoksi Dengan *Filler Fly Ash***” Dosen Pembimbing: Moch. Dhofir dan Unggul Wibawa

Pada penelitian ini isolator terbuat dari bahan resin epoksi dengan *filler fly ash* dan aluminium oksida dan divariasikan dengan 2 tipe sirip isolator yaitu BBB dan BKB dengan pembuatan dimensi yang memperhatikan standar IEC. Pengujian yang dilakukan menggunakan 2 kondisi untuk masing-masing isolator yaitu kondisi kering dan kondisi basah. Pada penelitian ini akan diuraikan pengaruh dari tipe variasi sirip permukaan isolator terhadap distribusi medan listrik, sudut kontak, tingkat arus bocor, dan tegangan *flashover* dalam kondisi kering dan basah. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan mengambil data arus bocor dan tegangan *flashover* secara langsung di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Universitas Brawijaya, faktor bentuk, debit pembasahan, sudut kontak, serta dilakukan simulasi distribusi medan listrik pada masing-masing variasi isolator menggunakan *software* FEMM 4.2.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan tegangan tinggi AC. Hasil yang didapat dari penelitian ini isolator tipe sirip seragam memiliki nilai arus bocor yang lebih kecil dari tipe sirip tidak seragam baik pada kondisi kering dan basah sangat berpengaruh terhadap arus bocor. Debit pembasahan juga berpengaruh terhadap arus bocor, dimana peningkatan debit pembasahan berbanding lurus dengan tingkat arus bocor dan berbanding terbalik dengan ketahanan suatu isolator menahan tegangan *flashover* serta kuat medan rata-rata yang paling maksimum terdapat pada isolator tipe sirip tidak seragam dan kuat medan paling rendah terdapat pada isolator tipe sirip seragam, dan sesuai dengan perhitungan faktor bentuk bahwa nilai faktor bentuk yang paling tinggi terdapat pada isolator tipe sirip seragam, serta yang paling terendah terdapat pada isolator tipe sirip tidak seragam, dan hasil perhitungan sudut kontak yang paling tertinggi terdapat pada isolator tipe sirip seragam dan yang paling terendah terdapat pada isolator tipe sirip tidak seragam sehingga sifat hidrofobik yang paling baik berada di isolator sirip seragam.

Kata kunci: Isolator, resin epoksi, *fly ash*, variasi sirip isolator, sudut kontak, arus bocor, tegangan *flashover*

SUMMARY

Rosi David, *Departement of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, Simulation and Testing the Performance of Epoxy Resin Polymer Insulators with Fly Ash Filler, Academic Supervisor: Moch. Dhofir and Unggul Wibawa.*

In this study, the insulator is made of epoxy resin with fly ash and aluminum oxide fillers and is varied with 2 types of insulator disc, uniform insulator disc system which consist of three discs with same size and non-uniform insulator disc system which consist of two big insulator discs and one small insulator disc in between the two and IEC standards are used as consideration in the making. The tests were carried out using 2 conditions for each insulator, dry and wet testing condition. This research will describe the effect of the type of insulator surface fin variation on the distribution of electric field, contact angle, leakage current level, and flashover voltage in dry and wet conditions. The research method used is to take data on leakage current and flashover voltage at the High Voltage Engineering Laboratory, Brawijaya University. Form factor, imitation rain debit, contact angle, and simulation of electric field distribution on each insulator variation using FEMM 4.2 software.

Tests are carried out using high voltage AC. The results obtained from this study that the uniform disk type insulator has a smaller leakage current than the non-uniform disk type in both dry and wet conditions, which greatly affects the leakage current. The Imitation rain debit also affects the leakage current, where the increase in the rain debit is directly proportional to the level of leakage current and inversely proportional to the resistance of an insulator to withstand flashover voltages and the maximum average field strength is found in non-uniform disk type insulators and the lowest field strength is found in uniform disk type insulator, and according to the form factor calculation that the highest form factor value is found in uniform disk type insulators, and the lowest is found in non-uniform disk type insulators, and also the results of the calculation of the highest contact angle are found in the uniform disk type insulator and the lowest is found in the non-uniform disk type insulator so that the best hydrophobic properties are in the uniform fin insulator.

Keyword: *Polimer insulator, epoxy resin, fly ash, variations of insulator fins, contact angle, leakage current, flashover voltage*

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
RINGKASAN	iii
SUMMARY	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Isolator.....	6
2.2 Polimer Sebagai Bahan Isolator.....	7
2.3 Resin Epoksi Sebagai Material Isolator.....	8
2.4 <i>Fly Ash</i>	8
2.5 Parameter Geometris Isolator Bersirip.....	9
2.4.1 Jarak Minimum Antar Sirip (<i>shed</i>).....	9
2.4.2 Perbandingan Jarak Antar Sirip dengan Rentang Sirip (<i>s/p</i>).....	10
2.4.3 Perbandingan Jarak Rambat dengan Jarak Bebas (<i>l_d/d</i>).....	11
2.4.4 Faktor Profil.....	Error! Bookmark not defined.

2.6	Faktor Bentuk Isolator.....	12
2.7	Karakteristik Listrik Bahan Isolasi.....	13
2.6.1	Kekuatan Dielektrik.....	14
2.6.2	Resistansi Isolasi.....	14
2.6.3	Rugi-Rugi Dielektrik.....	17
2.6.4	Kekuatan Kerak Dielektrik.....	17
2.8	Pengaruh Polutan Terhadap Kinerja Isolator.....	18
2.9	Medan Listrik.....	19
2.10	Sudut Kontak.....	21
2.11	Arus Bocor.....	22
2.12	Curah Hujan.....	23
2.13	Konduktivitas Air Hujan.....	24
2.14	<i>Flashover</i>	25
2.14.1	Pengujian <i>Flashover</i> dalam Kondisi Kering.....	26
2.14.2	Pengujian <i>Flashover</i> dalam Kondisi Basah.....	26
BAB III METODE PENELITIAN.....		28
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	28
3.2	Studi Literatur.....	29
3.3	Variabel Penelitian.....	29
3.4	Peralatan Uji.....	29
3.5	Objek Uji.....	30
3.5.1	Isolator Tipe Sirip Seragam (BBB).....	30
3.5.2	Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam (BKB).....	31
3.6	Elektroda Uji.....	32
3.7	Persiapan Pengujian Kondisi Basah.....	33

3.8	Pengambilan Data.....	34
3.8.1	Simulasi Distribusi Medan Listrik Objek Uji	35
3.8.2	Pengujian Sudut Kontak pada Objek Uji	36
3.8.3	Pengujian Arus Bocor pada Objek Uji.....	36
3.8.4	Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> pada Objek Uji	38
3.9	Perhitungan dan Analisis.....	40
3.9.1	Perhitungan Faktor Bentuk Objek Uji.....	41
3.9.2	Perhitungan Debit Pembasahan.....	40
3.9.3	Analisis Hasil Pengujian Sudut Kontak	41
3.9.4	Analisis Hasil Pengujian Arus Bocor.....	41
3.9.5	Perhitungan Resistansi Permukaan Isolator	42
3.9.6	Perhitungan Rugi Daya Listrik.....	42
3.9.7	Analisis Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> pada Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Jumlah Sirip	42
3.10	Pengambilan Kesimpulan dan Saran	42
BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN.....		44
4.1	Simulasi Distribusi Medan Listrik pada Isolator	45
4.2	Perhitungan Faktor Bentuk Isolator Polimer Resin Epoksi.....	48
4.3	Perhitungan Debit Pembasahan Objek Uji	51
4.4	Perhitungan Sudut Kontak Objek Uji.....	52
4.5	Pengujian Arus Bocor pada Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip.....	53
4.5.1	Pengaruh Perubahan Tegangan Uji pada Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip Terhadap Peningkatan Arus Bocor Kondisi Kering	54
4.5.2	Pengaruh Perubahan Tegangan Uji pada Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip Terhadap Peningkatan Arus Bocor Kondisi Basah	57

4.5.3 Pengaruh Variasi Tipe Sirip pada Isolator Terhadap Peningkatan Arus Bocor Kondisi Kering dan Basah	61
4.5.4 Pengaruh Faktor Bentuk Isolator terhadap Tingkat Arus Bocor pada Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip.....	62
4.6 Perhitungan Resistansi Permukaan Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip pada Kondisi Kering dan Basah	64
4.7 Perhitungan Rugi Daya Listrik Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip pada Kondisi Kering dan Basah	69
4.8 Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> pada Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip	74
4.8.1 Pengaruh Variasi Tipe Sirip Permukaan Isolator terhadap Tegangan <i>Flashover</i> Isolator Polimer Kondisi Kering	74
4.8.2 Pengaruh Variasi Tipe Sirip Permukaan Isolator terhadap Tegangan <i>Flashover</i> Isolator Polimer Kondisi Basah	76
4.8.3 Pengaruh Faktor Bentuk Isolator terhadap Arus Bocor dan Tegangan <i>Flashover</i> Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip	78
BAB V PENUTUP	80
5.1 Kesimpulan.....	80
5.2 Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN 1.....	85
LAMPIRAN 2.....	88

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	<i>Fly Ash</i>	9
Gambar 2.2	Jarak minimum antar sirip (<i>c</i>)	10
Gambar 2.3	Jarak antar sirip (<i>s</i>) dan rentang sirip (<i>p</i>).....	10
Gambar 2.4	Jarak rambat <i>d</i> (<i>l_d</i>) dan jarak bebas (<i>d</i>).....	11
Gambar 2.5	Profil dan Parameter Isolator	11
Gambar 2.6	Bentuk geometris dan pemodelan sederhana isolator	12
Gambar 2.7	Arus pada dielektrik padat	15
Gambar 2.8	Rangkaian ekivalen arus bocor	15
Gambar 2.9	Rangkaian ekivalen arus bocor pada dielektrik padat.....	16
Gambar 2.10	Rangkaian Ekivalen Isolator Berpolutan.....	19
Gambar 2.11	Rangkaian pengambilan sudut kontak.....	21
Gambar 2.12	Rangkaian ekivalen isolator bersih	23
Gambar 2.13	Rangkaian ekivalen isolator berpolutan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	28
Gambar 3.2	Isolator tipe sirip seragam (BBB).....	30
Gambar 3.4	Isolator tipe sirip tidak seragam (BKB)	32
Gambar 3.5	Rangkaian pengujian kondisi basah	33
Gambar 3.6	Diagram alir simulasi distribusi medan listrik	35
Gambar 3.7	Diagram Alir Pengujian Sudut Kontak	36
Gambar 3.8	Rangkaian pengujian arus bocor	37
Gambar 3.9	Diagram alir pengujian arus bocor	38
Gambar 3.10	Rangkaian pengujian tegangan <i>flashover</i>	39
Gambar 3.11	Diagram alir pengujian <i>flashover</i>	40
Gambar 4.1	Distribusi tegangan dan intensitas medan listrik pada isolator sirip seragam	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.2	Grafik distribusi intensitas medan listrik pada permukaan isolator sirip.....	46
Gambar 4.3	Distribusi tegangan dan intensitas medan listrik pada isolator sirip tidak seragam.....	47
Gambar 4.4	Grafik distribusi intensitas medan listrik pada permukaan isolator tipe sirip	



tidak seragam.....	47
<i>Gambar 4.5</i> Pendekatan faktor bentuk isolator tipe sirip seragam.....	49
<i>Gambar 4.6</i> Pendekatan faktor bentuk isolator tipe sirip seragam.....	50
<i>Gambar 4.7</i> Sudut kontak isolator tipe sirip seragam.....	52
<i>Gambar 4.8</i> Sudut kontak isolator tipe sirip tidak seragam.....	53
<i>Gambar 4.10</i> Grafik hubungan tingkat arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator tipe sirip tidak seragam kondisi kering.....	56
<i>Gambar 4.11</i> Grafik perbandingan tingkat arus bocor pada isolator tipe sirip seragam dengan tipe sirip tidak seragam dalam kondisi kering.....	57
<i>Gambar 4.12</i> Grafik hubungan tingkat arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator tipe sirip seragam kondisi basah.....	58
<i>Gambar 4.13</i> Grafik hubungan tingkat arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator tipe sirip tidak seragam kondisi basah.....	60
<i>Gambar 4.14</i> Grafik perbandingan tingkat arus bocor pada isolator tipe sirip tidak seragam dengan tipe sirip tidak seragam dalam kondisi basah.....	60
<i>Gambar 4.15</i> Grafik perbandingan hasil pengujian tingkat arus bocor pada isolator tipe sirip tidak seragam dengan tipe sirip tidak seragam dalam kondisi kering dan basah.....	62
<i>Gambar 4.16</i> Grafik perbandingan faktor bentuk terhadap tingkat arus bocor pada isolator dengan variasi tipe sirip dalam kondisi kering dan basah.....	63
<i>Gambar 4.17</i> Grafik resistansi permukaan isolator tipe sirip seragam dalam kondisi kering.....	65
<i>Gambar 4.18</i> Grafik resistansi permukaan isolator tipe sirip seragam dalam kondisi basah.....	66
<i>Gambar 4.19</i> Grafik resistansi permukaan isolator tipe sirip tidak seragam dalam kondisi basah.....	67
<i>Gambar 4.20</i> Grafik resistansi permukaan isolator tipe sirip tidak seragam dalam kondisi basah.....	68
<i>Gambar 4.21</i> Grafik rugi daya listrik pada isolator tipe sirip seragam dalam kondisi kering.....	70
<i>Gambar 4.22</i> Grafik rugi daya listrik pada isolator tipe sirip seragam dalam kondisi basah.....	71
<i>Gambar 4.23</i> Grafik rugi daya listrik pada isolator tipe sirip tidak seragam dalam kondisi.....	

kering..... 72

Gambar 4.24 Grafik rugi daya listrik pada isolator tipe sirip tidak seragam dalam kondisi basah..... 73

Gambar 4.25 Grafik tegangan korona dan tegangan *flashover* pada isolator dengan variasi jumlah sirip dalam kondisi kering..... 75

Gambar 4.26 Grafik tegangan korona dan tegangan *flashover* pada isolator dengan variasi jumlah sirip dalam kondisi basah..... 77

Gambar 4.27 Grafik perbandingan tegangan korona dan tegangan *flashover* pada isolator dengan variasi tipe sirip dalam kondisi kering dan basah..... 78



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 3.1	Dimensi Isolator Tipe Sirip Seragam.....	31
Tabel 3.2	Dimensi Isolator Sirip Tidak Seragam.....	32
Tabel 4.1	Sudut kontak isolator tipe sirip seragam.....	52
Tabel 4.2	Sudut kontak isolator tipe sirip tidak seragam.....	53
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Arus Bocor pada Isolator Tipe Sirip Seragam dalam Kondisi Kering.....	54
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Arus Bocor pada Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam dalam Kondisi Kering.....	55
Tabel 4.5	Hasil Pengujian Arus Bocor pada Isolator Tipe Sirip Seragam dalam Kondisi Basah.....	58
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Arus Bocor pada Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam dalam Kondisi Basah.....	59
Tabel 4.7	Data Perbandingan Hasil Pengujian Arus Bocor pada Isolator Tipe Sirip Seragam dan Isolator Tipe Sirip tidak Seragam dalam Kondisi Kering dan Basah.....	61
Tabel 4.8	Perbandingan Faktor Bentuk terhadap Tingkat Arus Bocor pada Isolator dengan Variasi Tipe Sirip dalam Kondisi Kering dan Basah.....	63
Tabel 4.9	Nilai Resistansi Permukaan Isolator Tipe Sirip Seragam dalam Kondisi Kering.....	64
Tabel 4.10	Nilai Resistansi Permukaan Isolator Tipe Sirip Seragam dalam Kondisi Basah.....	65
Tabel 4.11	Nilai Resistansi Permukaan Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam dalam Kondisi Kering.....	66
Tabel 4.12	Nilai Resistansi Permukaan Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam dalam Kondisi Basah.....	68
Tabel 4.13	Rugi Daya Listrik pada Isolator Tipe Sirip Seragam dalam Kondisi Kering ..	70
Tabel 4.14	Rugi Daya Listrik pada Isolator Tipe Sirip Seragam dalam Kondisi Basah....	71
Tabel 4.15	Rugi Daya Listrik pada Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam dalam Kondisi Kering.....	72
Tabel 4.16	Rugi Daya Listrik pada Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam dalam Kondisi Basah.....	

Tabel 4.17 Pengaruh Variasi Tipe Sirip Isolator terhadap Tegangan Korona dan <i>Flashover</i> dalam Kondisi Kering.....	75
Tabel 4.18 Pengaruh Variasi Jumlah Sirip Isolator terhadap Tegangan Korona dan <i>Flashover</i> dalam Kondisi Basah.....	76
Tabel 4.19 Perbandingan Faktor Bentuk terhadap Tegangan Korona dan Tegangan <i>Flashover</i> pada Isolator dengan Variasi Jumlah Sirip dalam Kondisi Kering dan Basah... ..	79





BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan Teknologi yang sangat pesat saat ini menuntut kita untuk memperoleh energi listrik yang memadai untuk peralatan listrik. Agar dapat memenuhi kebutuhan yang semakin meningkat maka diperlukan pembangkit dengan jumlah yang memadai dan untuk menyalurkan tenaga listrik kepada konsumen diperlukan saluran transmisi yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari pusat pembangkit sampai ke gardu induk. Tenaga listrik kemudian disalurkan kepada konsumen melalui saluran distribusi. Untuk mendapatkan sebuah sistem tenaga listrik yang identik, maka diperlukan peralatan-peralatan listrik yang handal. Salah satu peralatan listrik yang sangat penting pada penyaluran tenaga listrik adalah isolator.

Dalam sistem tenaga listrik, isolator jaringan digunakan untuk mendukung konduktor jaringan yang dapat berupa kabel listrik atau kabel yang dialihkan ke atas tiang listrik. Insulator dapat memisahkan dua atau lebih konduktor secara elektrik untuk menghindari terjadinya arus bocor atau flashover yang berpotensi menimbulkan kerusakan pada sistem jaringan (Dhofir et al., 2017, p.1). Kegagalan isolasi (*insulation breakdown* atau *insulation failure*) ini disebabkan karena beberapa hal antara lain isolasi tersebut sudah dipakai untuk waktu yang lama, kerusakan mekanis, berkurangnya kekuatan dielektriknya, dan karena isolasi tersebut dikenakan tegangan lebih (Arismunandar, 2001, p.6). Kegagalan akan menyebabkan hilangnya tegangan dan mengalirnya arus (Carrara & Deller, 1996, p.996). Kegagalan isolator dalam melaksanakan fungsinya dapat dibagi menjadi dua jenis yaitu, kegagalan tembus (*breakdown*) dan kegagalan lewat denyar (*flashover*), (Yandri & Nurhatisyah, 2012, p.3). Kegagalan tembus (*breakdown*) berakibat pada tidak dapat pulihnya karakteristik elektrik dari isolator seperti semula dan sebagian isolator mengalami kerusakan mekanik sehingga tidak dapat digunakan kembali, sedangkan kegagalan lewat denyar (*flashover*), umumnya bergantung pada tahanan permukaan dan bentuk isolator. Kegagalan lewat denyar (*flashover*) biasanya disebabkan oleh kondisi lingkungan dan menyebabkan terjadinya kerusakan pada permukaan isolator karena pada umumnya isolator dipasang di luar ruangan pada ruang terbuka sehingga pengaruh lingkungan seperti suhu, kelembaban, radiasi ultraviolet, polusi udara dan curah perlu diperhatikan.

Salah satu komponen itu yang berperan penting adalah isolator sebagai pemisah peralatan bagian tegangan serta penahan dan mendukung saluran kawat. Isolator awalnya terbuat dari keramik dan gelas. Kemudian pada tahun 1963, isolator polimer dikembangkan dan ditingkatkan sampai saat ini. Isolator polimer dikenal juga dengan sebutan isolator non keramik atau isolator komposit, isolator polimer ini banyak digunakan dikarenakan kelebihan dibandingkan dengan isolator berbahan keramik dan gelas. Kelebihannya, yaitu lebih ringan, sifat rugi dielektrik yang lebih kecil, resistivitas volume yang lebih tinggi, proses produksinya yang lebih cepat, dan biaya produksi yang lebih murah (Ali et al., 2017, p.1-2). Oleh karena itu penelitian ini menggunakan isolator polimer dengan keunggulan yang lebih baik dibandingkan dengan isolator lainnya.

Penggunaan isolator polimer untuk pasangan luar akan mengalami simultan dari terpaan iklim dan cuaca yang terjadi. Indonesia yang terletak pada garis khatulistiwa merupakan wilayah beriklim tropis dimana rata-rata lama penyinaran matahari sekitar 12 jam, temperatur udara antara 16-35°C, kelembaban sekitar 100% pada malam hingga pagi hari, curah hujan cukup tinggi antara 40-500 mm. selain itu, dari publikasi organisasi *greenpeace* mengatakan bahwa indonesia merupakan negara yang mengalami polusi tertinggi di dunia. Kondisi lingkungan seperti ini dapat menurunkan kinerja isolator pasangan luar (Manjang & Mustamin, 2011, p.2) Untuk mengevaluasi ketahanan jangka panjang dari rancangan isolator resin epoksi pasangan luar, diperlukan penelitian mengenai parameter listrik dari isolator, yaitu arus bocor dan ketahanan tegangan (*flashover*).

Penelitian mengenai analisis arus bocor dan tegangan *flashover* pada isolator resin epoksi silane dengan pasir silika pada kondisi basah dan kering (Syakur et al., 2012, p.4), dalam penelitian tersebut, dilakukan pengujian arus bocor dan tegangan *flashover* pada isolator resin epoksi silane 20 kV dibawah iklim tropis buatan dengan parameter kondisi kering dan basah. Isolator yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan variasi tiga sirip, yaitu variasi sirip besar besar (BBB) dan sirip besar kecil besar (BKB). Pengujian yang dilakukan berdasarkan beberapa variasi, yaitu variasi tegangan uji, variasi suhu udara, dan variasi kelembaban udara. Hasil pengujian arus bocor didapatkan semakin tinggi nilai tegangan uji dan kelembaban udara maka nilai arus bocor semakin besar. Untuk parameter suhu udara, semakin tinggi suhu udara maka nilai arus bocor semakin kecil sedangkan hasil pengujian tegangan *flashover* semakin panjang jarak yang dilewati oleh loncatan api akan semakin besar tegangan *flashover*nya.

Berdasarkan uraian hasil penelitian terdahulu, maka dalam penelitian ini dilakukan analisa uji isolator polimer resin epoksi menggunakan komposisi *Fly Ash* sebagai salah satu bahan pengisi terhadap arus bocor dan tegangan *flashover*. Dengan tipe sirip isolator yaitu tipe BBB dan BKB dengan jumlah sirip 3 buah. Material uji yang digunakan dalam tugas akhir adalah resin epoksi yang dibentuk dari bisphenol A - epichlorohydrin (DGEBA) dan polyaminoamide yang dicampur dengan silane dan *Fly Ash*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh tipe sirip terhadap distribusi medan listrik isolator polimer resin epoksi *filler Fly Ash*.
2. Bagaimana pengaruh variasi sirip terhadap karakteristik arus bocor dan tegangan *flashover* terhadap kondisi kering.
3. Bagaimana pengaruh variasi sirip terhadap karakteristik arus bocor dan tegangan *flashover* terhadap kondisi basah.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah tersebut batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bahan dasar material isolator yang digunakan adalah polimer resin epoksi dengan *Bisphenol A-Epichlorohydrin* dengan pengisi *Fly Ash* dengan komposisi (*Bisphenol A-Epichlorohydrin, Polyaminoamide, Fly Ash*) karena isolator polimer dengan bahan-bahan tersebut berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan dapat menghasilkan isolator yang memiliki kualitas lebih unggul dibandingkan dengan isolator jenis keramik dan gelas.
2. Tidak membahas secara detail unsur kimia dari bahan isolator.
3. Tidak membahas struktur kimia isolator.
4. Isolator yang akan diteliti dalam kondisi bersih.
5. Landasan desain mekanis isolator adalah standar IEC 60815-2.
6. Sirip isolator yang digunakan ada 2 yaitu tipe sirip seragam BBB dan tipe sirip tidak seragam BKB.

7. Pengkondisian objek uji dan pengujian dilakukan dalam satu ruang.
8. Untuk setiap objek uji akan diterapkan beberapa level tegangan.
9. Pengujian dalam kondisi basah dengan menggunakan air tanah dengan pengaturan debit pembasahan menyesuaikan dengan tren curah hujan di Indonesia dari BKMKG.
10. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tegangan tinggi AC dengan frekuensi 50 Hz dan dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan tinggi Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
11. Simulasi distribusi medan listrik pada penelitian ini menggunakan aplikasi FEMM 4.2.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merekayasa, menguji, dan mendapatkan pengaruh variasi sirip isolator polimer resin epoksi *filler Fly Ash* dan karakteristik performansi isolator polimer resin epoksi *filler Fly Ash* pada kondisi kering dan basah.

1.5 Manfaat

Penelitian skripsi ini diharapkan mampu memberikan manfaat sekurang-kurangnya antara lain:

1. Bagi penulis, manfaatnya yaitu sebagai sarana belajar dalam meneliti dan menganalisis pengaruh variasi sirip permukaan isolator polietilen terhadap distribusi medan listrik serta tingkat arus bocor dan tegangan *flashover* pada kondisi kering dan basah.
2. Bagi pembaca, manfaatnya yaitu sebagai sarana untuk menambah wawasan mengenai pengaruh variasi sirip permukaan isolator polietilen terhadap distribusi medan listrik serta tingkat arus bocor dan tegangan *flashover* pada kondisi kering dan basah.
3. Bagi akademisi, yaitu diharapkan dapat dipertimbangkan sebagai dasar dalam perancangan isolator pada suatu peralatan listrik.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini terbagi dalam lima bab dengan isi dari kelima bab tersebut adalah sebagai berikut:

BAB I : Merupakan pendahuluan yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB II : Membahas mengenai tinjauan pustaka, pandangan umum tentang isolator, parameter geometris isolator, faktor bentuk dari isolator, karakteristik listrik bahan isolasi, pengaruh polutan terhadap kinerja isolator, medan listrik, arus bocor, curah hujan, konduktifitas air hujan, dan *flashover*.

BAB III : Merupakan metodologi penelitian yang berisikan diagram alir penelitian, studi literatur, variabel penelitian, peralatan uji, objek uji, elektroda uji, persiapan pengujian basah, pengambilan data, perhitungan dan analisis, serta pengambilan kesimpulan dan saran.

BAB IV : Membahas hasil simulasi distribusi medan listrik dan pengujian isolator polimer pada kondisi kering dan basah serta perhitungannya.

BAB V : Berisi kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan di dalam skripsi.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Peralatan Isolasi merupakan sifat suatu bahan yang memiliki resistansi yang sangat tinggi sehingga dapat memisahkan secara elektris dua buah benda betegangan seperti penghantar (atau lebih) yang berdekatan sehingga tidak terjadi kebocoran arus listrik dan dalam nilai yang tinggi berupa lompatan api (*flashover*). Isolator adalah peralatan listrik yang dipakai untuk menjalankan tugas sebagai isolasi. Isolasi sangat penting dalam teknik tegangan tinggi dan dalam arti ekonomisnya sehingga penghematan dalam pemakaiannya adalah mutlak perlu.

Berdasarkan macam bahan yang digunakan, bahan isolasi dapat dibagi menjadi 3 jenis yaitu padat, cair dan gas. Sedangkan berdasarkan fungsinya, bahan isolasi dapat digolongkan sebagai berikut: (Arismunandar, 2001, p.138)

- a. Penyangga / penggantung (*solid support*), berbentuk padat; misalnya porselin, kaca, kayu, kertas.
- b. Bahan pengisi (*filling media*), berupa cairan atau gas; misalnya udara, minyak, bitumen.
- c. Bahan penutup (*covering materials*), berupa bahan yang biasanya terdapat pada bagian luar, berupa bahan padat atau cair; misalnya mika, pernis dan enamel.

Karakteristik dari bermacam-macam isolator ditentukan oleh hukum yang sama, meskipun masing-masing mempunyai beberapa ciri perencanaan khusus. Pada dasarnya beban mekanis yang terjadi pada isolator merukan gaya tarikan atau tekanan (*stress*) yang harus mampu dilawan oleh suatu gaya di dalam isolator itu sendiri supaya isolator itu tidak gagal dalam menjalankan fungsinya.

2.1 Isolator

Pada Isolator jaringan tenaga listrik merupakan alat tempat menopang kawat penghantar jaringan pada tiang-tiang listrik yang digunakan untuk memisahkan secara elektris dua buah kawat atau lebih agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage current*) atau lewat-denyar (*flashover*) sehingga mengakibatkan terjadinya kerusakan pada sistem jaringan tenaga listrik.

Pada suatu sistem tenaga listrik terdapat berbagai bagian yang memiliki tegangan sehingga bagian yang tidak bertegangan ini harus dipisahkan dari bagian-bagian yang bertegangan.

Hal ini dilakukan agar tidak terjadi aliran arus yang tidak semestinya ada antara satu bagian

dengan yang lainnya. Misalnya pada suatu jaringan transmisi, antara suatu konduktor penghantar dengan konduktor lainnya dipisahkan oleh udara. Namun konduktor ini harus digantungkan pada menara penopang sehingga dibutuhkan suatu isolator yang cukup kuat untuk menopang konduktor ini sekaligus mengisolasi antara konduktor dengan menara yang terhubung ke tanah agar tidak terjadi hubung singkat ke tanah (Looms, 2006 pp. 133-134).

Isolator yang baik dapat menghindarkan terjadinya kerusakan terhadap peralatan listrik akibat tegangan lebih dan loncatan bunga api. Maka dari itu, Isolator merupakan bagian yang penting dalam sistem saluran tenaga listrik dan suatu isolator harus bisa memenuhi fungsi utamanya.

Adapun fungsi utama isolator adalah:

1. Untuk penyekat/mengisolasi penghantar dengan tanah dan antara penghantar dengan penghantar.
2. Untuk memikul beban mekanis yang disebabkan oleh berat penghantar dan/ atau gaya tarik penghantar.
3. Untuk menjaga agar jarak antar penghantar tetap (tidak berubah).

2.2 Polimer Sebagai Bahan Isolator

Isolator polimer adalah bahan penyusun isolator yang masih terbilang baru. Pada beberapa dekade terakhir penggunaan isolator polimer semakin banyak sebagai pengganti isolator bahan porselin dan gelas. Hal ini dikarenakan isolator polimer memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan porselin dan gelas (Billmeyer, 1984, pp. 361-366). Polimer merupakan zat yang terdiri atas rangkaian panjang molekul kecil (monomer) yang berulang-ulang membentuk molekul besar (makromolekul).

Kelebihan isolator polimer;

1. Memiliki sifat hidrofobik yang sangat baik
2. Memiliki massa jenis yang lebih kecil dibandingkan isolator berbahan porselin dan gelas.
3. Memiliki sifat dielektrik dan termal yang lebih tinggi
4. Tahan terhadap polusi sehingga kotoran sukar menempel pada permukaan.
5. Tidak terdapat lubang karena bahan yang digunakan sangat rapat. Adapun kekurangan yang dimiliki isolator polimer;

1. Kekuatan mekanis isolator polimer lebih rendah dibandingkan isolator berbahan porselin

dan gelas.

2. Ketidakcocokan bahan antar muka yang digunakan dapat menimbulkan korosi atau keretakan.
3. Rentan terhadap perubahan cuaca yang ekstrim
4. Penuaan/degradasi pada permukaan dan stress yang disebabkan oleh korona, radiasi UV, atau zat kimia dapat mengakibatkan reaksi kimia pada permukaan isolator polimer. Sehingga dapat mempercepat penuaan yang dapat menghilangkan sifat hidrofobiknya.

2.3 Resin Epoksi Sebagai Material Isolator

Epoxy Resin adalah bahan kimia yang merupakan salah satu jenis resin yang diperoleh dari proses polimerisasi. Umumnya dikenal sebagai bahan pengeras atau *hardener*. Resin epoksi merupakan polimer yang mengandung atom oksigen dengan atom carbon sehingga terbentuk *ethylene oxide* (I), *trimethylene oxide* (II), dan *tetrahydrofuran* (III) (Simatupang, 2018, p. 28).

Resin merupakan bahan polimer yang banyak digunakan sebagai bahan isolator karena selain mudah didapatkan di pasaran juga tersedia dalam bentuk padat maupun cair sehingga mudah dibentuk sesuai dengan kebutuhan. Bahan dasar resin epoksi adalah *Diglicidyl Ether of Bisphenol A (DGEBA)*, merupakan polimer resin epoksi yang mempunyai sifat fisika dan mekanika berbeda-beda tergantung pada proses polimerisasinya. Resin juga bersifat tidak higroskopis, mempunyai ketahanan mekanik dan terhadap zat kimia yang baik serta harganya murah (Dermawan, et al., 2012, p. 2).

Dalam penelitian ini, jenis resin epoksi digunakan adalah *Bisphenol A - Epichlorohydrin (DGEBA)* dengan *Polyaminoamide* sebagai *hardener*. DGEBA diperoleh dari reaksi *Epichlorohydrin* dan *Bisphenol A*, dengan berat molekul 380 dan mengandung dua gugus *glycidyl ether* per molekul. DGEBA dijual secara komersil dalam bentuk cairan bening, dapat dirubah menjadi suatu produk *thermoset* bila direaksikan dengan suatu agen pematangan (*hardener*), dengan vulkanisasi suhu ruangan (*room temperature vulcanized = RTV*) antara 5 °C sampai 80 °C.

2.4 Fly Ash

Abu *Fly Ash* atau Abu terbang merupakan limbah berbahan bakar batubara di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) berbentuk bulat dan menguap. *Fly Ash* merupakan

salah satu aditif yang dapat digunakan sebagai pengganti semen pada campuran beton dan titik leburnya sekitar $1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Waluko et al., 2018, p.3). Abu terbang tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen, namun dengan kehadiran air dan ukurannya yang halus, silika oksida (SiO_2) yang dikandung di dalam abu terbang akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan yang mengikat.



Gambar 2.1 Fly Ash

Sumber: Waluko et al., (2018, p.3)

2.5 Parameter Geometris Isolator Bersirip

Parameter geometris suatu isolator adalah suatu besaran yang membedakan profil suatu isolator dengan isolator lainnya. Parameter geometris isolator menentukan kemampuan dari isolator dalam menjalankan tugasnya, sehingga isolator yang baik adalah isolator dengan parameter geometris yang sesuai standar. Parameter geometris yang dapat digunakan sebagai pembeda isolator dengan sirip adalah sebagai berikut:

2.4.1 Jarak Minimum Antar Sirip (*shed*)

Jarak minimum antar sirip (*c*) perlu dipertimbangkan supaya air hujan mengalir mengikuti kontur permukaan isolator tanpa menjembatani dua sirip berdekatan. Parameter jarak minimum antar sirip dapat dijelaskan dengan bantuan Gambar 2.2.



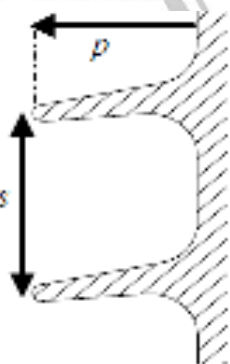
Gambar 2.2 Jarak minimum antar sirip (c)

Sumber: IEC (2008, p.16)

Berdasarkan pengalaman nilai c minimal adalah 30 mm. Sedangkan untuk isolator yang panjang totalnya lebih kecil atau sama dengan 550 mm atau isolator yang mempunyai rentangan sirip (*shed overhang*), p , lebih kecil atau sama dengan 40 mm, maka nilai c hingga 20 mm masih dapat diterima (Tobing, 2012, p.146).

2.4.2 Perbandingan Jarak Antar Sirip dengan Rentang Sirip (s/p)

Perbandingan ini akan menentukan sifat pencucian alami (*self cleaning*) isolator. Nilai dari perbandingan ini tidak kurang dari 0,8. Untuk isolator jenis sirip mendatar (tanpa rusuk), nilai tersebut dapat direduksi menjadi 0,65 (Tobing, 2012, p.146). Parameter jarak antar sirip dan rentang sirip dapat dijelaskan dengan bantuan Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Jarak antar sirip (s) dan rentang sirip (p)

Sumber: IEC (2008, p.15)

Perbandingan S/P menggambarkan pembatasan dalam pemilihan jarak bocor yang terlalu besar, (s) diukur antara dua titik yang ditetapkan sebagai spasi serta (p) diameter sirip untuk mengukurnya mulai dari dalam permukaan sirip sampai ujung sirip.

2.4.3 Perbandingan Jarak Rambat dengan Jarak Bebas (l_d/d)

Perbandingan ini dipertimbangkan untuk mencegah terjadinya hubung singkat lokal. Nilainya tidak lebih daripada 5. Perbandingan diambil pada bagian isolator yang paling buruk (Tobing, 2012, p.146). Parameter jarak rambat d dan jarak bebas dapat dijelaskan dengan bantuan Gambar 2.4.

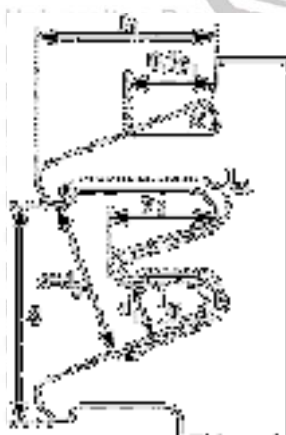


Gambar 2.4 Jarak rambat d (l_d) dan jarak bebas (d)

Sumber: IEC (2008, p.16)

2.6 Faktor Profil

Faktor perbandingan jarak bocor yang disederhanakan (*simplified leakage distance*), l_s , dengan jarak rambat isolasi sebenarnya (*actual insulating creepage distance*), l_a , yang diukur antara dua titik yang ditetapkan sebagai spasi (s). Nilai PF akan bergantung pada banyak ukuran sirip dan dapat dituliskan sebagai berikut: (Tobing, 2012, p.146) Untuk isolator satu ukuran sirip:



Gambar 2.5 Profil dan Parameter Isolator

$$PF = \frac{(2p_1 + s)}{l_a} \quad (2-1)$$

Untuk isolator dengan sirip berselang-seling:

$$PF = \frac{(2p_1 + 2p_2 + s)}{l_a} \quad (2-2)$$

Dalam hal ini:

PF = Faktor profil isolator

p_1 = Diameter sirip besar (mm)

p_2 = Diameter sirip kecil (mm)

s = Jarak antar sirip isolator (mm)

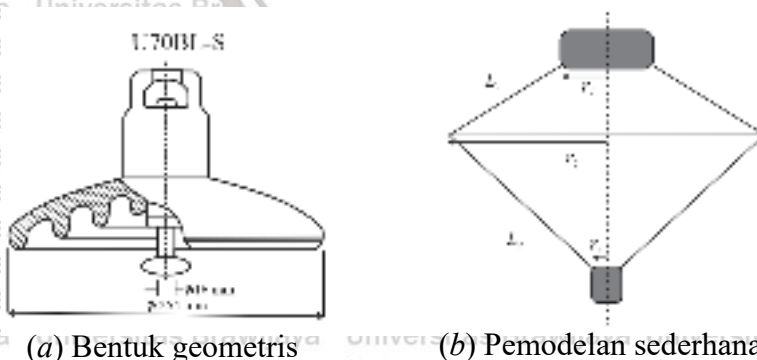
l_a = Jarak rambat isolator sebenarnya (mm)

Dalam hubungannya dengan tingkat bobot polusi, nilai PF di anjurkan sebagai berikut:

- PF lebih besar dari 0,8 untuk tingkat polusi ringan dan sedang.
- PF lebih besar dari 0,7 untuk tingkat polusi berat dan sangat berat.

2.7 Faktor Bentuk Isolator

Faktor bentuk isolator adalah besaran yang membedakan bentuk isolator satu dengan lainnya. Suatu isolator dapat dimodelkan dengan sederhana seperti yang digambarkan dalam Gambar 2.6 (b). Nilai faktor bentuk isolator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2-3) untuk pemodelan sederhana bentuk kerucut dan persamaan (2-4) untuk pemodelan sederhana bentuk silinder.



Gambar 2.6 Bentuk geometris dan pemodelan sederhana isolator

Sumber: Holtzhausen & Vosloo (2011, p.80).

Didalam pemodelan diibaratkan isolator dibagi menjadi dua bagian yang terdiri dari dua

buah kerucut. Kerucut bagian atas mewakili bagian atas isolator, yang merupakan jarak rambat bagian isolator yang ditarik dari bagian elektroda yang menyentuh isoator ke bagian terluar isolator yang di definisikan dengan L_1 , lalu L_2 yang merupakan jarak rambat isolator bagian bawah dan r_2 merupakan jari-jari isolator yang ditarik dari sisi terluar isolator. r_1 dan r_3 merupakan jari-jari elektroda dari variabel-variabel yang telah diketahui maka dapat dihitung faktor bentuk menggunakan persamaan berikut: (Holtzhausen & Vosloo, 2011, p.80)

$$F_B = \frac{L_1}{2 \times 3,14 \times (r_2 - r_1)} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{L_2}{2 \times 3,14 \times (r_2 - r_3)} \ln \frac{r_2}{r_3} \quad (2-3)$$

Dalam hal ini:

F_B = Faktor bentuk isolator

L_1 = Jarak rambat terluar isolator (cm)

L_2 = Jarak rambat bagian bawah isolator (cm)

r_1, r_3 = Jari-jari elektroda (cm)

r_2 = Jari-jari isolator yang ditarik dari sisi terluar isolator (cm)

Faktor bentuk isolator batang panjang dan isolator lain juga dapat diketahui dengan membagi isolator menjadi bagian kerucut dan silinder. Nilai faktor bentuk dari bagian silinder yang memiliki panjang (L) dan jari-jari (R) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut: (Holtzhausen & Vosloo, 2011, p.80)

$$F_B = \frac{L}{2 \pi R} \quad (2-4)$$

Dalam hal ini:

F_B = Faktor bentuk isolator

L = Panjang silinder isolator (cm)

R = Jari-jari silinder isolator (cm)

Untuk memperoleh nilai faktor bentuk isolator tersebut secara lengkap, dapat dilakukan dengan menjumlahkan nilai faktor bentuk dari berbagai bagian pada isolator tersebut.

2.8 Karakteristik Listrik Bahan Isolasi

Salah satu tujuan pengujian tegangan tinggi adalah untuk meneliti karakteristik listrik

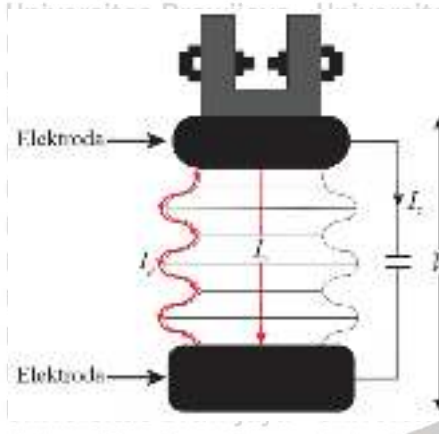
bahan isolasi. Karakteristik listrik terdapat pada semua bahan isolasi, baik yang telah digunakan sebagai bagian dari sistem isolasi peralatan listrik maupun yang masih dalam taraf penelitian. Beberapa karakteristik listrik pada bahan isolasi yang perlu diketahui adalah sebagai berikut:

2.6.1 Kekuatan Dielektrik

Setiap bahan isolasi memiliki kemampuan untuk memikul besarnya kuat medan listrik. Jika kuat medan listrik yang dipikul berlangsung dalam jangka waktu yang cukup lama dengan besar yang melebihi batas kekuatan yang bisa diterima oleh bahan isolasi, maka akan mengalir arus yang tinggi pada bahan isolasi kemudian terjadilah kegagalan isolasi. Dalam kasus ini bahan isolasi mengalami kegagalan tembus listrik (*electrical breakdown*). Kekuatan dielektrik merupakan kuat medan listrik tertinggi yang dapat dipikul oleh bahan isolasi dan tidak menimbulkan adanya tembus (Tobing, 2012, p.26).

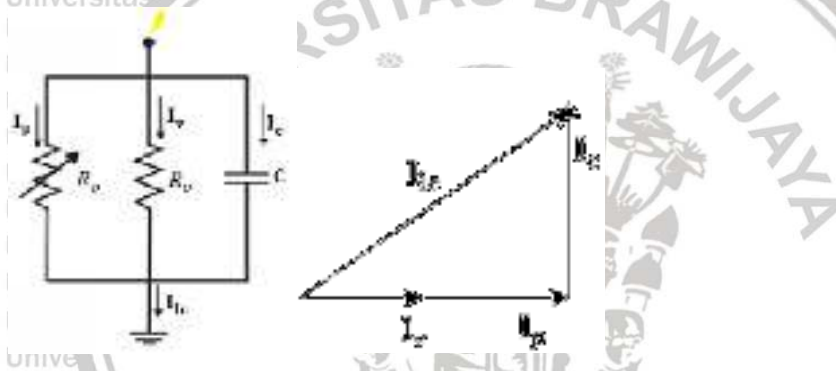
2.6.2 Resistansi Isolasi

Suatu bahan isolasi apabila diberi tegangan searah, maka arus akan mengalir melalui permukaan dan bagian dalam isolator. Arus yang mengalir pada permukaan bahan isolasi disebut arus permukaan (I_p), dengan hambatan yang dialami arus ini disebut tahanan permukaan (R_p). Arus yang mengalir pada bagian dalam isolator disebut arus volume (I_v), dengan hambatan yang dialami arus ini disebut tahanan volume (R_v). Besar dari tahanan permukaan dipengaruhi oleh kondisi dari permukaan isolator, sedangkan besar dari tahanan volume dipengaruhi oleh bahan penyusun isolator. Apabila suatu bahan isolasi diberi tegangan AC, maka akan mengalir arus selain kedua arus tersebut, yaitu arus kapasitif (I_c). Arus kapasitif terjadi karena adanya kapasitansi yang dibentuk isolator dengan elektroda. Pada Gambar 2.7 ditunjukkan arus permukaan, arus volume, dan arus kapasitif yang mengalir pada suatu isolator.



Gambar 2.7 Arus pada dielektrik padat

Dari Gambar 2.7, dapat dibuat rangkaian ekivalen arus bocor pada suatu isolator seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Rangkaian ekivalen dan Diagram fasor arus bocor

Sumber: Naisbitt (2018, p.15)

Dari Gambar 2.8, dilihat bahwa I_v dan I_p merupakan beban resistif maka pada gambar diagram fasor arusnya sefasa dengan tegangan karena I_c mendahului sebesar 90° maka arah vektor I_c tegak lurus terhadap I_v dan I_p , I_c sendiri merupakan arus penjumlahan vektor dari $I_p + I_v + I_c$ oleh karena itu arus bocor (I_c) yang mengalir pada isolator dapat dihitung menggunakan persamaan berikut: (Naisbitt, 2018, p.16)

$$I_c = I_p + I_v + I_c \quad (2-5)$$

Karena tahanan volume relatif besar dibandingkan dengan tahanan permukaan, maka menyebabkan arus volume dapat diabaikan (Naisbitt, 2018, p.16). Sehingga, persamaan arus bocor dapat disederhanakan menjadi sebagai berikut:

$$I_c = I_p + I_c \quad (2-6)$$

Dalam hal ini:

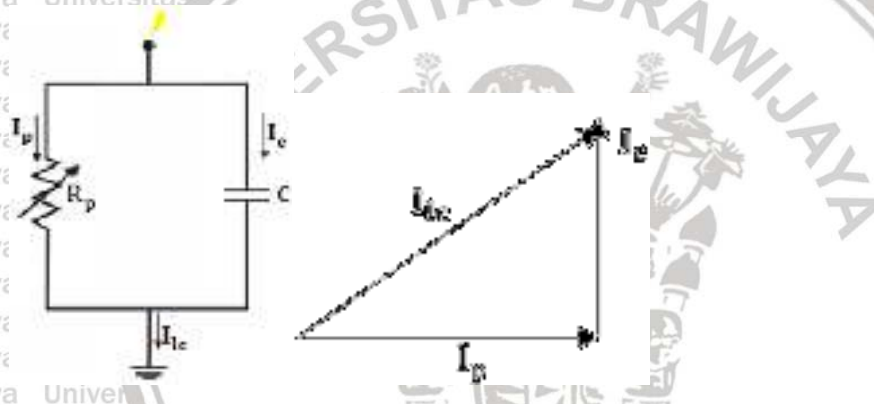
I_{lc} = Arus Bocor

I_p = Arus Permukaan

I_v = Arus Volume

I_c = Arus Kapasitif

Dengan demikian, rangkaian ekivalen arus bocor pada suatu isolator menjadi seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Rangkaian ekivalen dan Diagram fasor arus bocor pada dielektrik padat

Sumber: Naisbitt (2018, p.16)

Dilihat bahwa I_p merupakan beban resistif maka pada gambar diagram fasor arusnya sefasa dengan tegangan karena I_c mendahului sebesar 90° maka arah vektor I_{lc} tegak lurus terhadap I_p , I_v dihilangkan karena arusnya sangat kecil yang disebabkan tahanan volume yang relative besar sehingga I_{lc} sendiri merupakan arus penjumlahan vektor dari $I_p + I_c$.

Resistansi isolator dapat bervariasi. Dikarenakan terdapat arus absorpsi, maka hasil dari pengukuran resistansi isolasi juga bergantung pada waktu pengukuran. Selain itu, resistansi juga dipengaruhi oleh bentuk elektroda, kelembapan, dan temperatur. Bahan isolasi yang baik adalah bahan dengan arus absorpsi kecil atau yang indeks polaritasnya besar (Tobing, 2012, pp. 38-41). Polutan yang menempel pada permukaan isolator akan menyebabkan resistansi permukaan isolator menurun, sehingga besar arus permukaan yang mengalir pada permukaan isolator meningkat dan arus bocor semakin besar. Resistansi permukaan juga

dipengaruhi oleh udara di permukaan isolator.

2.6.3 Rugi-Rugi Dielektrik

Rugi-rugi daya yang timbul pada bahan isolasi akibat pemberian tegangan AC pada suatu bahan isolasi disebut rugi-rugi dielektrik. Rugi-rugi ini dapat berubah menjadi panas yang menyebabkan temperatur bahan isolasi naik. Sumber rugi-rugi ini adalah rugi-rugi pada resistansi bahan isolasi (i^2r) atau rugi-rugi konduktif, rugi-rugi pada resistansi kontak, terjadinya peluahan pada rongga udara yang mungkin ada di dalam bahan isolasi, atau rugi-rugi dipol. Rugi-rugi elektrik murni diakibatkan oleh rugi-rugi konduktif dan rugi-rugi dipol (Tobing, 2012, p.29). Arus bocor pada permukaan isolator dapat menyebabkan rugi-rugi yang akan menimbulkan rugi-rugi daya pada isolator. Rugi-rugi daya listrik karena arus bocor dapat direpresentasikan dalam persamaan berikut: (Dhofir et al., 2017, p.1341)

$$P_{loss} = I_{lc}^2 \times R_s \dots\dots\dots (2-7)$$

Dalam hal ini:

P_{loss} = Daya yang hilang (*Watt*)

I_{lc} = Arus bocor yang mengalir pada isolator (*A*)

R_p = Resistansi permukaan isolator (Ω)

Dalam kurun waktu satu hari akan terdapat banyak sekali kemungkinan untuk permukaan isolator berada pada kondisi basah, maka dari itu rugi-rugi perlu diperhitungkan. Rugi-rugi energi yang terjadi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut: (Dhofir et al., 2017, p.1341)

$$W_{loss} = 8760 \cdot P_{loss} \dots\dots\dots (2-8)$$

Dalam hal ini:

W_{loss} = Energi listrik yang hilang dalam satu tahun (*Wh*)

P_{loss} = Daya yang hilang (*Watt*)

2.6.4 Kekuatan Kerak Isolasi

Apabila suatu bahan isolasi dikenai suatu medan elektrik, arus akan mengalir pada permukaan bahan isolasi tersebut, arus ini disebut arus bocor atau arus rambat. Arus rambat ini besarnya ditentukan oleh resistansi permukaan bahan isolasi, arus rambat menimbulkan

panas pada permukaan isolator yang kemudian akan menguraikan bahan kimia yang melapisi permukaan isolator. Penguraian bahan kimia tersebut memiliki efek yang sangat nyata yaitu timbulnya jejak arus pada permukaan isolator, jejak arus inilah yang disebut kerak dielektrik (Tobing, 2012, p.42).

Terbentuknya kerak dielektrik dipengaruhi oleh sifat material bahan isolator, bentuk dan kehalusan permukaan konduktor yang dipikul isolator, dan lingkungan dari isolator. Mekanisme timbulnya kerak dielektrik mirip dengan mekanisme terjadinya peluahan yang mana beberapa kerak dapat menyebabkan terjadinya peluahan sempurna. Terjadinya peluahan sempurna dapat dipicu oleh bergabungnya beberapa kerak dielektrik.

2.9 Pengaruh Polutan Terhadap Kinerja Isolator

Polutan baik yang konduktif maupun yang bersifat lembam sebagian besar dibawa oleh angin ke permukaan isolator. Arah dan kecepatan angin sangat mempengaruhi pola pembentukan endapan isolator yang bentuknya tak beraturan. Hal ini terlihat jelas pada daerah yang berangin konstan.

Medan elektrostatis mempengaruhi pengumpulan apatikel yang dibawa angin terutama pada bagian isolator yang mengalami stress tegangan yang tinggi, misalnya di sekitar phasa pada isolator gantung. Medan elektrostatis akan mengikat partikel-partikel melalui proses polarisasi begitu menyentuh permukaan isolator, sehingga pengaruhnya terlihat jelas pada isolator ke tegangan tinggi arus searah dengan polaritas sama. Pemanasan oleh arus bocor yang mengalami stress tegangan tinggi menghalangi proses pencucian oleh alam dan mempertinggi pengumpulan zat pengotor. Pada isolator dengan tegangan bolak-balik dengan arus bocor lebih besar dibandingkan pengaruh medan elektrostatis.

Polutan yang terkandung di udara dapat menempel pada permukaan isolator dan berangsur-angsur membentuk suatu lapisan pada permukaan isolator. Unsur polutan yang paling berpengaruh terhadap unjuk kerja isolator adalah garam yang terbawa oleh angin laut. Lapisan garam ini bersifat konduktif terutama pada keadaan cuaca lembab, berkabut atau ketika hujan gerimis. Jika cuaca seperti ini terjadi, maka akan mengalir arus bocor dari kawat fasa jaringan ke tiang penyangga melalui lapisan konduktif yang menempel di permukaan isolator (Tobing, 2012, p.157).



Gambar 2.10 Rangkaian Ekivalen Isolator Berpolutan

Sumber: Bangun (2016, p.22)

Lapisan polutan konduktif tersebut dapat dianggap sebagai suatu tahanan yang menghubungkan kedua jepitan logam isolator. Tahanan lapisan polutan jauh lebih rendah daripada tahanan dielektrik padat isolator. Jika jepitan (a) bertegangan dan jepitan (d) dibumikan, maka arus bocor (I_b) akan mengalir melalui lapisan konduktif dari jepitan (a) ke (d), sedang arus yang melalui dielektrik padat diabaikan (Bangun, 2016, p.23)

2.10 Medan Listrik

Medan listrik merupakan suatu daerah atau ruang di sekitar muatan yang masih masih dipengaruhi oleh gaya elektrik. Pada setiap titik di dalam medan listrik memiliki suatu kuantitas yang menyatakan tingkat kekuatan medan listrik tersebut, hal itu disebut sebagai intensitas medan listrik (E). Medan listrik dapat digambarkan sebagai suatu vektor garis, dimana hal ini direpresentasikan sebagai medan listrik yang keluar dari muatan positif dan masuk ke muatan negatif. Semakin panjang garis medan menggambarkan intensitas medan listrik yang semakin besar. Besar intensitas medan listrik dapat dihitung menggunakan persamaan berikut: (Hayt, 1989, p.27)

$$E_t = \frac{F_t}{q_t} \quad (2-9)$$

Dalam hal ini:

E_t = Intensitas medan listrik

F_t = Gaya medan listrik

q_t = Muatan medan uji

Dimana:

$$\text{Tegangan} = \frac{\text{Energi}}{\text{Banyak muatan yang mengalir}}$$

$$\text{volt} = \frac{\text{Joule}}{C}$$

$$\text{volt} = \frac{N.m}{C}$$

$$C = \frac{\text{Joule}}{\text{volt}}$$

Sehingga didapatkan satuan E_t sebagai berikut:

$$\text{Intensitas medan listrik} = \frac{N}{C}$$

$$\text{Intensitas medan listrik} = \frac{N}{\frac{N.m}{\text{Volt}}}$$

$$\text{Intensitas medan listrik} = \frac{\text{Volt}}{m}$$

Kemudian, besar gaya medan listrik dapat diketahui menggunakan persamaan berikut:

$$F_t = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon r^2} \hat{a}_r \dots\dots\dots (2-10)$$

Dalam hal ini:

F_t = Gaya medan listrik

q_1 = Muatan medan sumber

q_2 = Muatan medan uji

r = jarak antar dua muatan

Medan listrik dapat menyebar pada ruang diantara elektroda positif (anoda) dan negatif (katoda), penyebaran medan listrik ini disebut sebagai distribusi medan listrik. Pada setiap

titik medan dalam jarak yang sama memiliki tingkat intensitas medan listrik yang berbeda.

Tekanan listrik yang diberikan oleh intensitas medan listrik pada bahan isolasi disebut sebagai *stress* listrik. Bentuk dari distribusi medan listrik dibedakan menjadi dua jenis yaitu

distribusi medan listrik homogen dan tidak homogen, tingkat homogenitas ini menentukan

besar kecilnya intensitas medan listrik pada setiap titik sehingga juga akan menentukan nilai

dari tegangan tembus. Tingkat homogenitas direpresentasikan oleh besar dari faktor efisiensi

medan listrik, yang mana dapat dihitung menggunakan persamaan berikut: (Kuffel et al.,

2000, p.201-203)

$$\eta = \frac{E_r}{E_m} \dots \dots \dots (2-11)$$

Dalam hal ini:

η = Faktor efisiensi medan listrik

E_r = Intensitas medan listrik rata-rata (kV/cm)

E_m = Intensitas medan listrik maksimum (kV/cm)

Besar intensitas medan listrik rata-rata dapat diketahui menggunakan persamaan berikut:

$$E_r = \frac{V}{S_r} \dots \dots \dots (2-12)$$

Dalam hal ini:

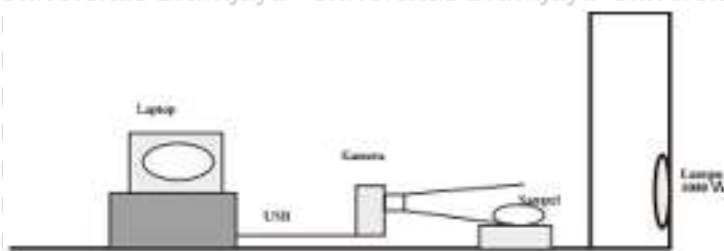
E_r = Intensitas medan listrik rata-rata (kV/cm)

V = Beda potensial antara dua titik yang bermuatan (V)

S_r = Jarak rambat antara dua titik yang bermuatan (cm)

2.11 Sudut Kontak

Sudut kontak merupakan sudut yang dibentuk antara permukaan bahan uji dengan air destilasi yang ditetaskan 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, bahan masih mampu bersifat menolak air yang jatuh di permukaannya. 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 (Syakur et al., 2012, p.3-4)



Sudut kontak = 0.5* (sudut kanan + sudut kiri)

Gambar 2.11 Rangkaian pengambilan sudut kontak

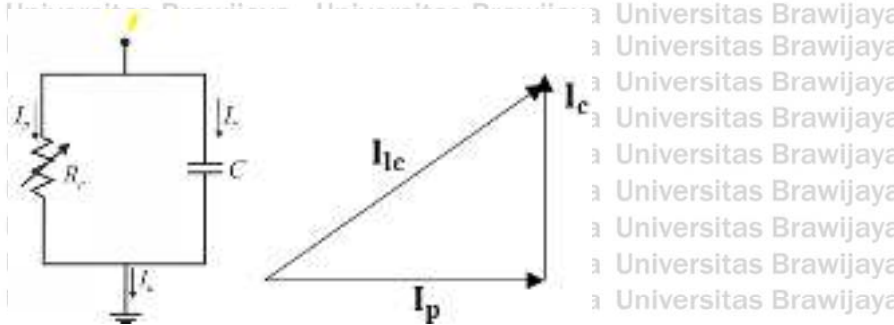
Sumber: Syakur et al., (2012, p.4)

2.12 Arus Bocor

Arus bocor permukaan suatu bahan isolasi dari isolator saluran udara pasangan luar bergantung pada kondisi polutan penyebab kontaminasi permukaan, polutan dari lingkungan satu dengan lainnya memiliki perbedaan tergantung pada material polutan, iklim, dan kondisi cuaca. Pembasahan lapisan kontaminasi yang disebabkan oleh kelembapan yang tinggi dan butir-butir air mengakibatkan elektrolit yang konduktif, sehingga resistansi permukaan akan menjadi kecil dan kemudian akan mengalir arus bocor permukaan (Heri et al., 2012, p.26). Pada kondisi kering, permukaan isolator memiliki nilai impedansi yang tinggi dan terjadi arus bocor kapasitif yang berupa peluahan pada permukaannya. Pada kondisi basah, akan membuat larutan elektrolit mengalir akibat kontaminan pada permukaan isolator. Arus bocor resistif pada lapisan konduktif akan mengalir disepanjang permukaan isolator. Dikarenakan lapisan konduksi yang tidak terdistribusi dengan merata, maka akan membuat arus bocor tidak seragam.

Arus yang mengalir dengan densitas yang cukup besar dapat menyebabkan meningkatnya temperatur. Temperatur panas yang dihasilkan arus bocor tersebut dapat menyebabkan terbentuknya pita kering (*dryband*). Pita kering merupakan lintasan bagi proses peluahan muatan (*discharge*). Apabila pita kering mengalami pemanjangan yang lebih luas dan melintas pada seluruh permukaan isolator dengan waktu yang lama serta menghubungkan dua elektroda yang dipisahkan, hal itu dapat mengakibatkan *flashover* pada permukaan isolator. Besarnya arus bocor ini perlu diukur dalam suatu evaluasi kerja, untuk memastikan isolator memiliki fungsi isolasi yang baik dan sesuai dengan penggunaannya.

Rangkaian ekuivalen dari isolator dalam kondisi bersih dan isolator dengan kontaminan ditunjukkan pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13, dengan C merupakan nilai kapasitansi dari bahan isolator berupa bahan polimer dan resistansi permukaan isolator dalam keadaan bersih (R_p). Pada keadaan bersih, arus bocor (I_c) akan mengalir pada isolator dengan nilai yang kecil. Apabila pada permukaan isolator mengalami pembasahan, membuat nilai resistansi permukaannya (R_p) akan turun. Resistansi permukaan suatu isolator yang terkontaminasi polutan dinyatakan dengan (R_p').



Gambar 2.12 Rangkaian ekivalen dan Diagram fasor isolator bersih

Sumber: Naisbitt (2018, p.16)

Arus bocor merupakan fungsi dari nilai resistansi permukaan isolator yang terkontaminasi, sehingga meningkatnya arus bocor akan diikuti dengan menurunnya nilai resistansi permukaan isolator. Karena arus bocor merupakan hasil dari pengukuran, maka sesuai dengan Hukum Ohm yang 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 sebagai berikut: (Dhofir et al., 2017, p.29).

$$I = \frac{V}{R} \dots\dots\dots (2-13)$$

2.13 Curah Hujan

Hujan merupakan komponen utama daur air di dalam atau wilayah. Hujan juga merupakan sumber air utama suatu wilayah. Curah hujan yang kecil akan mengakibatkan kesetimbangan air disuatu wilayah mengalami defisit yang cukup besar, terutama di wilayah tropis yang laju evaporasinya cukup besar. Variabel hujan (presipitasi) yakni: curahan (tebal), lama (durasi), dan intensitas hujan merupakan variabel atau vaktor penting dalam pengendalian air limpasan permukaan dan rekayasa konservasi tanah dan air (Arham et al., 2017, p.2).

Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Curah hujan 1 (satu) milimeter artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter. Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan persatuan waktu (Susilowati & Sadad, 2015, p.3). Dengan demikian curah hujan dapat disamakan dengan debit hujan atau debit air yang jatuh dalam suatu

tempat. Debit air hujan dapat di bentuk dengan persamaan berikut:

$$Q = \frac{Vol}{t} \dots\dots\dots(2-14)$$

Dengan:

Q : Debit air hujan (L/s)

Vol : Volume air yang ditampung (L)

t : Waktu air tertampung (s)

Curah Hujan adalah jumlah air yang jatuh di permukaan tanah selama periode tertentu yang diukur dalam satuan tinggi di atas permukaan horizontal apabila tidak terjadi penghilangan oleh proses evaporasi, pengaliran dan peresapan. Menurut Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) curah hujan merupakan ketebalan air hujan yang terkumpul pada luasan 1 m².

Berdasarkan Badan Metereologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) curah hujan dihitung dengan satuan mm (*milimeter*), yaitu tinggi air yang tertampung pada area seluas 1m x 1m alias 1meter persegi (m²). Jadi curah hujan 1 mm adalah jumlah air yang turun dari langit sebanyak 1 mm x 1m x 1m = 0,001 m³ = 1 liter. Alat untuk mengukur hujan biasanya disebut alat penakar hujan. Pengukuran hujan dapat dilakukan dengan alat penakar biasa (*manual raingauge*) dan penakar hujan otomatis (*automatic raingauge*).

Berdasarkan data observasi BMKG mulai dari tahun 1981-2018, tren hari hujan ini disajikan dalam empat kategori yaitu hari hujan dengan intensitas di atas 1, 20, 50, dan 100 mm/hari dalam setahun. Berdasarkan hasil pengolahan tren hari hujan di Indonesia secara umum hari hujan Indonesia memiliki tren yang bernilai positif walaupun di beberapa wilayah bernilai negatif dengan besaran yang bervariasi (BMKG, 2018).

2.14 Konduktivitas Air Hujan

Air atau H₂O adalah suatu isolator yang buruk yang juga merupakan suatu zat memiliki sifat konduktivitas listrik. Air memiliki beragam jenis dan bermacam-macam kandungannya. Hal tersebut dapat mempengaruhi perbedaan besar konduktivitas listrik (Chanlyn & Zulkarnaen, 2014, pp.1-6). Pada air hujan sendiri memiliki karakteristik dan di dalamnya termasuk besar konduktivitas air hujan karena mengandung beberapa mineral-mineral yang dapat menghantarkan arus listrik. Semakin besar kandungan mineral pada air hujan maka kemungkinan besar arus listrik akan mengalir yang berarti air hujan tersebut

memiliki konduktivitas yang cukup tinggi dan sebaliknya.

Arus listrik dihasilkan dari gerakan elektron bermuatan listrik sebagai respons terhadap gaya yang bekerja pada mereka dari medan listrik yang digunakan. Dalam sebagian besar bahan padat, arus muncul dari aliran elektron, yang disebut konduksi elektronik. Dalam semua konduktor, semikonduktor, dan banyak bahan terisolasi hanya konduksi elektronik, dan konduktivitas listrik sangat bergantung pada jumlah elektron yang tersedia dalam proses konduksi. Sebagian besar logam merupakan konduktor listrik yang sangat baik, karena banyaknya elektron bebas.

2.15 *Flashover*

Flashover merupakan salah satu kegagalan yang dapat terjadi pada isolator dalam mengisolir konduktor. *Flashover* pada isolator hantaran udara merupakan peristiwa pelepasan muatan melalui permukaan isolator dari konduktor bertegangan yang dipikul isolator ke lengan menara. Peristiwa ini menyebabkan kegagalan isolator mengisolasi konduktor transmisi dengan lengan menara (Siregar & Syahrawardi, 2015, p.100).

Flashover dapat terjadi pada beberapa kondisi, yaitu pada isolator dengan kondisi permukaan bersih dan terpolusi. Pada kondisi permukaan isolator bersih, arus bocor akan mengalir pada permukaan isolator. Arus yang mengalir pada permukaan isolator akan menyebabkan udara di sekitar isolator menjadi konduktif yang diakibatkan oleh proses ionisasi dan emisi. Udara yang konduktif menyebabkan tembusnya udara di sekitar permukaan isolator yang disebut dengan *flashover*. Sedangkan pada kondisi permukaan isolator terpolusi, polutan membuat tahanan permukaan isolator menurun yang mengakibatkan arus bocor yang mengalir akan semakin besar dibandingkan dengan arus bocor pada kondisi permukaan bersih. Dengan lebih besarnya arus bocor, hal ini menyebabkan jalur konduktif yang mengionisasi udara akan terbentuk lebih cepat (Siregar & Syahrawardi, 2015, p.100). Terdapat dua kondisi pengujian *flashover* yaitu pengujian dalam kondisi kering dengan objek uji bersih dan pengujian dalam kondisi basah dengan objek uji terpolusi / berpolutan. Penjelasan lebih lanjut mengenai dua kondisi pengujian *flashover* adalah sebagai berikut:

2.14.1 Pengujian *Flashover* dalam Kondisi Kering

Flashover pada permukaan isolator sangat dipengaruhi oleh bentuk isolator, panjang permukaan isolator, bentuk elektroda, kerapatan udara dan kontaminan. Tegangan tembus dalam kondisi kering dipengaruhi oleh keadaan udara, sehingga untuk dapat membandingkan hasil dari pengujian dengan tabel normalisasi yang ada, diperlukan rumus yang dapat mengubah hasil dari pengujian tersebut ke dalam keadaan standar untuk mengetahui sampel yang diuji memenuhi syarat atau tidak. Untuk mengoreksi hasil pengujian terhadap tekanan dan suhu dapat digunakan rumus sebagai berikut: (Arismunandar, 1982, p.17)

$$V = V_0 \times \delta \dots\dots\dots (2-15)$$

$$\delta = \frac{b_B \times (273+20)}{760 \times (273+t_b)} = \frac{0,386 b_B}{273+t_b} \dots\dots\dots (2-16)$$

Dalam hal ini:

V_0 = Tegangan *flashover* pada keadaan standar ($t = 20^\circ\text{C}$; $p = 1013$ mbar)

V = Tegangan *flashover* yang diukur pada tegangan sebenarnya

δ = Kerapatan udara relative

b_B = Tekanan udara pada waktu pengujian (mm Hg)

t_B = Suhu lingkungan pada waktu pengujian ($^\circ\text{C}$)

2.14.2 Pengujian *Flashover* dalam Kondisi Basah

Pengujian pada kondisi basah bertujuan untuk menirukan keadaan udara pada kondisi pemasangan luar dan terjadi hujan. Air hujan pada permukaan isolator dapat menurunkan resistansi permukaan isolator sehingga dapat menghantarkan listrik. Kondisi permukaan isolator yang basah juga dapat disebabkan oleh hal lain seperti kelembapan lingkungan.

Flashover pada permukaan isolator yang dalam kondisi basah karena penghujan atau penyiraman dipengaruhi oleh jumlah penyiraman dalam permenit, sudut penyiramannya dan resistivitas air. Menurut standar Jepang, standar untuk kuantitas air penyiraman adalah 3 mm/menit, standar untuk resistivitas air adalah 10.000 Ω .cm dan standar untuk sudut penyiraman air adalah 45° terhadap garis tegaknya, dengan ketentuan bahwa penyiraman merata (*homogeneous*). Nilai-nilai standar tersebut ditentukan berdasarkan

keadaan udara, terutama dalam keadaan hujan setempat. Dikarenakan letaknya yang berada di daerah tropis, standar untuk kuantitas penyiraman di Indonesia seharusnya lebih besar. Untuk air yang mempunyai resistivitas lain dapat dipakai faktor koreksi sebagai berikut:

(Arismunandar, 1984, p.22)

$$k_p = \frac{3}{\log \rho - 1} \dots \dots \dots (2-17)$$

Dalam hal ini:

k_p = Faktor koreksi resistivitas air

ρ = Resistivitas air penyiraman (Ω . cm)

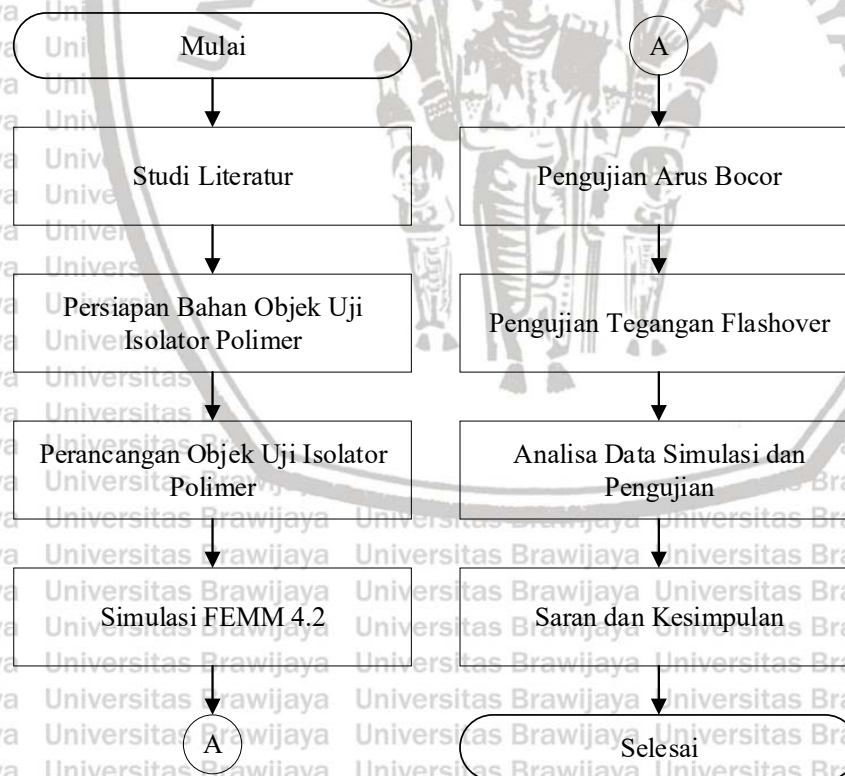


BAB III METODE PENELITIAN

Dalam menyelesaikan rumusan masalah dan mencapai tujuan dari penelitian yang terdapat pada bab pendahuluan, maka diperlukan langkah-langkah untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi, diagram alir penelitian, studi literatur, variabel penelitian, peralatan uji, objek uji, elektroda uji, persiapan pengujian basah, pengambilan data, perhitungan dan analisis, serta pengambilan kesimpulan dan saran.

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada diagram alir penelitian akan dijelaskan mengenai proses-proses untuk mendapatkan hasil penelitian yang diinginkan, diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari mengenai konsep-konsep yang berkaitan dengan permasalahan yang akan dikaji dalam skripsi ini. Studi literatur dilakukan dari jurnal, buku, maupun sumber lainya yang mendukung penyusunan skripsi yaitu mengenai pengaruh variasi jumlah sirip pada permukaan isolator terhadap distribusi medan listrik, tingkat arus bocor, dan tegangan *flashover* dalam kondisi kering maupun basah.

3.3 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini variabel yang diubah adalah tipe sirip isolator uji yaitu seragam (BBB) dan tidak seragam (BKB) masing-masing variabel penelitian akan digunakan debit pembasahan yang bervariasi yaitu setelah dikondisikan maka diberikan variasi tegangan untuk mengetahui besaran arus bocor yang terjadi pada isolator, terakhir adalah memberikan variasi tegangan untuk mengetahui besar tegangan *flashover* pada isolator.

3.4 Peralatan Uji

Adapun peralatan yang digunakan didalam penelitian ini agar mendapatkan hasil untuk menjawab rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Polimer Resin Epoksi sebagai bahan dielektrik
2. Trafo uji: 220 V/100 kV, 5 kVA, 50 Hz
3. CM: Pembagi tegangan kapasitif
4. DSM: Alat ukur tegangan tinggi AC
5. Amperemeter Digital: Alat ukur arus listrik (arus bocor)
6. Sela bola

Berikut merupakan fungsi dari peralatan yang digunakan didalam pengujian:

1. Polimer Resin Epoksi, sebagai bahan dielektrik yang akan diteliti
2. HV Transformator (trafo uji), trafo ini dapat menaikkan tegangan sampai 100 kV, dengan daya yang dikeluarkan sebesar 5 kVA, dan frekuensi yang digunakan sesuai dengan SPLN yaitu 50 Hz.
3. DSM merupakan alat ukur yang berada di *control desk*, dan fungsi dari DSM adalah sebagai pengukur tegangan tinggi AC.
4. Amperemeter digital merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengukur arus listrik yang berfungsi sebagai alat ukur arus bocor.
5. Sela bola digunakan sebagai pengaman bagi amperemeter dan juga sebagai indikator telah terjadi tembus pada isolator

3.5 Objek Uji

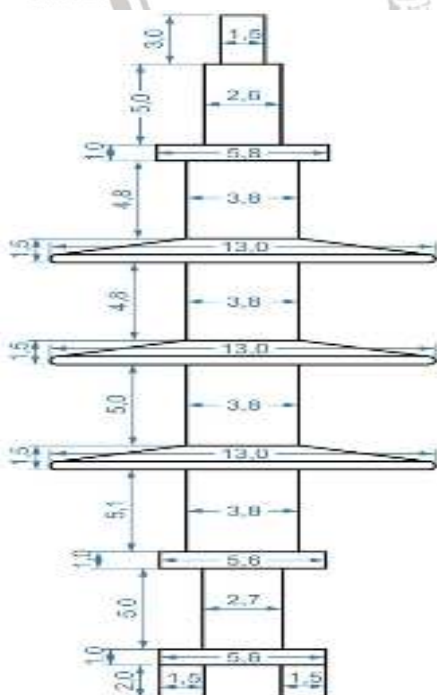
Objek uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolator yang terbuat dari bahan polimer resin epoksi yang memiliki variasi komposisi yang berbeda pada tipe sirip seragam dan tidak seragam, banyak objek uji yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah 2 objek uji yaitu BBB (seragam) dan BKB (tidak seragam), berikut merupakan variasi objek uji yang akan dibuat:

3.5.1 Isolator Tipe Sirip Seragam (BBB)

Objek uji pertama merupakan isolator dengan variasi tipe sirip seragam. Bentuk geometris isolator tipe sirip seragam ditunjukkan pada Gambar 3.2. Isolator tipe sirip seragam memiliki 3 sirip besar, 4 batang sela, dan 1 inti. Batang sela isolator memiliki diameter 3,8 cm. Sirip besar memiliki dimensi sebagai berikut:

- Diameter total : 13 cm
- Diameter lubang untuk inti : 2,3 cm
- Tebal bagian tengah sirip : 2,1 cm
- Tebal bagian pinggiran sirip : 0,5 cm
- Sudut Kemiringan : 24°

Kemudian untuk keterangan lengkap dimensi isolator tipe sirip seragam ditunjukkan pada Tabel 3.1.



Gambar 3.2 Isolator tipe sirip seragam (BBB)

Tabel 3.1 Dimensi Isolator Tipe Sirip Seragam

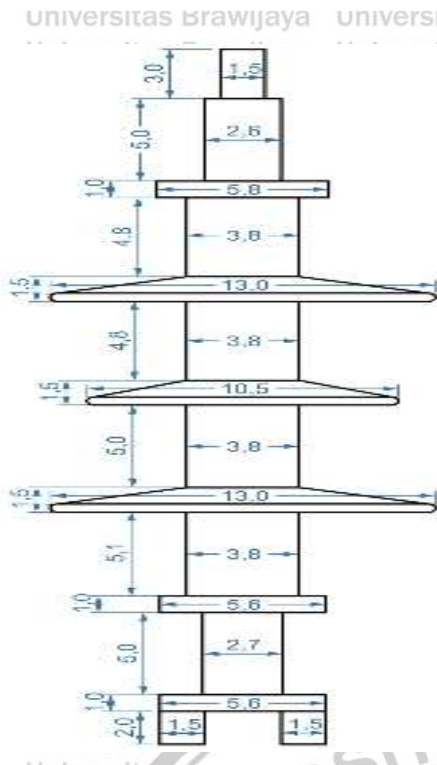
Objek Uji	Parameter	Nilai
Tipe Sirip Isolator Seragam	Jarak rambat permukaan / Jarak arus bocor	470 mm
	Jarak minimum antar sirip (C)	60 mm
	Perbandingan antar spasi dengan rentangan sirip(S/P)	1,2 mm
	Perbandingan antara jarak rambat dengan jarak bebas (Id/d)	2,42 mm
	Kemiringan sirip ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$)	24°
	Berat	1 kg

3.5.2 Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam (BKB)

Objek uji kedua merupakan isolator dengan variasi tipe sirip tidak seragam. Bentuk geometris isolator tipe sirip tidak seragam ditunjukkan pada Gambar 3.3. Isolator tipe sirip tidak seragam memiliki 2 sirip besar ,1 sirip kecil, 4 Batang Sela, dan 1 inti. Batang sela isolator memiliki diameter 3,8 cm. Sirip kecil memiliki dimensi sebagai berikut:

- Diameter total : 10,5 cm
- Diameter lubang untuk inti : 2,3 cm
- Tebal bagian tengah sirip : 1,5 cm
- Tebal bagian pinggiran sirip : 0,5 cm
- Sudut kemiringan : 24°

Kemudian untuk keterangan lengkap dimensi isolator 2 sirip ditunjukkan pada Tabel 3.2.



Gambar 3.4 Isolator tipe sirip tidak seragam (BKB)

Tabel 3.2 Dimensi Isolator Sirip Tidak Seragam

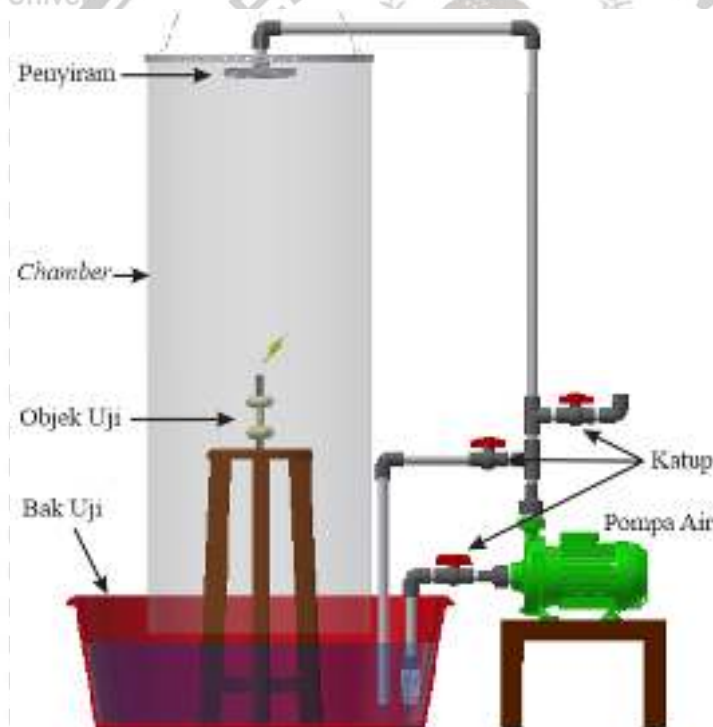
Objek Uji	Parameter	Nilai
Tipe Sirip Isolator Tidak Seragam	Jarak rambat permukaan / Jarak arus bocor	430 mm
	Jarak minimum antar sirip (C)	60 mm & 60,5mm
	Perbandingan antar spasi dengan rentangan sirip(S/P)	1,2 mm & 2,01 mm
	Perbandingan antara jarak rambat dengan jarak bebas (Id/d)	1,8 mm
	Kemiringan sirip ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$)	24 °
	Berat	1 kg

3.6 Elektroda Uji

Pada pengujian ini sesuai dengan yang telah tertera pada batasan masalah bahwa elektroda yang digunakan adalah elektroda non homogen pada sisi tegangan tinggi dan groundnya. Elektroda yang digunakan adalah elektroda batang-batang yang berbentuk silinder dengan jari-jari 1 cm dengan tinggi 9,5 cm.

3.7 Persiapan Pengujian Kondisi Basah

Pengujian pada kondisi basah bertujuan untuk menirukan keadaan udara pada kondisi pemasangan luar dan terjadi hujan. Proses pengujian objek uji dalam kondisi basah dapat digambarkan seperti Gambar 3.5. Pengujian basah dilakukan dalam ruang uji (*test chamber*) berupa ruang yang di sekelilingnya ditutupi dengan plastik. Dalam pengujian kondisi basah membutuhkan hujan tiruan, alat-alat yang digunakan untuk membuat hujan tiruan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa pipa yang disusun sedemikian rupa sehingga posisi lubang penyiraman tepat berada di atas objek uji. Pada beberapa titik dipasang katup-katup yang tersusun pada pipa masukan pompa, pipa keluaran pompa, dan pipa sirkulasi yang bercabangan dengan pipa penyiraman. Fungsi dari katup adalah untuk mengatur debit air yang dihisap pompa air, mengatur lubang untuk mengisi air awalan pada saat pompa pertama kali menyala, dan mengatur sirkulasi air guna membantu penyesuaian debit pembasahan. Air akan dipompa ke dalam pipa-pipa menuju isolator dengan debit pembasahan yang telah ditentukan.



Gambar 3.5 Rangkaian pengujian kondisi basah

Langkah pertama sebelum melakukan pengujian basah adalah dengan menentukan objek uji yang akan diuji, setelah objek uji ditentukan, maka selanjutnya yaitu pengkondisian dari ruang uji untuk pengujian. Pengkondisian ruang uji untuk pengujian dalam kondisi kering perlu memperhatikan standar keadaan udara menurut JIS dan JEC yaitu barometer 760 mm hg, suhu sekeliling 20°C, dan kelembapan mutlak 11 gram/m³. Sedangkan pada

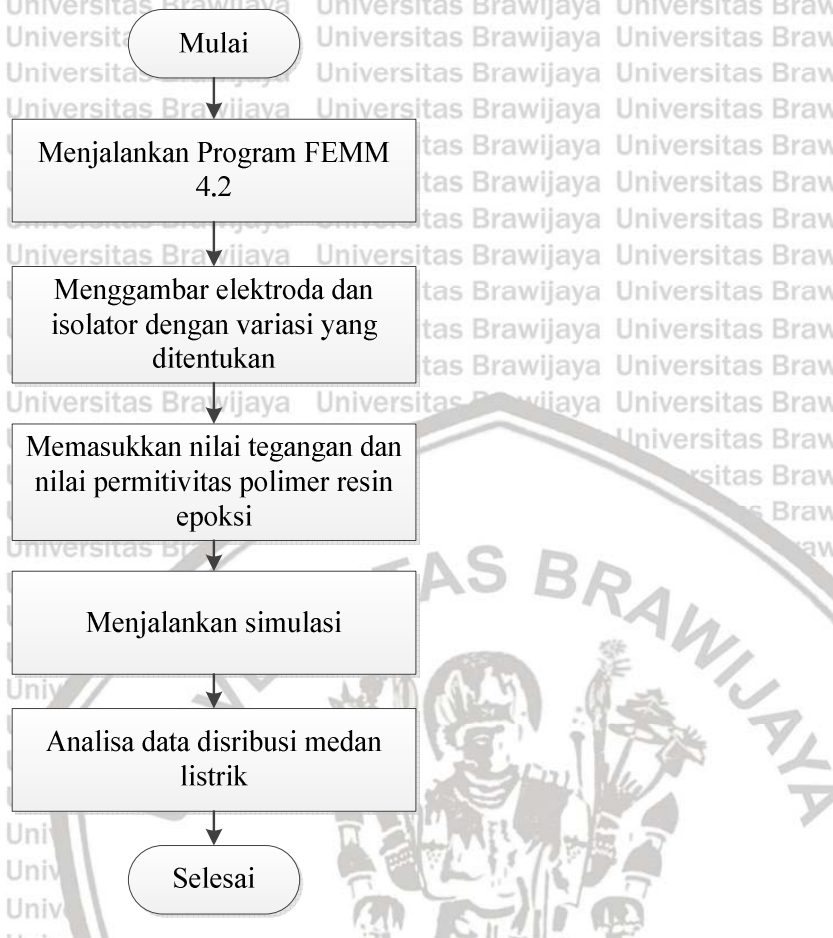
ruang uji untuk pengujian basah, adapun langkah-langkah pengkondisiannya adalah sebagai berikut:

- a) Isolator dengan kondisi bersih dimasukkan ke dalam ruang uji (*test chamber*).
- b) Isolator diletakkan dalam posisi yang tegak.
- c) Penyiraman objek uji pada pengujian arus bocor dan tegangan *flashover* diatur berdasarkan debit pembasahan untuk pengujian dalam kondisi basah, debit pembasahan disesuaikan dengan tren curah hujan di Indonesia dimulai dari intensitas 20 mm/hari, 50 mm/hari, dan 100 mm/hari. Tegangan *flashover* pada kondisi basah dipengaruhi oleh debit pembasahan permennitnya, resistivitas air dan sudut penyiramannya.
- d) Proses pengaturan debit pembasahan dilakukan dengan mengatur putaran katup pada pipa keluaran dan pipa sirkulasi.
- e) Setelah diperoleh debit pembasahan yang diinginkan, maka langkah (d) dihentikan dan pengujian dalam kondisi basah dapat dilakukan dengan memperhatikan standar keamanan saat pengujian.

3.8 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan untuk mendapatkan data primer untuk kemudian akan digunakan sebagai bahan perhitungan dan analisis pada penelitian ini. Data primer yang diperlukan adalah distribusi medan listrik, tingkat arus bocor, sudut kontak, dan tingkat tegangan *flashover* masing-masing objek uji. Pengambilan data distribusi medan listrik dilakukan dengan simulasi menggunakan *Finite Element Method Magnetics 4.2* (FEMM 4.2), sedangkan untuk tingkat arus bocor dan tegangan *flashover* dilakukan dengan pengujian langsung dalam 2 kondisi yaitu pengujian kondisi kering dan basah.

3.8.1 Simulasi Distribusi Medan Listrik Objek Uji

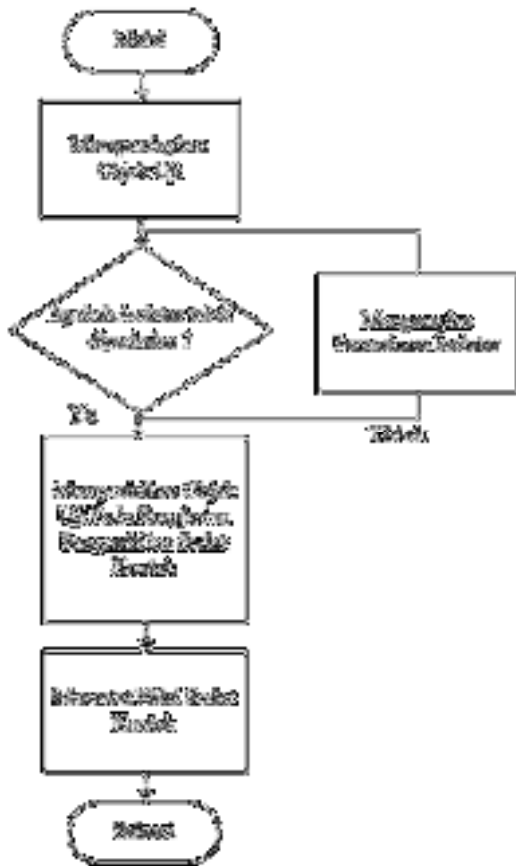


Gambar 3.6 Diagram alir simulasi distribusi medan listrik

Langkah-langkah pengujian simulasi distribusi medan listrik dapat diamati pada Gambar 3.6 yang merupakan diagram alir simulasi distribusi medan listrik pada permukaan isolator yang diuji. Simulasi dilakukan terhadap ketiga variasi jumlah sirip permukaan isolator. *Software* yang digunakan pada simulasi ini adalah *software* Finite Element Method Magnetics (FEMM 4.2) dengan menggunakan data dari objek uji berupa bentuk geometris dari elektroda, bentuk variasi jumlah sirip permukaan isolator, dan menggunakan tegangan sebesar 11,547 kV yang didapat dari nilai tegangan fasa yang ada pada jaringan SUTM 20 kV yaitu senilai tegangan fasa-fasa dibagi dengan $\sqrt{3}$. Dari simulasi menggunakan aplikasi FEMM 4.2 akan didapatkan nilai medan listrik maksimum dari isolator yang diuji. Dengan mengetahui nilai medan listrik maksimum dari isolator, maka tingkat homogenitas isolator yang diuji dapat diukur dengan cara menghitung besar dari faktor efisiensi medannya menggunakan persamaan (2-11) dan persamaan (2-12).

3.8.2 Pengujian Sudut Kontak pada Objek Uji

Pengujian sudut kontak dilakukan untuk mengetahui sifat hidrofobik dari permukaan isolator. Adapun diagram alir untuk pengujian sudut kontak seperti pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Diagram Alir Pengujian Sudut Kontak

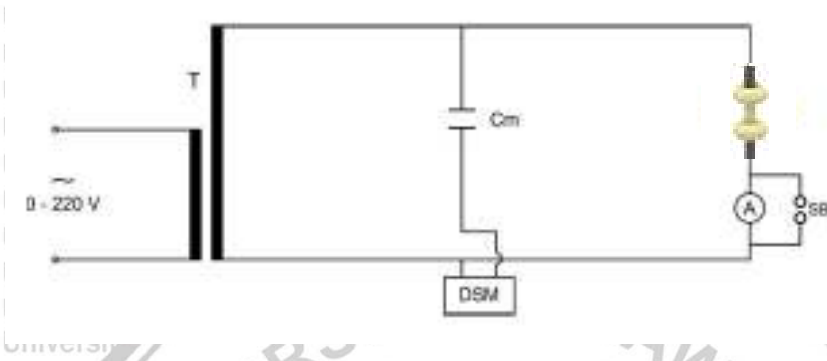
Langkah pengujian sudut kontak yaitu sebagai berikut:

1. Meletakkan isolator dan menghidupkan kamera, keduanya diposisikan sedemikian rupa sehingga pada layar kamera, permukaan isolator tampak seperti garis lurus.
2. Meneteskan air sebanyak 50 μl . Air yang diteteskan ini berupa air mineral.
3. Menghidupkan sumber cahaya agar ketika diambil foto, titik air pada permukaan sampel tampak jelas.
4. Memfoto dengan kamera digital, sehingga hasilnya dapat langsung dimasukkan ke dalam komputer untuk mendapatkan besar sudut kontak yang terukur.

3.8.3 Pengujian Arus Bocor pada Objek Uji

Pengujian arus bocor pada objek uji ini dilakukan dengan menggunakan elektroda batang-batang yang di pasang pada sisi atas dan bawah objek uji seperti terlihat pada Gambar 3.8, elektroda sisi bawah dihubungkan ke ground dan elektroda sisi atas diberi tegangan uji secara bertahap. Variasi tegangan uji yang diberikan sesuai dengan tegangan

yang telah ditentukan yaitu 10, 12, 14, 16, 18 dan 20 kV untuk pengujian arus bocor dalam kondisi kering dan 10, 12, 14, 16, 18 dan 20 kV untuk pengujian arus bocor dalam kondisi basah. Saat tegangan uji telah sesuai dengan yang ditentukan maka selanjutnya akan dicatat nilai arus bocor, hal ini dilakukan dalam masing-masing variasi tegangan uji yang diberikan. Durasi pengukuran arus bocor diusahakan dilakukan sesingkat mungkin untuk menghindari kesalahan pengukuran akibat pemanasan. Pengujian dikondisikan dalam dua kondisi yaitu kondisi kering dan basah, masing-masing kondisi diterapkan pada ketiga variasi objek uji.

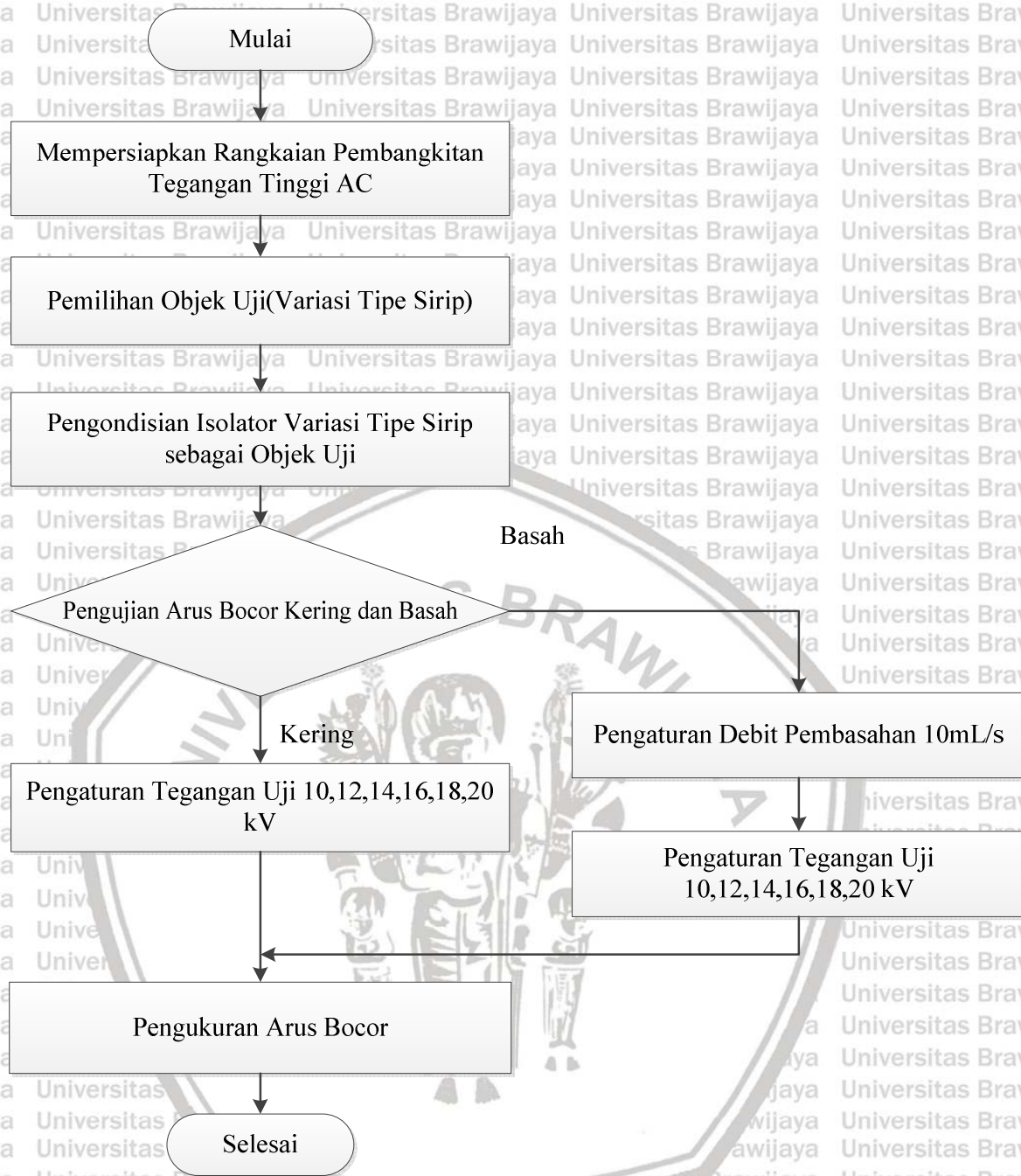


Gambar 3.8 Rangkaian pengujian arus bocor

Rangkaian pembangkit tegangan arus bolak-balik yang digunakan pada pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 3.8 dengan komponen-komponen yang digunakan adalah sebagai berikut:

- T : Trafo uji, dengan spesifikasi 1 fasa, 3 belitan 220 V / 100 kV, 50 Hz, dan daya keluaran 5 kVA
- C_m : Kapasitor pengukuran, dengan spesifikasi 100 pF
- DSM : Alat ukur tegangan bolak-balik
- A : Amperemeter digital tegangan bolak-balik
- SB : Sela bola sebagai proteksi tegangan lebih

Pada pengujian arus bocor dalam kondisi basah, isolator uji yang sebelumnya telah dibersihkan akan dibasahi dengan debit yang telah ditentukan, proses pembasahan beserta pengujiannya dilakukan di dalam *test chamber*. Sedangkan pada kondisi kering, permukaan isolator uji akan dibersihkan menggunakan cairan alkohol terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian supaya permukaan isolator dalam kondisi bersih atau tidak terdapat kontaminan. Diagram alir pengujian arus bocor pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.9

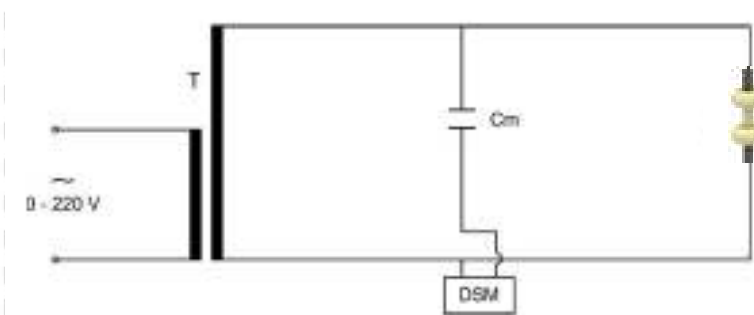


Gambar 3.9 Diagram alir pengujian arus bocor

3.8.4 Pengujian Tegangan *Flashover* pada Objek Uji

Pengujian tegangan *flashover* pada objek uji ini dilakukan dengan menggunakan elektroda batang-batang yang di pasang pada sisi atas dan bawah objek uji seperti terlihat pada Gambar 3.10, elektroda sisi bawah dihubungkan ke ground dan elektroda sisi atas diberi tegangan uji secara bertahap sampai terdengar bunyi berdesis yang menandai terjadinya fenomena korona kemudian tegangan kembali dinaikkan bertahap sampai terjadi *flashover*.

Dilakukan pencatatan nilai tegangan uji saat terjadi fenomena korona dan nilai tegangan uji saat terjadi fenomena *flashover*. Pengujian dikondisikan dalam dua kondisi yaitu kondisi kering dan basah, dengan masing-masing kondisi pengujian diterapkan pada ketiga variasi objek uji. Pada kondisi basah, tegangan *flashover* didapatkan ketika *control desk* pada Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Brawijaya mengalami *cut off*, hal ini terjadi karena arus pada rangkaian telah melebihi batas toleransi yaitu 50 mA, sehingga hal ini dapat diambil sebagai fenomena *flashover*.

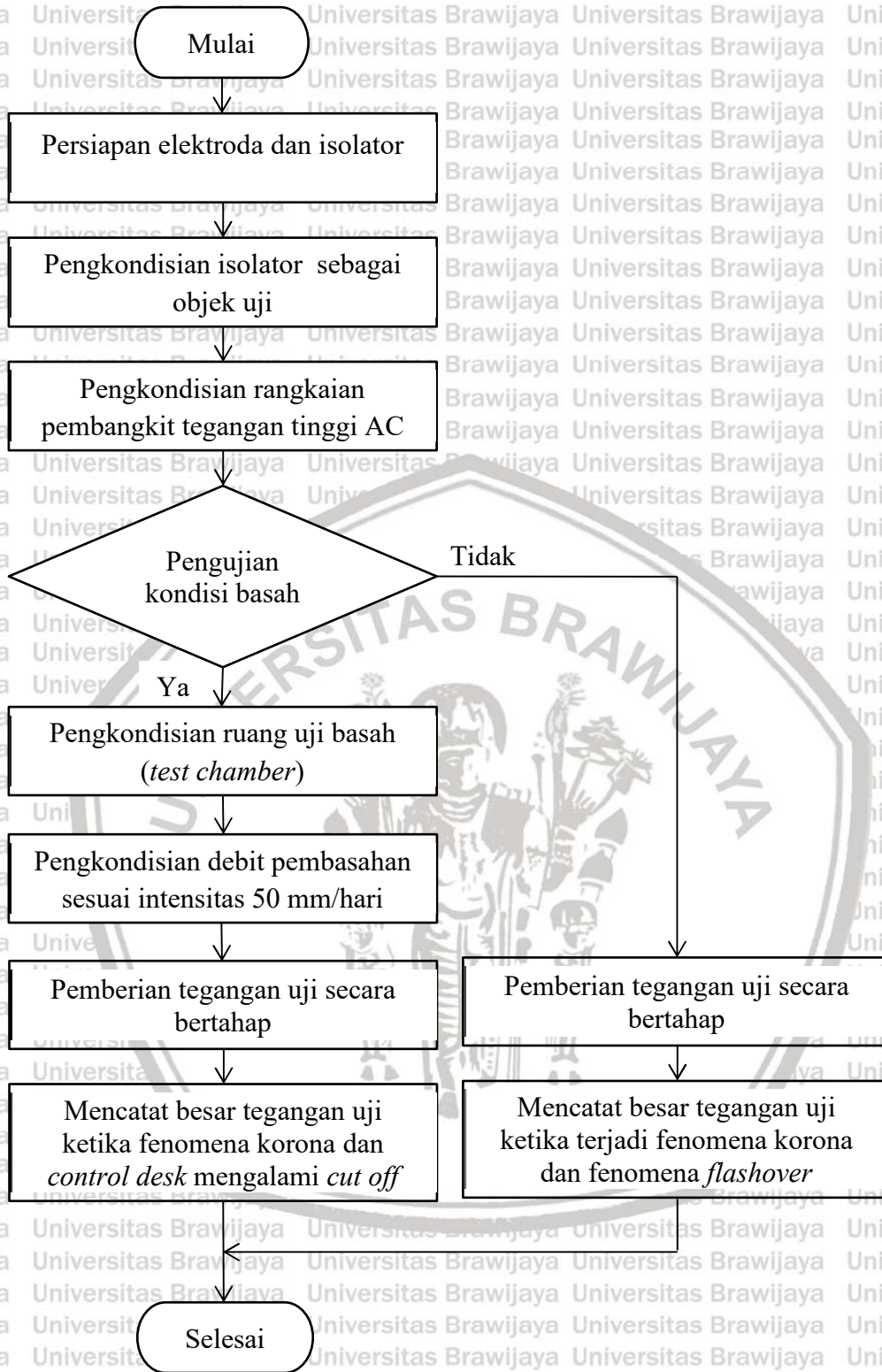


Gambar 3.10 Rangkaian pengujian tegangan *flashover*

Rangkaian pembangkit tegangan arus bolak-balik yang digunakan pada pengujian ini ditunjukkan pada Gambar 3.10 dengan komponen-komponen yang digunakan adalah sebagai berikut:

- T : Trafo uji, dengan spesifikasi 1 fasa, 3 belitan 220 V / 100 kV, 50 Hz, dan daya keluaran 5 kVA
- C_m : Kapasitor pengukuran, dengan spesifikasi 100 pF
- DSM : Alat ukur tegangan bolak-balik

Pada pengujian tegangan *flashover* dalam kondisi basah, isolator uji yang sebelumnya telah dibersihkan akan dibasahi dengan debit pembasahan sedang atau sesuai dengan tren curah hujan sedang di Indonesia yaitu intensitas 50 mm/hari, proses pembasahan beserta pengujiannya dilakukan di dalam *test chamber*. Sedangkan pada kondisi kering, permukaan isolator uji akan dibersihkan menggunakan cairan alkohol terlebih dahulu sebelum dilakukan pengujian supaya permukaan isolator dalam kondisi bersih atau tidak terdapat kontaminan. Diagram alir pengujian tegangan *flashover* pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Diagram alir pengujian flashover

3.8.1 Perhitungan Debit Pembasahan

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui nilai debit pembasahan yang akan diterapkan pada pengujian. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan (2-14) dengan memasukkan volume air dan durasi penyiraman. Debit pembasahan yang digunakan pada

penelitian ini merujuk pada data intensitas pembasahan BMKG yaitu berupa tren curah hujan di Indonesia yang dibagi menjadi 4 yaitu 1, 20, 50 dan 100 mm/hari dalam setahun.

Penggunaan tren curah hujan di Indonesia sebagai rujukan bertujuan supaya kondisi penyiraman objek uji menyerupai kondisi hujan di lapangan.

3.9 Perhitungan dan Analisis

Perhitungan dan analisis dilakukan dengan mengolah data primer yang didapatkan dari referensi maupun hasil pengujian. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui nilai dari beberapa variabel pengujian dalam penelitian ini yang belum diketahui. Sedangkan analisis, dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari variabel pengujian terhadap distribusi medan listrik, tingkat arus bocor, serta tingkat tegangan *flashover* yang dilakukan pada penelitian ini.

3.9.1 Perhitungan Faktor Bentuk Objek Uji

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui nilai faktor bentuk masing-masing objek uji, faktor bentuk digunakan sebagai identitas yang membedakan bentuk atau profil dari satu isolator dengan isolator lain. Faktor bentuk objek uji bisa didapatkan dari persamaan, untuk dua variasi objek uji yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan perhitungan menggunakan persamaan (2-3) dan persamaan (2-4). Dengan masing-masing variasi objek uji yang mempunyai nilai faktor bentuk, kemudian akan dilakukan analisis pengaruh faktor bentuk objek uji terhadap tingkat arus bocor, dan tingkat tegangan *flashover*.

3.9.2 Analisis Hasil Pengujian Sudut Kontak

Analisis dilakukan untuk dilakukan untuk mengetahui sifat hidrofobik dari permukaan isolator polimer resin epoxy dengan tipe variasi sirip. Data pengujian akan ditabulasi dan dibuat tabel, untuk kemudian dilakukan analisis dengan mengamati pola data pada tabel pengujian.

3.9.3 Analisis Hasil Pengujian Arus Bocor

Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi nilai tegangan uji, debit pembasahan, dan faktor bentuk objek uji terhadap tingkat arus bocor pada isolator polimer resin epoxy dengan variasi sirip. Data pengujian akan ditabulasi dan dibuat gambar grafiknya, untuk kemudian dilakukan analisis dengan mengamati pola data pada grafik. Data akan ditabulasikan berdasar tingkatan tegangan uji dan beberapa kelompok tertentu untuk memudahkan proses analisis.

3.9.4 Perhitungan Resistansi Permukaan Isolator

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui besar resistansi permukaan isolator polimer resin epoxy yang diuji pada penelitian ini. Perhitungan ini dilakukan dengan memasukkan data nilai arus bocor hasil pengujian ke dalam persamaan (2-13). Data nilai arus bocor didapatkan dari semua kondisi pengujian tingkat arus bocor, baik dalam kondisi kering atau basah dan pada semua variasi objek uji. Data perhitungan resistansi permukaan isolator dari semua variasi objek uji dalam semua kondisi akan ditabulasi dan dibuat grafiknya untuk melihat *trendline* dari resistansi permukaan masing-masing isolator uji terhadap variasi tegangan uji yang diberikan saat pengujian.

3.9.5 Perhitungan Rugi Daya Listrik

Perhitungan dilakukan untuk mengetahui besar rugi daya listrik dan rugi energi listrik (rugi daya listrik dalam 1 tahun) dari isolator yang diuji pada penelitian ini. Perhitungan ini dilakukan dengan memasukkan data nilai arus bocor hasil pengujian dan data nilai resistansi permukaan isolator hasil perhitungan dari isolator yang diuji ke dalam persamaan (2-7) untuk rugi daya listrik dan persamaan (2-8) untuk rugi energi listrik. Data nilai arus bocor didapatkan dari semua kondisi pengujian tingkat arus bocor, baik dalam kondisi kering atau basah dan pada semua variasi objek uji. Data perhitungan rugi daya listrik dan rugi energi listrik dari semua variasi objek uji dalam semua kondisi akan ditabulasi dan dibuat gambar grafiknya untuk melihat *trendline* dari rugi daya listrik dan rugi energi listrik masing-masing objek uji terhadap variasi tegangan uji yang diberikan saat pengujian.

3.9.6 Analisis Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* pada Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Jumlah Sirip

Analisis dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi nilai tegangan uji, debit pembasahan, dan faktor bentuk objek uji terhadap tingkat tegangan *flashover* pada isolator polimer resin epoxy. Data pengujian akan ditabulasi dan dibuat grafiknya, untuk kemudian dilakukan analisis dengan mengamati pola data pada grafik. Data akan ditabulasikan berdasar tingkatan tegangan uji dan beberapa kelompok tertentu untuk memudahkan proses analisis.

3.10 Pengambilan Kesimpulan dan Saran

Tahap terakhir dari penelitian yang dilakukan adalah pengambilan kesimpulan dan saran. Kesimpulan diperoleh dari gabungan hasil analisis data perhitungan, simulasi, dan pengujian, yang bertujuan untuk menjelaskan bagaimana pengaruh variasi sirip isolator

poliimer resin epoxy terhadap distribusi medan listrik, serta tingkat arus bocor dan tegangan *flashover* pada kondisi kering dan basah. Sedangkan saran diberikan untuk memperbaiki kesalahan dan pengembangan penelitian berikutnya supaya lebih baik lagi.



BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

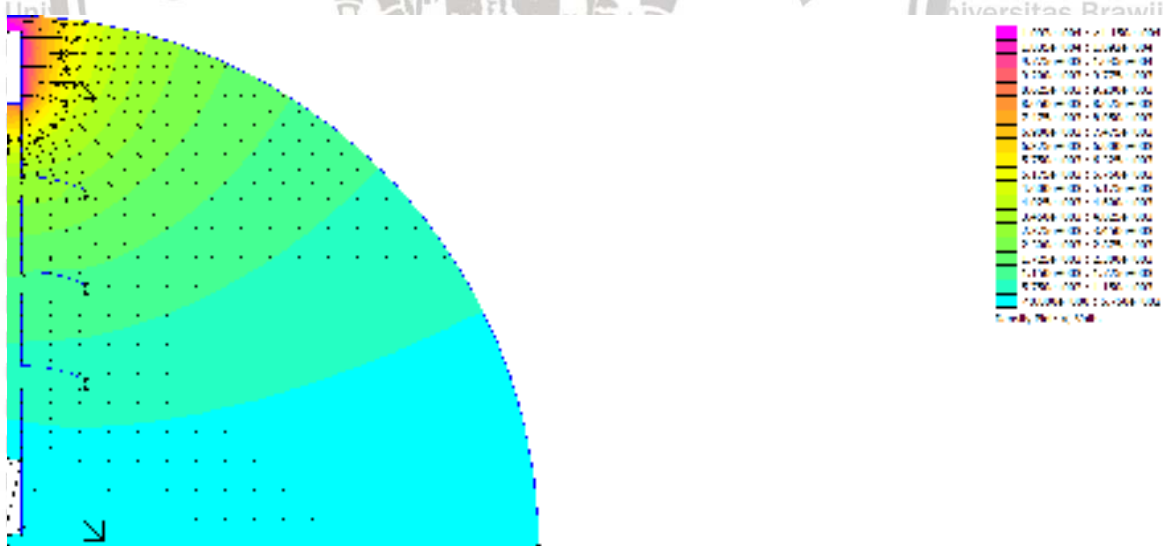
Bab ini mendeskripsikan hasil pengujian dari simulasi distribusi medan listrik, arus bocor, dan tegangan *flashover* pada isolator polimer resin epoxy dengan variasi sirip dalam kondisi kering dan basah. Hasil pengujian kondisi basah akan dikomparasi dengan hasil dari pengujian kondisi kering. Pada pengujian kondisi basah objek uji diberi perlakuan berupa pembasahan dengan beberapa variasi debit pembasahan, sedangkan pada pengujian kondisi kering objek uji yang dipakai adalah isolator dalam kondisi bersih.

Dalam bab ini akan dilakukan perhitungan beberapa variabel dalam pengujian, serta dilakukan analisis data hasil simulasi dan pengujian pada isolator polimer dengan variasi tipe sirip. Perhitungan dan analisis yang dilakukan adalah sebagai berikut:

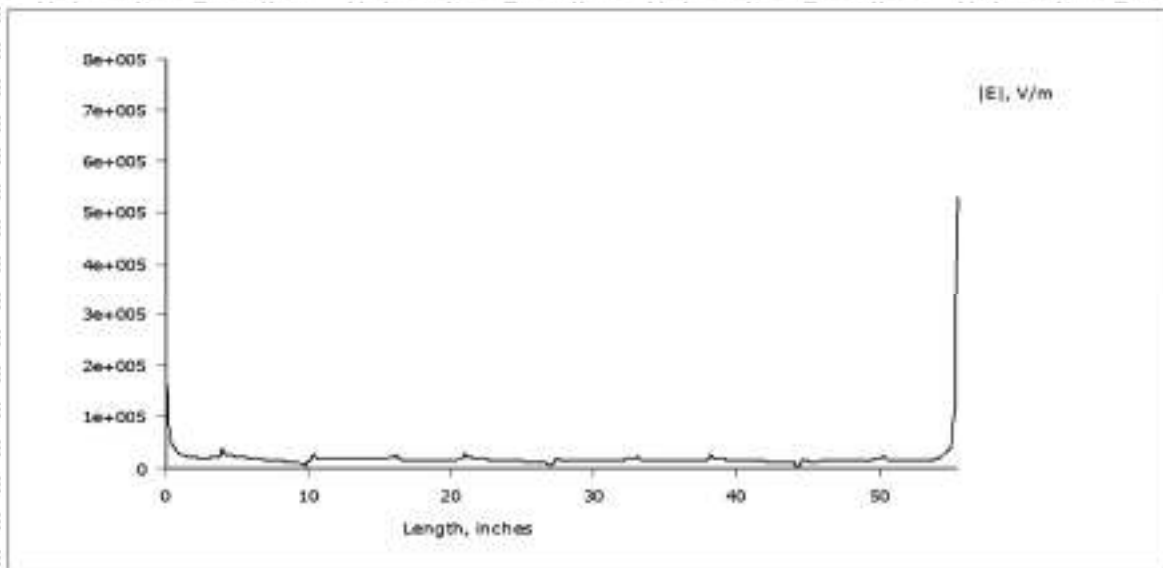
1. Analisis distribusi medan listrik pada masing-masing isolator polimer resin epoxy dengan tipe variasi sirip.
2. Perhitungan faktor bentuk dari masing-masing isolator polimer dengan tipe variasi sirip.
3. Perhitungan sudut kontak dari masing-masing isolator polimer dengan tipe variasi sirip.
4. Perhitungan resistansi permukaan dan rugi daya listrik dari masing-masing isolator polimer resin epoxy dengan tipe variasi sirip.
5. Analisis pengaruh nilai faktor bentuk dari masing-masing isolator polimer resin epoxy dengan tipe variasi sirip terhadap tingkat arus bocor dan tegangan *flashover* pada kondisi kering dan basah.
6. Analisis nilai resistansi permukaan dan rugi daya listrik dari masing-masing isolator polimer resin epoxy dengan tipe variasi sirip dan tegangan uji pada kondisi kering dan basah.
7. Analisis tingkat arus bocor dan tegangan *flashover* dari masing-masing isolator polimer resin epoxy dengan variasi tipe sirip dan tegangan uji pada kondisi kering dan basah.

4.1 Simulasi Distribusi Medan Listrik pada Isolator

Simulasi distribusi medan listrik pada permukaan isolator polimer epoksi dengan variasi tipe sirip pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software* Finite Element Metode Magnetics (FEMM) versi 4.2. Simulasi dilakukan pada *electrostatic problem type* yang digunakan adalah *axymetric*, dengan permitivitas relatif dari medium udara sebesar 1 dan sebesar 5 untuk permitivitas relatif dari medium polimer resin epoksi, serta sisi konduktor bertegangan diberikan parameter tegangan sebesar 11,547 kV sebagai tegangan uji pada simulasi. Pada simulasi ini akan diketahui distribusi medan listrik, nilai intensitas medan listrik maksimum, dan grafik dari besar intensitas medan sepanjang permukaan isolator yang diuji. Dengan diketahuinya nilai intensitas medan listrik maksimum pada isolator yang diuji, maka menggunakan persamaan (2-11) akan dapat diketahui juga tingkat homogenitas dari isolator tersebut. Data distribusi tegangan dan intensitas medan listrik, serta grafik distribusi medan listrik pada permukaan isolator yang diuji sebagai hasil dari simulasi ini ditunjukkan pada Gambar 4.1 sampai dengan Gambar 4.4.



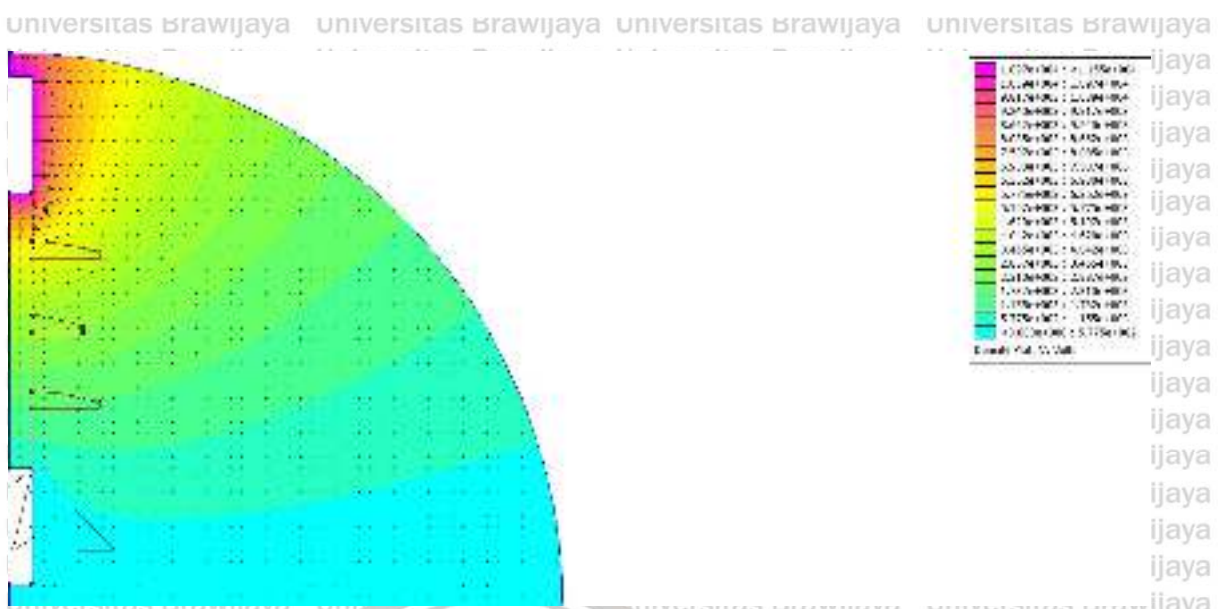
Gambar 4.1 Distribusi tegangan dan intensitas medan listrik pada isolator sirip seragam



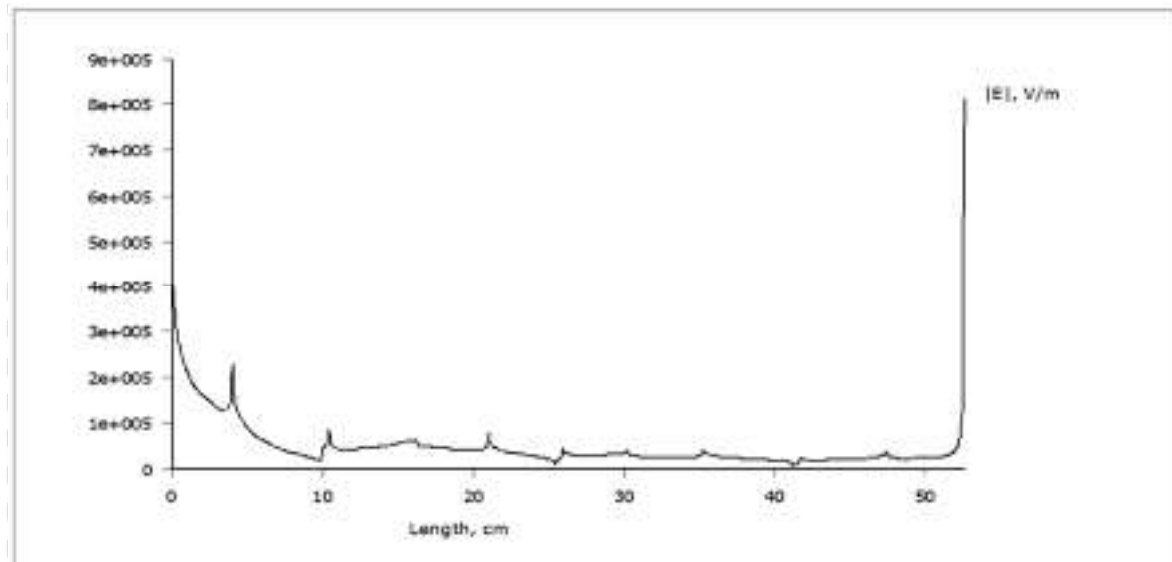
Gambar 4.2 Grafik distribusi intensitas medan listrik pada permukaan isolator sirip

Gambar 4.1 merupakan gambar hasil dari simulasi yang menunjukkan distribusi tegangan dan intensitas medan listrik pada isolator tipe sirip seragam. Distribusi tegangan dapat dilihat dari perbedaan warna pada beberapa area, dimana warna merah merupakan area dengan distribusi tegangan tinggi, sedangkan area dengan distribusi tegangan rendah ditunjukkan dengan warna biru. Distribusi intensitas medan listrik dapat dilihat dari arah tanda panah yang menunjukkan arah dari medan listrik dan panjang tanda panah yang menunjukkan besar intensitas medan listrik pada area tersebut.

Besar intensitas medan listrik di sepanjang permukaan isolator tipe sirip seragam dapat dilihat dari grafik pada Gambar 4.2. Sumbu-X merupakan panjang dari permukaan isolator yang menghubungkan sisi konduktor bertegangan dengan konduktor tidak bertegangan, yang mana intensitas medan maksimum terdapat pada panjang permukaan 55 cm dimulai dari titik terendah atas ke bawah dengan besar intensitas medan listrik sebesar $5,58816 \times 10^5$ kV/cm, dan intensitas medan paling rendah terdapat pada panjang permukaan 44,20 cm dengan besar intensitas medan listrik sebesar $3,699 \times 10^3$ kV/cm dimulai dari titik terbesar dari bawah ke atas. Untuk mendapatkan intensitas medan rata-rata maka dapat dilakukan dengan menjumlahkan intensitas medan listrik pada tiap cm permukaan isolator. Pada isolator tipe sirip seragam didapatkan intensitas medan listrik sebesar $1,804 \times 10^4$ kV/cm dan tingkat homogenitas η sebesar 0,0237.



Gambar 4.3 Distribusi tegangan dan intensitas medan listrik pada isolator sirip tidak seragam



Gambar 4.4 Grafik distribusi intensitas medan listrik pada permukaan isolator tipe sirip tidak seragam

Gambar 4.3 merupakan gambar hasil dari simulasi yang menunjukkan distribusi tegangan dan intensitas medan listrik pada isolator tipe sirip tidak seragam. Distribusi tegangan dapat dilihat dari perbedaan warna pada beberapa area, dimana warna merah merupakan area dengan distribusi tegangan tinggi, sedangkan area dengan distribusi tegangan rendah ditunjukkan dengan warna biru. Distribusi intensitas medan listrik dapat dilihat dari arah tanda panah yang menunjukkan arah dari medan listrik dan panjang tanda panah yang menunjukkan besar intensitas medan listrik pada area tersebut.

Besar intensitas medan listrik di sepanjang permukaan isolator tipe sirip tidak seragam dapat dilihat dari grafik pada Gambar 4.4. Sumbu-X merupakan panjang dari permukaan

isolator yang menghubungkan sisi konduktor bertengangan dengan konduktor tidak bertegangan, yang mana intensitas medan maksimum terdapat pada panjang permukaan 52,62 cm dengan besar $8,1283 \times 10^5$ kV/cm, dan intensitas medan paling rendah terdapat pada panjang permukaan 41,28 cm dengan besar intensitas medan listrik sebesar $4,794 \times 10^3$ kV/cm, untuk mendapatkan intensitas medan rata-rata maka dapat dilakukan dengan menjumlahkan intensitas medan listrik pada tiap cm permukaan isolator. Pada isolator tipe sirip tidak seragam didapatkan intensitas medan listrik sebesar $4,74 \times 10^4$ kV/cm dan tingkat homogenitas η sebesar 0,0583.

Berdasarkan data dari simulasi menggunakan *software* FEMM, Didapatkan bahwa intensitas medan maksimum paling tinggi terdapat pada isolator tipe sirip tidak seragam, sementara untuk medan maksimum terendah terdapat pada isolator tipe sirip seragam. Intensitas medan yang tinggi akan cenderung menyebabkan timbulnya arus bocor namun tidak hanya intensitas medan, Bentuk geometris isolator dan jarak rambat isolator juga berpengaruh. Untuk membuktikan pengaruh maka akan dilakukan percobaan untuk membuktikan pengaruh intensitas medan listrik terhadap arus bocor pada isolator.

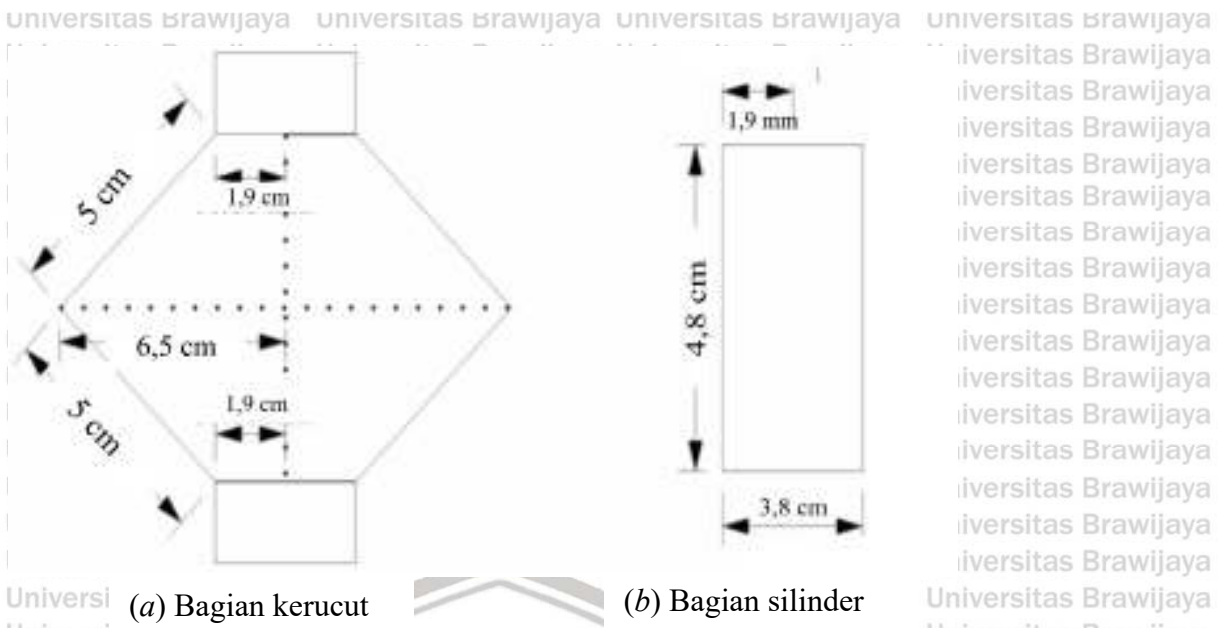
4.2 Perhitungan Faktor Bentuk Isolator Polimer Resin Epoksi

Pada pengujian ini menggunakan isolator dengan menggunakan bahan polimer Resin Epoksi. Faktor bentuk digunakan untuk membedakan profil dan bentuk dari suatu isolator dengan isolator yang lain. Bentuk geometris dari setiap isolator polimer resin epoksi yang sebenarnya akan disederhanakan menjadi sebuah model dan kemudian akan dilakukan perhitungan faktor bentuk menggunakan persamaan (2-3) dan persamaan (2-4), dengan hasil perhitungan sebagai berikut:

A. Isolator Tipe Sirip Seragam

Bentuk geometris dari isolator uji dengan tipe sirip seragam dapat dilihat pada Gambar 3.2. Bentuk geometris isolator tersebut dibagi menjadi bagian kerucut dan silinder, kemudian disederhanakan menjadi model isolator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5 serta dilakukan perhitungan faktor bentuk menggunakan persamaan (2-3) dan persamaan (2-4) dengan L_1 adalah jarak rambat bagian isolator yang ditarik dari bagian elektroda yang menyentuh isolator ke bagian terluar isolator, L_2 adalah jarak rambat isolator bagian bawah, r_2 adalah jari-jari isolator yang ditarik dari sisi terluar isolator, r_1 dan r_3 adalah jari-jari elektroda, L adalah panjang bagian silinder, dan R adalah jari-jari bagian silinder.

Perhitungan faktor bentuk isolator 2 sirip adalah sebagai berikut:



Gambar 4.5 Pendekatan faktor bentuk isolator tipe sirip seragam

Diketahui:

a) Bagian Kerucut

$$L_1 = 5 \text{ cm}$$

$$L_2 = 5 \text{ cm}$$

$$r_1 = 1,9 \text{ cm}$$

$$r_2 = 6,5 \text{ cm}$$

$$r_3 = 1,9 \text{ cm}$$

b) Bagian Silinder

$$L = 4,8 \text{ cm}$$

$$R = 3,8 \text{ cm}$$

Dengan mengacu pada persamaan (2-3) dan persamaan (2-4), didapatkan perhitungan sebagai berikut:

a) Bagian Kerucut Besar

$$F_{Bkerucut} = \frac{L_1}{2,3,14(r_2-r_1)} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{L_2}{2,3,14(r_2-r_3)} \ln \frac{r_2}{r_3}$$

$$F_{Bkerucut} = \frac{5}{2,3,14(6,5-1,9)} \ln \frac{6,5}{1,9} + \frac{5}{2,3,14(6,5-1,9)} \ln \frac{6,5}{1,9}$$

$$F_{Bkerucut} = 0,2127 + 0,2127$$

$$F_{Bkerucut} = 0,4254$$

b) Bagian Silinder

$$F_{Bsilinder} = \frac{L}{2 \pi R}$$

$$F_{Bsilinder} = \frac{4,8}{2,3,14 \cdot 3,8}$$

$$F_{B_{\text{silinder}}} = 0,2011$$

c) Faktor Bentuk Total

$$F_B = 3 \times F_{B_{\text{kerucut}}} + 2 \times F_{B_{\text{silinder}}}$$

$$F_B = 3 \times 0,4254 + 2 \times 0,2011$$

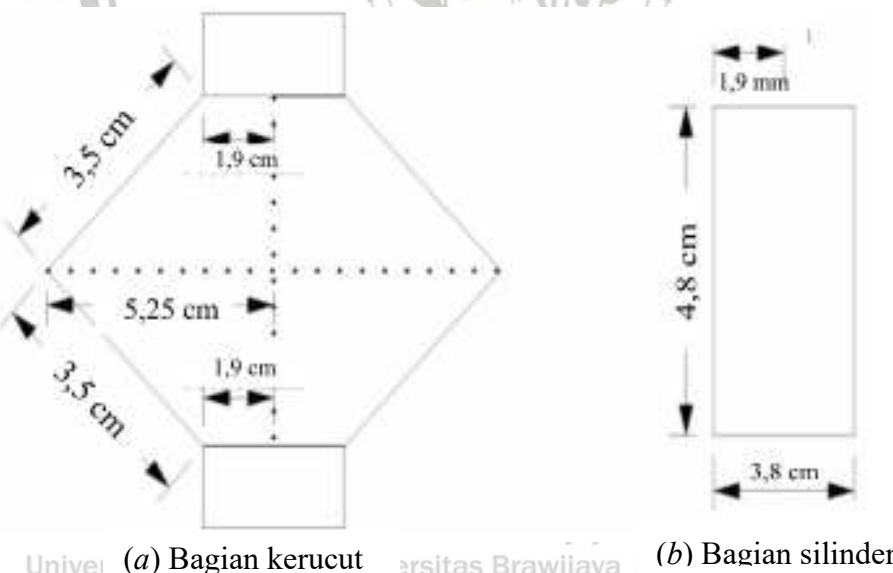
$$F_B = 1,6784$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan faktor bentuk (F_B) dari isolator tipe sirip seragam adalah sebesar 1,6784.

B. Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam

Bentuk geometris dari isolator uji dengan 3 sirip dapat dilihat pada Gambar 3.4. Bentuk geometris isolator tersebut dibagi menjadi bagian kerucut dan silinder, kemudian disederhanakan menjadi model isolator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 serta dilakukan perhitungan faktor bentuk menggunakan persamaan (2-3) dan persamaan (2-4) dengan L_1 adalah jarak rambat bagian isolator yang ditarik dari bagian elektroda yang menyentuh isolator ke bagian terluar isolator, L_2 adalah jarak rambat isolator bagian bawah, r_2 adalah jari-jari isolator yang ditarik dari sisi terluar isolator, r_1 dan r_3 adalah jari-jari elektroda, L adalah panjang bagian silinder, dan R adalah jari-jari bagian silinder.

Perhitungan faktor bentuk isolator 3 sirip adalah sebagai berikut:



Gambar 4.6 Pendekatan faktor bentuk isolator tipe sirip seragam

Diketahui: **a) Bagian Kerucut** **b) Bagian Silinder**

$$L_1 = 3,5 \text{ cm}$$

$$L = 4,8 \text{ cm}$$

$$L_2 = 3,5 \text{ cm}$$

$$R = 3,8 \text{ mm}$$

$$r_1 = 1,9 \text{ cm}$$

$$r_2 = 5,25 \text{ cm}$$

$$r_3 = 1,9 \text{ cm}$$

Dengan mengacu pada persamaan (2-3) dan (2-4), didapatkan perhitungan sebagai berikut:

a) Bagian Kerucut Kecil

$$F_{Bkerucut} = \frac{L_1}{2.3,14(r_2-r_1)} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{L_2}{2.3,14(r_2-r_3)} \ln \frac{r_2}{r_3}$$

$$F_{Bkerucut} = \frac{3,5}{2.3,14(5,25-1,9)} \ln \frac{5,25}{1,9} + \frac{3,5}{2.3,14(5,25-1,9)} \ln \frac{5,25}{1,9}$$

$$F_{Bkerucut} = 0,1663 + 0,1663$$

$$F_{Bkerucut} = 0,3326$$

b) Bagian Silinder

$$F_{Bsilinder} = \frac{L}{2 \pi R}$$

$$F_{Bsilinder} = \frac{4,8}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,8}$$

$$F_{Bsilinder} = 0,2011$$

c) Faktor Bentuk Total

$$F_B = 2 \times F_{Bkerucut} + F_{Bkerucut} + 2 \times F_{Bsilinder}$$

$$F_B = 2 \times 0,4254 + 0,3326 + 2 \times 0,2011$$

$$F_B = 0,8508 + 0,3326 + 0,4022$$

$$F_B = 1,5856$$

Berdasarkan perhitungan di atas, didapatkan faktor bentuk (F_B) dari isolator tipe sirip tidak seragam adalah sebesar 1,5856.

4.3 Perhitungan Debit Pembasahan Objek Uji

Debit pembasahan yang digunakan pada penelitian ini merujuk pada data intensitas hujan hasil observasi dari tahun 1981-2018 yang dilakukan oleh BMKG berupa tren curah hujan di Indonesia yang dibagi menjadi 4 yaitu 1, 20, 50 dan 100 mm/hari dalam setahun. Curah hujan dengan intensitas 20 mm memiliki arti bahwa pada suatu area dengan luas 1 m² menghasilkan hujan rata-rata sebanyak 20liter air hujan. Hal tersebut juga berlaku pada nilai intensitas hujan 50 dan 100 mm yang akan menghasilkan hujan rata-rata masing-masing sebanyak 50 dan 100liter air hujan. Di dalam penelitian ini, berdasarkan persamaan (2-14) maka akan didapatkan nilai debit pembasahan dengan mengasumsikan durasi hujan selama

30 menit dengan menggunakan tren curah hujan 20, 50, dan 100 mm/hari seperti tren intensitas hujan di Indonesia sebagai berikut:

Pengujian basah merupakan pengujian dengan debit pembasahan rendah, sehingga menggunakan intensitas curah hujan 20 mm/hari, dimana didapatkan volume air hujan (*Vol*) sebesar 20liter dengan diasumsikan durasi hujan (*t*) selama 30 menit, maka perhitungan debit pembasahannya adalah sebagai berikut:

$$Q = \frac{Vol}{t}$$

$$Q = \frac{20 \text{ Liter}}{30 \text{ Menit}} = \frac{20.000 \text{ cm}^3}{1800 \text{ s}}$$

$$Q = 11,111 \text{ Cm}^3/\text{s}$$

$$= 11,111 \text{ mL/s} \approx 10 \text{ mL/s}$$

4.4 Perhitungan Sudut Kontak Objek Uji

Pengukuran sudut kontak permukaan isolator dilakukan untuk mengetahui sifat hidrofobik dari permukaan isolator polimer resin epoksi *filler fly ash*. Pengukuran sudut kontak isolator pertama dilakukan pada isolator tipe sirip seragam (BBB).



Gambar 4.7 Sudut kontak isolator tipe sirip seragam

Hasil pengukuran sudut kontak pada isolator tipe sirip seragam (BBB) dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Sudut kontak isolator tipe sirip seragam

Tipe Isolator	Percobaan	Sudut Kontak (°)		Sudut Kontak Rerata (°)
		Kiri (°)	Kanan (°)	
Isolator Tipe Sirip Seragam (BBB)	1	66,95	72,54	69,75
	2	76,50	62,84	69,67
	3	79,46	73,78	76,62
	Total	74,30	69,72	72,01

Pengukuran sudut kontak isolator kedua dilakukan pada isolator tipe sirip tidak seragam (BKB).



Gambar 4.8 Sudut kontak isolator tipe sirip tidak seragam

Hasil pengukuran sudut kontak pada isolator tipe sirip tidak seragam (BKB) dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Sudut kontak isolator tipe sirip tidak seragam

Tipe Isolator	Percobaan	Sudut Kontak ($^{\circ}$)		Sudut Kontak Rerata ($^{\circ}$)
		Kiri ($^{\circ}$)	Kanan ($^{\circ}$)	
Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam (BKB)	1	72,39	70,40	71,39
	2	73,91	72,26	73,08
	3	70,82	71,80	71,31
	Total	72,37	71,49	71,93

Dari hasil pengukuran sudut kontak isolator dapat diketahui nilai dari isolator tipe sirip seragam (BKB) yang direrata adalah $72,01^{\circ}$, Sedangkan untuk nilai dari isolator tipe sirip tidak seragam (BKB) yang direrata adalah $71,93^{\circ}$. Dapat disimpulkan bahwa sampel isolator resin epoksi *filler fly ash* berada diantara kisaran $30^{\circ} - 90^{\circ}$ yang dapat dikategorikan bersifat *partially wetted* (basah Sebagian). Hal ini berarti isolator tipe sirip seragam memiliki sudut kontak yang lebih besar yang berarti isolator ini memiliki sifat hidrofobik yang lebih baik dibandingkan dengan isolator tipe sirip tidak seragam.

4.5 Pengujian Arus Bocor pada Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip

Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Rangkaian yang digunakan adalah rangkaian pembangkit tegangan tinggi AC seperti pada Gambar 3.10. Pengujian kering menggunakan isolator bersih yang dibersihkan terlebih dahulu menggunakan alkohol dan pengujian basah menggunakan isolator yang telah dibersihkan terlebih dahulu sebelum kemudian dikondisikan pada ruang uji seperti pada Gambar 3.8. Variabel penelitian pada pengujian ini adalah variasi sirip dari

isolator yang diuji, besar tegangan uji yang diberikan, dan besar debit pembasahan pada pengujian kondisi basah. Pengambilan data tingkat arus bocor pada pengujian ini dilakukan 3 kali, dimana dari data tersebut dihitung rata-rata tingkat arus bocornya, yang kemudian dituliskan pada Tabel 4.3 sampai dengan Tabel 4.6, sedangkan untuk data keseluruhan dari pengujian ini dapat dilihat pada lampiran.

4.5.1 Pengaruh Perubahan Tegangan Uji pada Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip Terhadap Peningkatan Arus Bocor Kondisi Kering

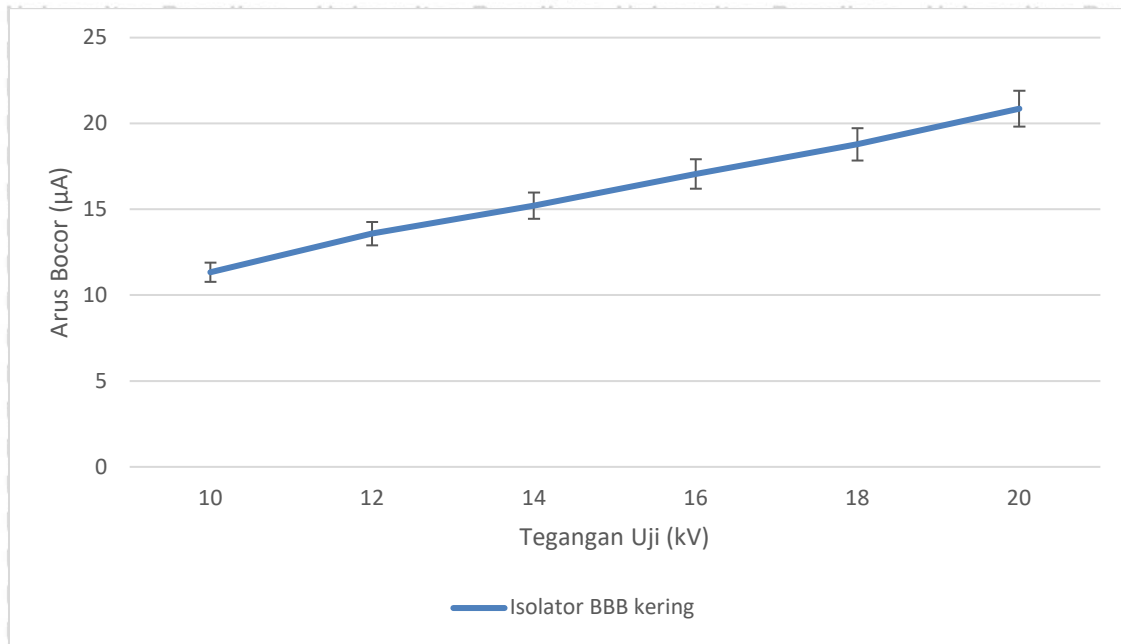
Pengujian arus bocor kondisi kering dilakukan pada 2 isolator dengan variasi tipe sirip yang berbeda. Tegangan uji yang diterapkan sebesar 10, 12, 14, 16, 18, dan 20 kV.

Pengujian arus bocor kondisi kering yang pertama dilakukan pada isolator tipe sirip seragam, dimana data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.3 dan 4.4.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Arus Bocor pada Isolator Tipe Sirip Seragam dalam Kondisi Kering

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (µA)
		Kondisi Kering
1.	10	11,34
2.	12	13,59
3.	14	15,21
4.	16	17,06
5.	18	18,78
6.	20	20,87

Pada Tabel 4.3 dapat diamati bahwa variasi tegangan uji mempengaruhi tingkat arus bocor pada isolator tipe sirip seragam. Mulai dari tegangan uji awal sebesar 10 kV yang diberikan hingga 20 kV tegangan uji terjadi kenaikan tingkat arus bocor. Untuk memudahkan proses analisis hubungan antara tingkat arus bocor terhadap tegangan uji, maka dapat dibuat grafik dari Tabel 4.3 seperti pada Gambar 4.9



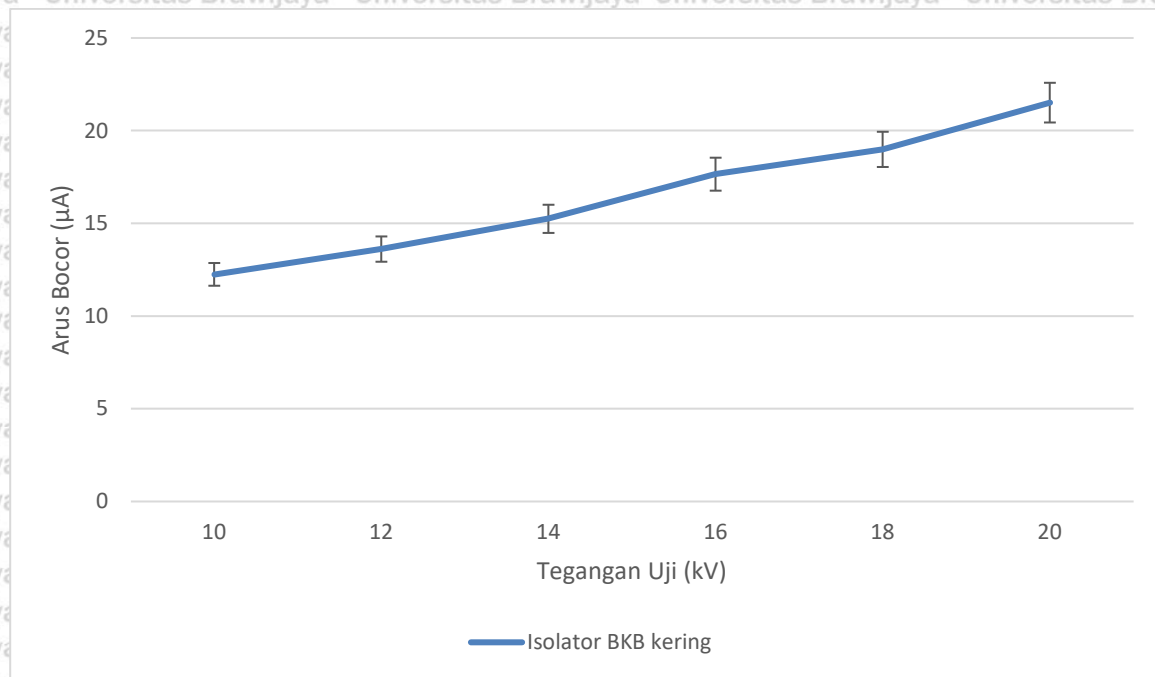
Gambar 4.9 Grafik hubungan tingkat arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator tipe sirip seragam kondisi kering

Dari Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa hubungan tingkat arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator tipe sirip seragam adalah berbanding lurus positif. Semakin besar tegangan uji maka tingkat arus bocornya semakin besar pula. Arus bocor naik secara linier terhadap kenaikan tegangan uji. Pengujian arus bocor yang kedua adalah isolator tipe sirip tidak seragam, dimana besar tegangan uji yang diberikan sama seperti pengujian sebelumnya. Pengambilan data dalam pengujian arus bocor ini dilakukan 3 kali dan akan dirata-ratakan. Data hasil pengujian arus bocor pada isolator tipe sirip tidak seragam kondisi kering dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Arus Bocor pada Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam dalam Kondisi Kering

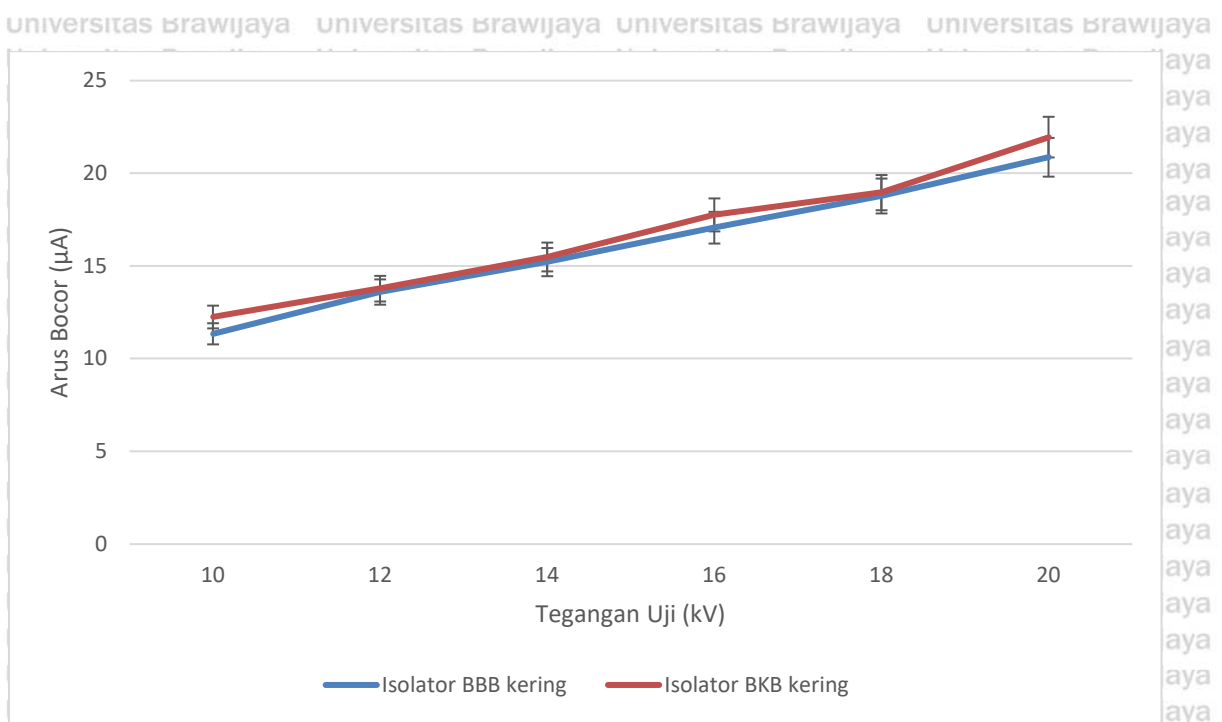
No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (µA)
		Kondisi Kering
1.	10	12,25
2.	12	13,62
3.	14	15,25
4.	16	17,66
5.	18	18,99
6.	20	21,52

Dari tabel 4.4. Dari tabel tersebut dapat diamati dapat diamati bahwa arus bocor pada isolator tipe sirip tidak seragam terjadi kenaikan arus bocor secara linier berbanding lurus dengan kenaikan tegangan uji, mulai dari tegangan awal yang diberikan sebesar 10 kV hingga tegangan 20 kV. Hasil pengujian kondisi kering arus bocor pada isolator tipe sirip tidak seragam memiliki rata-rata arus bocor yang lebih besar dibanding dengan isolator tipe sirip seragam. Untuk memudahkan proses analisis hubungan antara tingkat arus bocor terhadap tegangan uji, maka dapat dibuat grafik dari Tabel 4.4 seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik hubungan tingkat arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator tipe sirip tidak seragam kondisi kering

Dari Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa hubungan tingkat arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator tipe sirip seragam adalah berbanding lurus positif. Semakin besar tegangan uji maka tingkat arus bocornya semakin besar pula. Arus bocor naik secara linier terhadap kenaikan tegangan uji.



Gambar 4.11 Grafik perbandingan tingkat arus bocor pada isolator tipe sirip seragam dengan tipe sirip tidak seragam dalam kondisi kering

Pada Gambar 4.11 ditampilkan grafik tingkat arus bocor dari kedua variasi isolator uji hasil pengujian kondisi kering. Berdasarkan hasil keseluruhan analisis diatas, dapat disimpulkan bahwa tingkat arus bocor dapat dipengaruhi oleh besar tegangan uji yang diberikan dan jumlah sirip isolator, dimana semakin besar tegangan uji mengakibatkan tingkat arus bocor semakin besar pula dan hasil pengujian kondisi kering arus bocor pada isolator tipe sirip tidak seragam memiliki rata-rata arus bocor yang lebih besar dibanding dengan isolator tipe sirip seragam. semakin banyak jumlah sirip isolator dengan jarak rambat yang sama dapat mengakibatkan tingkat arus bocor semakin kecil.

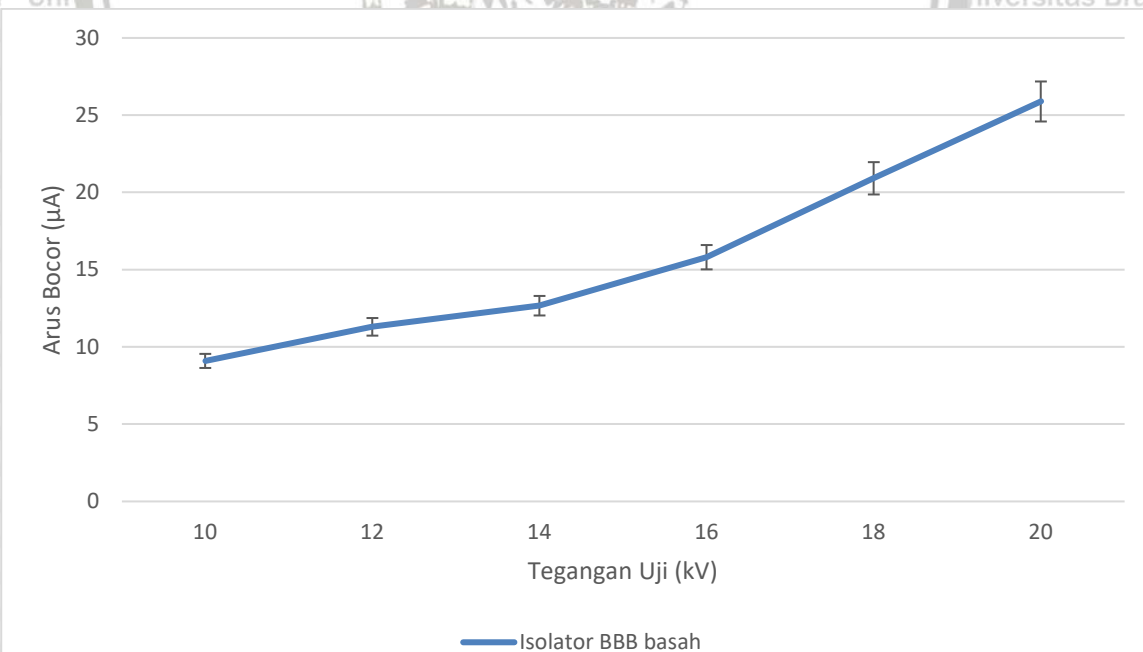
4.5.2 Pengaruh Perubahan Tegangan Uji pada Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip Terhadap Peningkatan Arus Bocor Kondisi Basah

Pada subbab ini dilakukan pengujian arus bocor pada masing-masing tipe sirip isolator dengan menggunakan kondisi pembasahan, dimana dalam pengujian basah dilakukan dengan kondisi hujan ringan yaitu debit 10 mL/s. Pengujian arus bocor kondisi kering dilakukan pada 2 isolator dengan variasi tipe sirip yang berbeda. Tegangan uji yang diterapkan sebesar 10, 12, 14, 16, 18, dan 20 kV. Pengujian arus bocor kondisi basah yang pertama dilakukan pada isolator tipe sirip seragam, dimana data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.5 dan 4.6.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Arus Bocor pada Isolator Tipe Sirip Seragam dalam Kondisi Basah

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (μA)
		Kondisi Basah
1.	10	9,10
2.	12	11,30
3.	14	12,67
4.	16	15,81
5.	18	20,91
6.	20	25,90

Pada Tabel 4.5 dapat diamati dapat diamati bahwa arus bocor pada isolator tipe sirip seragam terjadi kenaikan arus bocor disetiap kenaikan tegangan uji, mulai dari tegangan uji awal sebesar 10 kV yang diberikan hingga 20 kV tegangan uji terjadi kenaikan tingkat arus bocor, untuk dapat mengamati lebih jelas mengenai kenaikan arus bocor pada isolator tipe sirip seragam dapat dibuat grafik dari tabel 4.5 hubungan antara arus bocor dan tegangan uji yang ditunjukkan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik hubungan tingkat arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator tipe sirip seragam kondisi basah

Dari Gambar 4.12 terlihat bahwa variasi tegangan uji, dimana semakin besar tegangan uji akan menyebabkan kenaikan arus bocor semakin besar, arus bocor naik secara

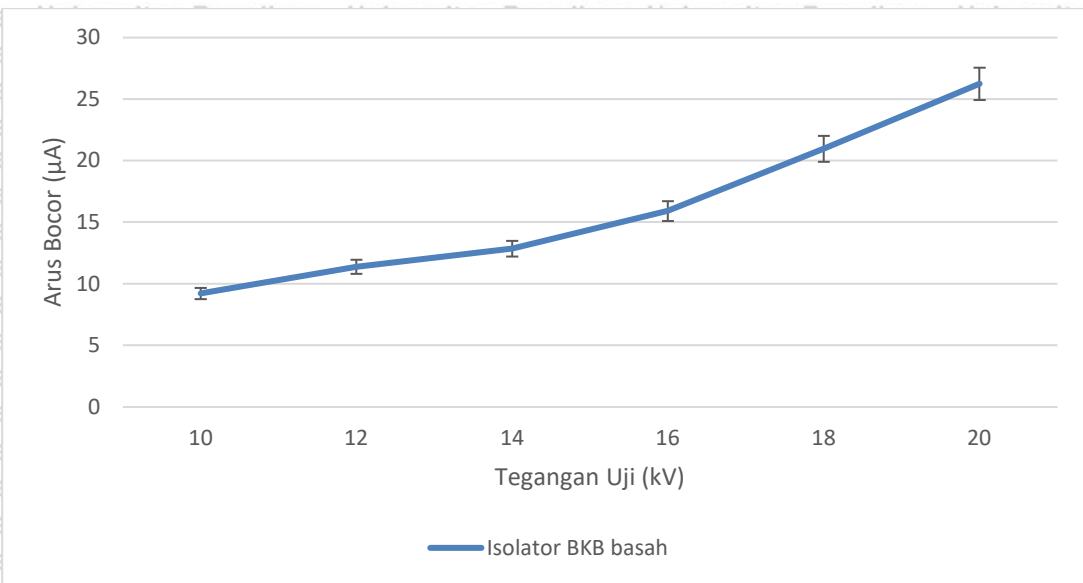
linear terhadap kenaikan tegangan uji. Kenaikan tingkat arus bocor hal ini juga berlaku pada variasi tegangan uji yang diberikan pada isolator baik dalam kondisi kering maupun basah semakin tinggi variasi tegangan uji yang diberikan pada isolator maka tingkat arus bocor juga semakin tinggi.

Pengujian arus bocor yang kedua adalah isolator tipe sirip tidak seragam (BKB), dimana besar tegangan uji yang diberikan sama seperti pengujian sebelumnya. Pengambilan data dalam pengujian arus bocor ini dilakukan 3 kali dimana dan akan dirata-ratakan. Data hasil pengujian arus bocor pada isolator tipe sirip tidak seragam dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Arus Bocor pada Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam dalam Kondisi Basah

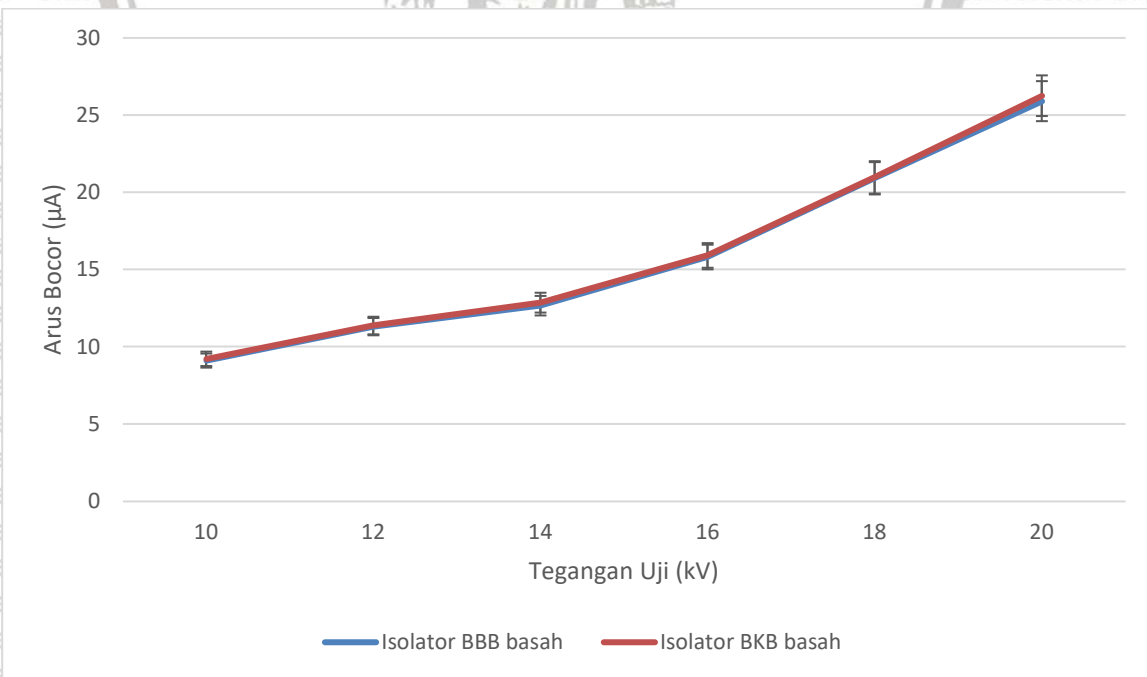
No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (μA)
		Kondisi Basah
1.	10	9,22
2.	12	11,38
3.	14	12,85
4.	16	15,91
5.	18	20,97
6.	20	26,25

Data hasil pengujian yang kedua adalah pada isolator tipe sirip tidak seragam, yang ditampilkan pada Tabel 4.6. dapat diamati bahwa arus bocor pada isolator tipe sirip tidak seragam terjadi kenaikan arus bocor secara linier berbanding lurus dengan kenaikan tegangan uji, Mulai dari tegangan awal yang diberikan sebesar 10 kV hingga tegangan 20 kV. Kenaikan tingkat arus bocor hal ini juga berlaku pada variasi tegangan uji yang diberikan pada isolator baik dalam kondisi kering maupun basah semakin tinggi variasi tegangan uji yang diberikan pada isolator maka tingkat arus bocor juga semakin tinggi. Untuk dapat mengamati hasil pengujian pada isolator tipe sirip tidak seragam dengan lebih jelas dari Tabel 4.4 maka dapat dibuat grafik hubungan arus bocor dengan variasi tegangan uji seperti pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Grafik hubungan tingkat arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator tipe sirip tidak seragam kondisi basah

Dari Gambar 4.13 terlihat bahwa variasi tegangan uji, dimana semakin besar tegangan uji akan menyebabkan kenaikan arus bocor semakin besar, arus bocor naik secara linear terhadap kenaikan tegangan uji. Kenaikan tingkat arus bocor hal ini juga berlaku pada variasi tegangan uji yang diberikan pada isolator baik dalam kondisi kering maupun basah semakin tinggi variasi tegangan uji yang diberikan pada isolator maka tingkat arus bocor juga semakin tinggi.



Gambar 4.14 Grafik perbandingan tingkat arus bocor pada isolator tipe sirip tidak seragam dengan tipe sirip tidak seragam dalam kondisi basah

Pada Gambar 4.14 ditampilkan grafik tingkat arus bocor dari kedua variasi isolator uji hasil pengujian kondisi basah. Berdasarkan hasil keseluruhan analisis diatas, dapat disimpulkan bahwa tingkat arus bocor dapat dipengaruhi oleh besar tegangan uji yang diberikan dan jumlah sirip isolator, dimana semakin besar tegangan uji mengakibatkan tingkat arus bocor semakin besar pula dan hasil pengujian kondisi kering arus bocor pada isolator tipe sirip tidak seragam memiliki rata-rata arus bocor yang lebih besar dibanding dengan isolator tipe sirip seragam.

4.5.3 Pengaruh Variasi Tipe Sirip pada Isolator Terhadap Peningkatan Arus Bocor Kondisi Kering dan Basah

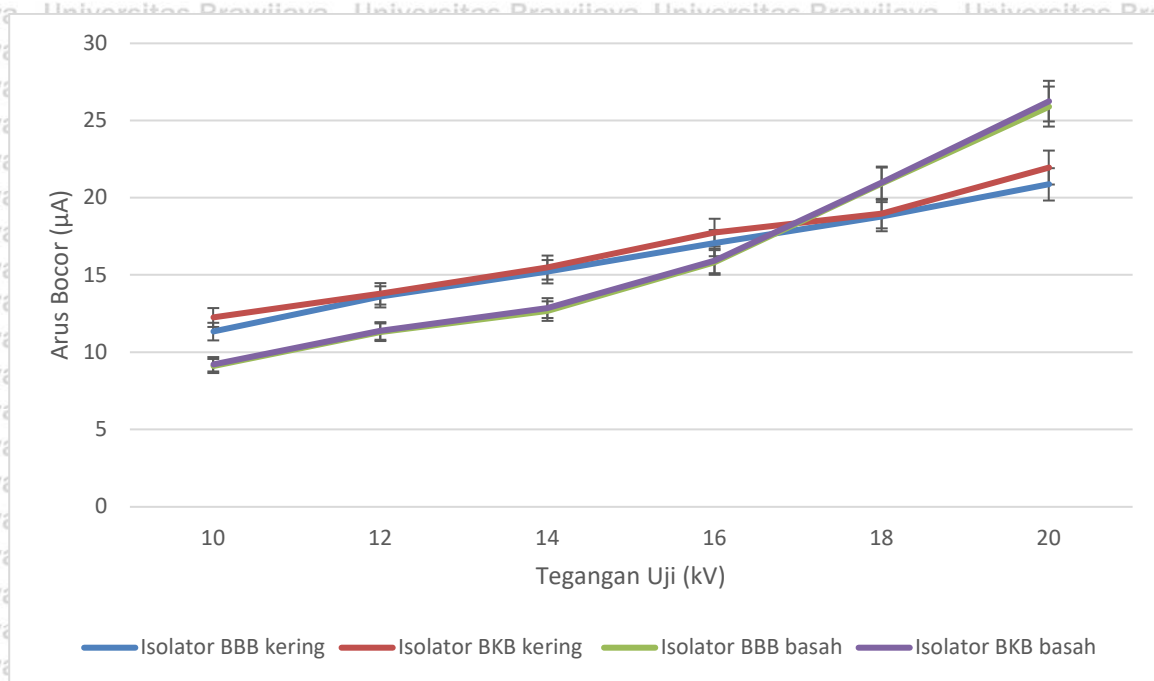
Akan dijabarkan lebih mengenai pengaruh dari variasi tipe sirip pada isolator terhadap nilai arus bocor pada kondisi kering dan basah sehingga akan lebih mudah diklasifikasikan besar arus bocor menurut variasi tegangan yang diberikan pada pengujian, masing-masing tegangan uji akan diklasifikasikan dalam bentuk tabel dan grafik beserta besar arus bocor untuk masing-masing. Data hasil pengujian untuk isolator uji pada kondisi kering dan basah dapat dilihat pada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Data Perbandingan Hasil Pengujian Arus Bocor pada Isolator Tipe Sirip Seragam dan Isolator Tipe Sirip tidak Seragam dalam Kondisi Kering dan Basah

No	Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (μ A)			
		Kering		Basah	
		Isolator BBB	Isolator BKB	Isolator BBB	Isolator BKB
1.	10	11,34	12,25	9,10	9,22
2.	12	13,59	13,78	11,30	11,38
3.	14	15,21	15,48	12,67	12,85
4.	16	17,06	17,75	15,81	15,91
5.	18	18,78	18,96	20,91	20,97
6.	20	20,87	21,95	25,90	26,25

Pada tabel 4.7 dapat diamati bahwa rata-rata nilai arus bocor pada isolator BBB kondisi kering cenderung memiliki nilai arus yang lebih besar dibanding dengan isolator BKB kondisi kering ini dikarenakan pada isolator tipe sirip seragam memiliki jarak lintasan arus bocor yang lebih panjang dari isolator tipe sirip tidak seragam, sehingga arus bocornya menjadi lebih kecil. Semakin panjang jarak lintasan/jarak rayap (*leakage or creepage distance*) dan semakin besar luas penampang isolator, maka semakin kecil nilai arus

bocornya. Sementara dilihat dari kondisi basah pada permukaan isolator, isolator dengan kondisi basah nilainya lebih besar dibandingkan dengan kondisi kering. Dimana isolator BKB memiliki nilai arus bocor yang lebih besar dibandingkan dengan isolator BBB. Hal ini menunjukkan bahwa dengan melihat dari kondisi dilapangan baik itu kondisi kering maupun basah sangat berpengaruh pada permukaan isolator, sehingga apabila resistifitas meningkat maka akan lebih sulit untuk dialiri arus atau arus bocornya lebih kecil. Untuk dapat diamati dengan lebih jelas maka Tabel 4.7 data hasil pengujian ini dapat dibuat grafik hubungan antara arus bocor dengan kondisi isolator pada Gambar 4.15



Gambar 4.15 Grafik perbandingan hasil pengujian tingkat arus bocor pada isolator tipe sirip tidak seragam dengan tipe sirip tidak seragam dalam kondisi kering dan basah

Pada gambar 4.15 didapatkan bahwa arus bocor kondisi kering pada kedua tipe isolator baik kondisi kering dan basah meningkat seiring dengan peningkatan tegangan uji yang diberikan. Isolator dengan tipe sirip tidak seragam memiliki nilai arus bocor yang lebih kecil dari tipe sirip seragam pada kondisi kering. Sementara untuk kondisi basah isolator dengan tipe sirip seragam nilai arus bocornya cenderung lebih kecil dari pada permukaan isolator dengan tipe sirip tidak seragam.

4.5.4 Pengaruh Faktor Bentuk Isolator terhadap Tingkat Arus Bocor pada Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip

Pada bagian ini akan dianalisis mengenai pengaruh faktor bentuk isolator terhadap tingkat arus bocor pada masing-masing variasi isolator, dimana pada analisis sebelumnya didapatkan bahwa semakin banyak jumlah sirip isolator maka tingkat arus bocor dari isolator

tersebut akan semakin kecil. Pada sub bab 4.2 telah dilakukan penghitungan nilai faktor bentuk dari masing-masing variasi isolator. Data hasil perhitungan faktor bentuk dapat dilihat pada Tabel 4.8, yang mana juga disertakan tingkat arus bocor hasil pengujian dalam kondisi kering dan basah. Data arus bocor diambil dari pengujian arus bocor yang menggunakan tegangan uji sebesar 18 kV.

Tabel 4.8 Perbandingan Faktor Bentuk terhadap Tingkat Arus Bocor pada Isolator dengan Variasi Tipe Sirip dalam Kondisi Kering dan Basah

Tipe Isolator	Faktor Bentuk	Arus Bocor pada Tegangan Uji 18 kV (mA)	
		Kering	Basah
Sirip Seragam	1,6784	18,78	20,91
Sirip Tidak Seragam	1,5856	18,99	20,97



Gambar 4.16 Grafik perbandingan faktor bentuk terhadap tingkat arus bocor pada isolator dengan variasi tipe sirip dalam kondisi kering dan basah

Pada Tabel 4.8 Dapat diamati bahwa faktor bentuk variasi tipe sirip seragam lebih besar dibandingkan faktor bentuk tipe sirip tidak seragam. Dari Gambar 4.16 dapat diamati bahwa semakin besar faktor bentuk pada isolator dengan variasi tipe sirip, maka tingkat arus bocornya akan semakin kecil. Pengaruh tersebut terjadi pada masing-masing kondisi, baik dalam kondisi kering maupun basah dengan debit 10 mL/s.

4.6 Perhitungan Resistansi Permukaan Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip pada Kondisi Kering dan Basah

Pada sub bab ini, akan dibahas hasil perhitungan dari nilai resistansi permukaan masing-masing variasi isolator dalam semua kondisi dan semua variasi tegangan uji. Perhitungan dilakukan pada 2 isolator. Tegangan uji yang diterapkan sebesar 10, 12, 14, 16, 18, dan 20 kV untuk kondisi kering dan kondisi basah. Untuk kondisi basah akan diterapkan debit pembasahan sebesar 10 mL/s. Perhitungan resistansi ini akan menggunakan persamaan (2-13) sebagai berikut:

$$R = \frac{V}{I}$$

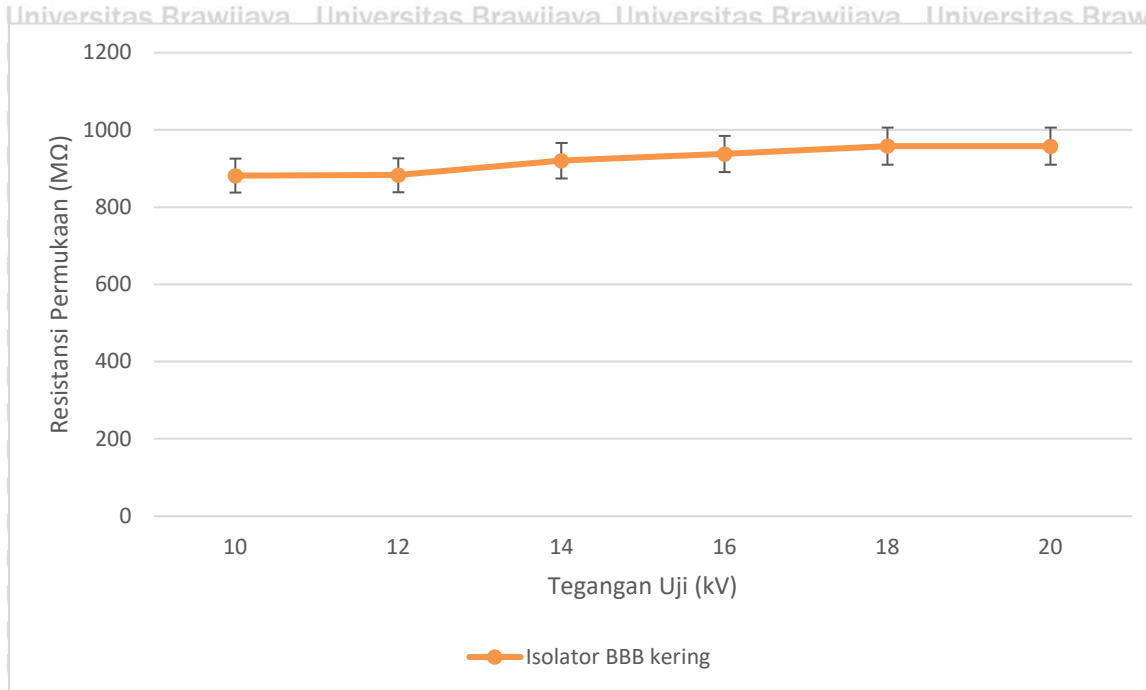
Dengan nilai V adalah besar tegangan uji dalam satuan volt dan I adalah besar rata-rata tingkat arus bocor dalam satuan ampere pada tegangan uji sebesar V , untuk mendapatkan besar R yaitu resistansi permukaan isolator pada kondisi tersebut. Hasil dari perhitungan akan ditampilkan pada Tabel 4.7 sampai dengan Tabel 4.10, yang akan ditampilkan juga besar tegangan uji yang diberikan. Pertama akan dimulai dari hasil perhitungan resistansi dari isolator tipe sirip seragam, dimana hasil saat kondisi kering dan basah dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan saat kondisi basah dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.9 Nilai Resistansi Permukaan Isolator Tipe Sirip Seragam dalam Kondisi Kering

No	Tegangan Uji (kV)	Resistansi Permukaan (MΩ)
		Kering
1.	10	881,83
2.	12	883,00
3.	14	920,44
4.	16	937,86
5.	18	958,46
6.	20	958,31

Pada Tabel 4.9, dapat diamati bahwa resistansi permukaan dari isolator tipe sirip seragam pada kondisi kering resistansi permukaan cenderung mengalami kenaikan dimana hal ini merupakan salah satu ciri bahan isolator polimer resin epoksi memiliki resistansi permukaan yang baik pada setiap kenaikan tegangan uji. Besar resistansi permukaan pada kondisi kering berada pada angka 881,83 MΩ sampai dengan 958,31 MΩ. Untuk memudahkan proses analisis, maka dapat dibuat grafik dari Tabel 4.9 seperti pada Gambar

4.17.



Gambar 4.17 Grafik resistansi permukaan isolator tipe sirip seragam dalam kondisi kering

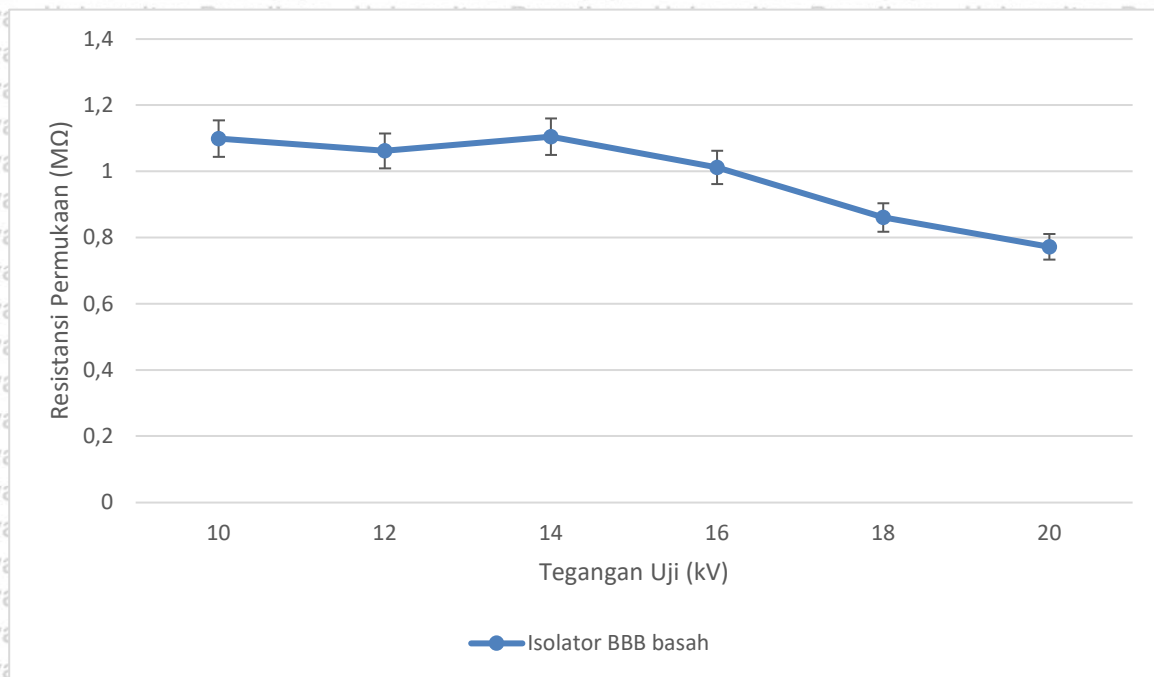
Pada Gambar 4.17, dapat diamati bahwa data resistansi permukaan isolator tipe sirip seragam dalam kondisi kering diatas didapatkan resistansi permukaan paling besar adalah saat isolator tipe sirip seragam dalam kondisi kering dan bersih, dimana terdapat kenaikan resistansi permukaan pada setiap kenaikan tegangan.

Tabel 4.10 Nilai Resistansi Permukaan Isolator Tipe Sirip Seragam dalam Kondisi Basah

No	Tegangan Uji (kV)	Resistansi Permukaan (MΩ)
		Basah
1.	10	1,0989
2.	12	1,0619
3.	14	1,1049
4.	16	1,0120
5.	18	0,8608
6.	20	0,7722

Pada Tabel 4.10, dapat diamati bahwa resistansi permukaan dari isolator tipe sirip seragam pada kondisi basah resistansi permukaan cenderung mengalami penurunan dibandingkan kondisi kering sehingga menyebabkan tahanan permukaan isolator menjadi semakin kecil. Besar resistansi permukaan pada kondisi basah berada pada angka 1,0989

MΩ dan 0,7722 MΩ. untuk memudahkan proses analisis, maka dapat dibuat grafik dari Tabel 4.10 seperti pada Gambar 4.18.



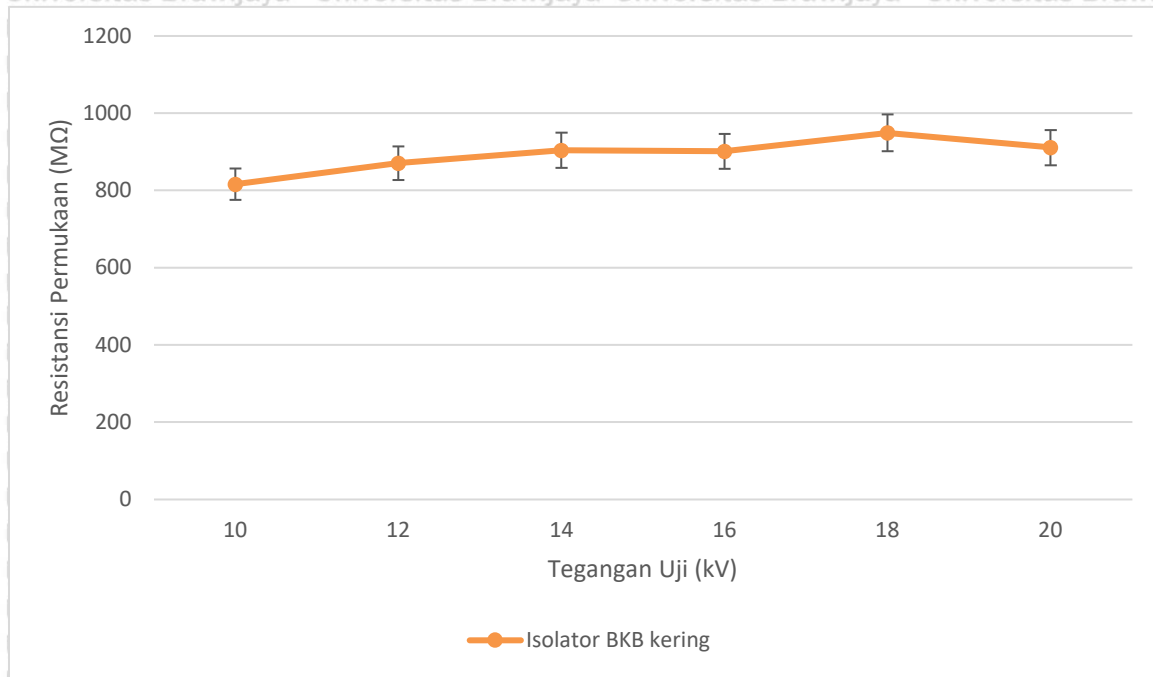
Gambar 4.18 Grafik resistansi permukaan isolator tipe sirip seragam dalam kondisi basah

Pada Gambar 4.18, Dari data resistansi permukaan isolator tipe sirip seragam dalam kondisi basah dimana terdapat penurunan resistansi permukaan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pembasahan pada isolator dengan bahan polimer resin epoksi mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap tingkat arus bocor yang berdampak pada resistansi permukaan isolator tersebut, didapatkan bahwa semakin besar tegangan uji yang diberikan, maka besar resistansi permukaan isolator akan cenderung menurun.

Tabel 4.11 Nilai Resistansi Permukaan Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam dalam Kondisi Kering

No	Tegangan Uji (kV)	Resistansi Permukaan (MΩ)
		Kering
1.	10	816,32
2.	12	870,83
3.	14	904,39
4.	16	901,41
5.	18	949,37
6.	20	911,16

Pada Tabel 4.11, dapat diamati bahwa resistansi permukaan dari isolator tipe sirip tidak seragam pada kondisi kering resistansi permukaan cenderung mengalami kenaikan dimana hal ini merupakan salah satu ciri bahan isolator polimer resin epoksi memiliki resistansi permukaan yang baik pada setiap kenaikan tegangan uji. Besar resistansi permukaan pada kondisi kering berada pada angka 816,32 MΩ sampai dengan 911,16 MΩ. Untuk memudahkan proses analisis, maka dapat dibuat grafik dari Tabel 4.11 seperti pada Gambar 4.19.



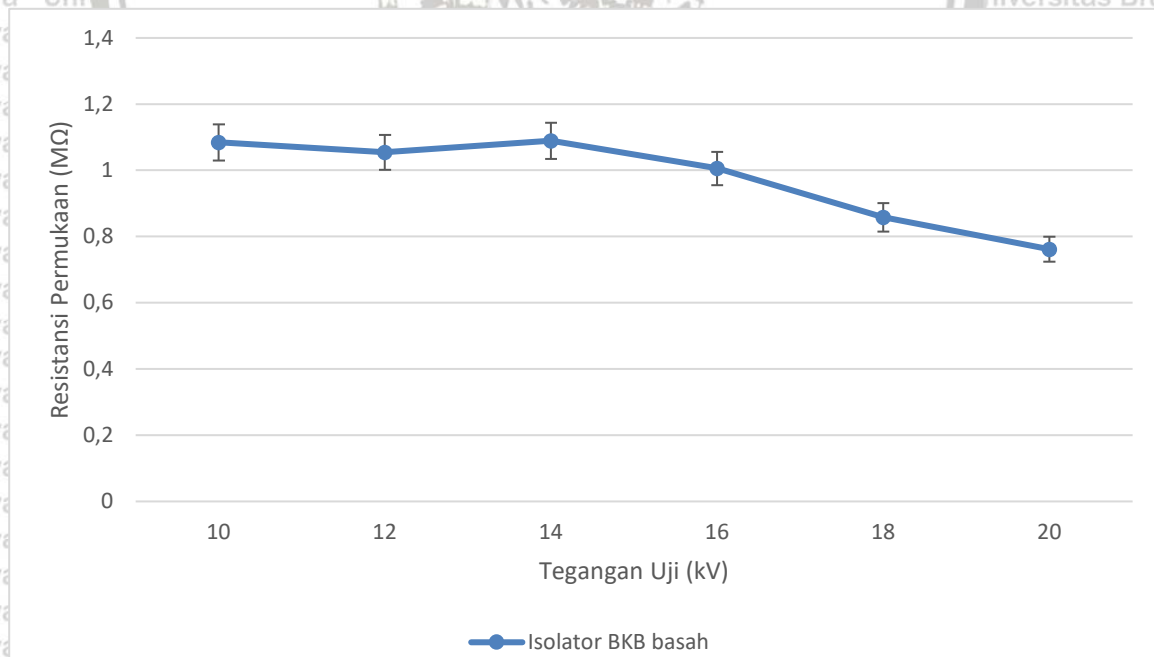
Gambar 4.19 Grafik resistansi permukaan isolator tipe sirip tidak seragam dalam kondisi basah

Pada Gambar 4.19, dapat diamati bahwa data resistansi permukaan isolator tipe sirip seragam dalam kondisi kering diatas didapatkan resistansi permukaan paling besar adalah saat isolator tipe sirip seragam dalam kondisi kering dan bersih, dimana terdapat kenaikan resistansi permukaan pada setiap kenaikan tegangan.

Tabel 4.12 Nilai Resistansi Permukaan Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam dalam Kondisi Basah

No	Tegangan Uji (kV)	Resistansi Permukaan (MΩ)
		Basah
1.	10	1,0845
2.	12	1,0545
3.	14	1,0895
4.	16	1,0057
5.	18	0,8584
6.	20	0,7619

Pada Tabel 4.12, dapat diamati bahwa resistansi permukaan dari isolator tipe sirip seragam pada kondisi basah resistansi permukaan cenderung mengalami penurunan dibandingkan kondisi kering sehingga menyebabkan tahanan permukaan isolator menjadi semakin kecil. Besar resistansi permukaan pada kondisi basah berada pada angka 1,0845 MΩ dan 0,7619 MΩ. untuk memudahkan proses analisis, maka dapat dibuat grafik dari Tabel 4.12 seperti pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Grafik resistansi permukaan isolator tipe sirip tidak seragam dalam kondisi basah

Pada Gambar 4.20, Dari data resistansi permukaan isolator tipe sirip tidak seragam dalam kondisi basah dimana terdapat penurunan resistansi permukaan yang signifikan

dibandingkan dengan isolator tipe sirip tidak seragam dalam kondisi kering. Hal ini menunjukkan bahwa pembasahan pada isolator dengan bahan polimer resin epoksi mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap tingkat arus bocor yang berdampak pada resistansi permukaan isolator tersebut, didapatkan bahwa semakin besar tegangan uji yang diberikan, maka besar resistansi permukaan isolator akan cenderung menurun

Berdasarkan hasil keseluruhan analisis diatas, dapat disimpulkan bahwa resistansi permukaan pada masing-masing variasi isolator dapat dipengaruhi oleh kondisi dari isolator dan tipe sirip dari isolator dengan jarak rambat yang sama, dimana semakin basah kondisi isolator maka resistansi permukaan isolator tersebut akan semakin kecil. Dari data pengujian diatas, didapatkan perbandingan nilai resistansi permukaan yang sangat besar antara kondisi kering dengan kondisi basah, didapatkan bahwa semakin besar tegangan uji yang diberikan, maka besar resistansi permukaan isolator tersebut akan cenderung menurun. Isolator tipe sirip seragam memiliki nilai tahanan permukaan yang lebih besar dari isolator tipe sirip tidak seragam. Rendahnya resistansi permukaan dari isolator pada kondisi basah dipengaruhi oleh sifat air yang menghantarkan listrik, air akan membentuk lapisan konduktif pada permukaan isolator. Hal ini sesuai dengan hasil analisis pengujian arus bocor, sehingga nilai resistansi permukaannya menjadi semakin kecil.

4.7 Perhitungan Rugi Daya Listrik Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip pada Kondisi Kering dan Basah

Pada sub bab ini, akan dibahas hasil perhitungan dari rugi daya listrik masing-masing variasi isolator dalam semua kondisi dan semua variasi tegangan uji. Perhitungan dilakukan pada 2 isolator dengan variasi tipe sirip. Tegangan uji yang diterapkan sebesar 10, 12, 14, 16, 18, dan 20 kV untuk kondisi kering dan sebesar 10, 12, 14, 16, 18 dan 20 kV untuk kondisi basah. Untuk kondisi basah akan diterapkan variasi debit pembasahan sebesar 10 mL/s. Perhitungan rugi daya listrik ini akan menggunakan persamaan (2-7) sebagai berikut:

$$P_{loss} = I_{lc}^2 \cdot R_s$$

Dengan I_{lc} adalah arus bocor dalam satuan ampere dan R_s adalah resistansi permukaan isolator dalam satuan ohm pada arus bocor sebesar I_{lc} , untuk mendapatkan P_{loss} yaitu besar rugi daya listrik pada kondisi tersebut. Pada penelitian ini diasumsikan terdapat 365 hari dalam satu tahun dan diasumsikan juga bahwa besar rugi daya yang didapatkan dari perhitungan menggunakan persamaan (2-7) diatas adalah rugi daya listrik dalam satu hari, sehingga dapat digunakan untuk menghitung besar rugi daya listrik 1 tahun. Dalam sub bab

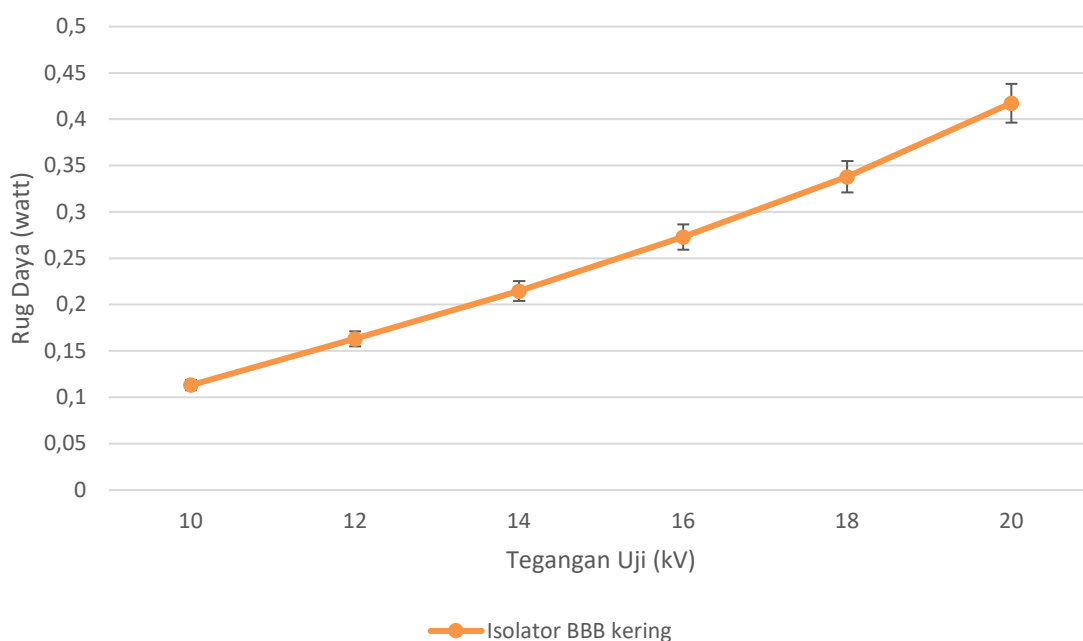
ini juga akan dihitung rugi daya listrik dalam 1 tahun, perhitungan dilakukan menggunakan persamaan (2-8) sebagai berikut:

$$W_{loss} = 8760 \cdot P_{loss}$$

Dengan nilai P_{loss} adalah besar rugi daya listrik dalam satuan watt, untuk mendapatkan besar W_{loss} yaitu rugi daya listrik dalam 1 tahun pada kondisi tersebut. Hasil dari perhitungan akan ditampilkan pada Tabel 4.11 sampai dengan Tabel 4.14, yang akan ditampilkan juga besar tegangan uji yang diberikan. Pertama akan dimulai dari hasil perhitungan rugi daya listrik dari isolator tipe sirip seragam, dimana hasil saat kondisi kering dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan saat kondisi basah dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.13 Rugi Daya Listrik pada Isolator Tipe Sirip Seragam dalam Kondisi Kering

No	Tegangan Uji (kV)	Rugi Daya (Watt)	Rugi 1 Tahun (Wh)
		Kering	Kering
1.	10	0,1133	992,51
2.	12	0,1631	1428,76
3.	14	0,2148	1881,65
4.	16	0,2729	2390,60
5.	18	0,3380	2960,88
6.	20	0,4174	3656,42

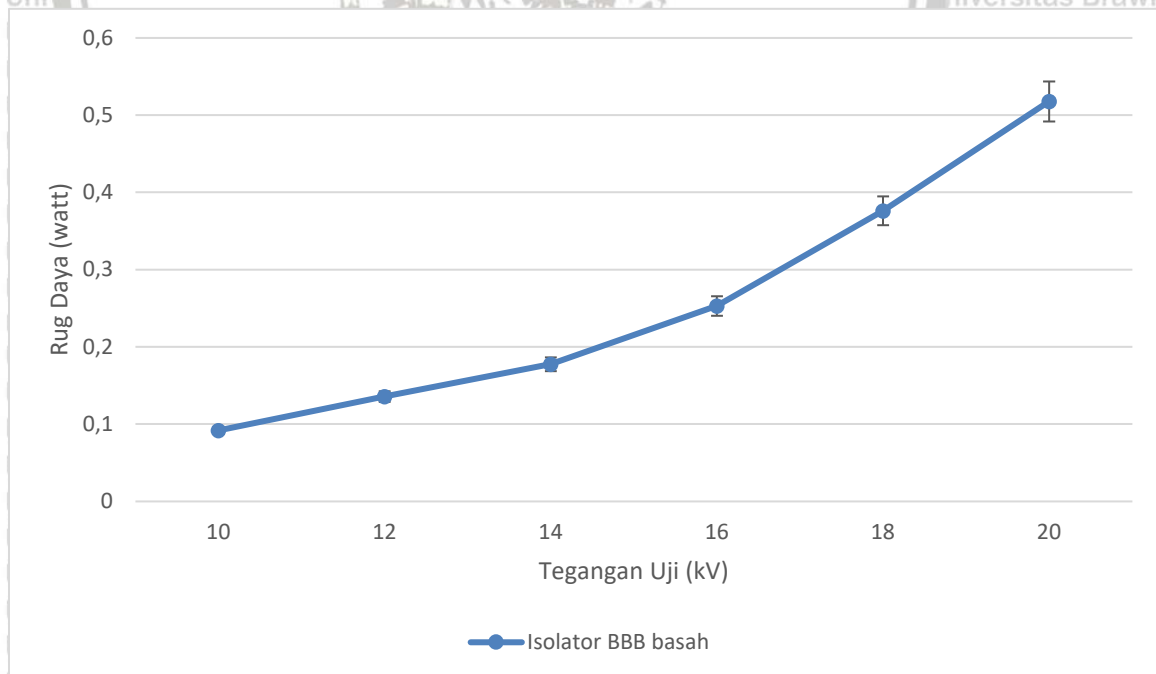


Gambar 4.21 Grafik rugi daya listrik pada isolator tipe sirip seragam dalam kondisi kering

Untuk mempermudah proses analisis, dibuat juga grafik dari Tabel 4.13 yang dapat dilihat pada Gambar 4.21. Pada Gambar 4.21 dapat diamati bahwa rugi daya pada isolator tipe sirip seragam dalam kondisi kering mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya tegangan uji yang diberikan. Peningkatan rugi daya ini sesuai dengan hasil pengujian arus bocor pada isolator tipe sirip seragam kondisi kering, dimana semakin besar tegangan uji maka tingkat arus bocornya semakin besar pula.

Tabel 4.14 Rugi Daya Listrik pada Isolator Tipe Sirip Seragam dalam Kondisi Basah

No	Tegangan Uji (kV)	Rugi Daya (Watt)	Rugi 1 Tahun (Wh)
		Basah	Basah
1.	10	0,0918	804,16
2.	12	0,1356	1187,85
3.	14	0,1774	1554,02
4.	16	0,2529	2215,40
5.	18	0,3763	3296,38
6.	20	0,5179	4536,80



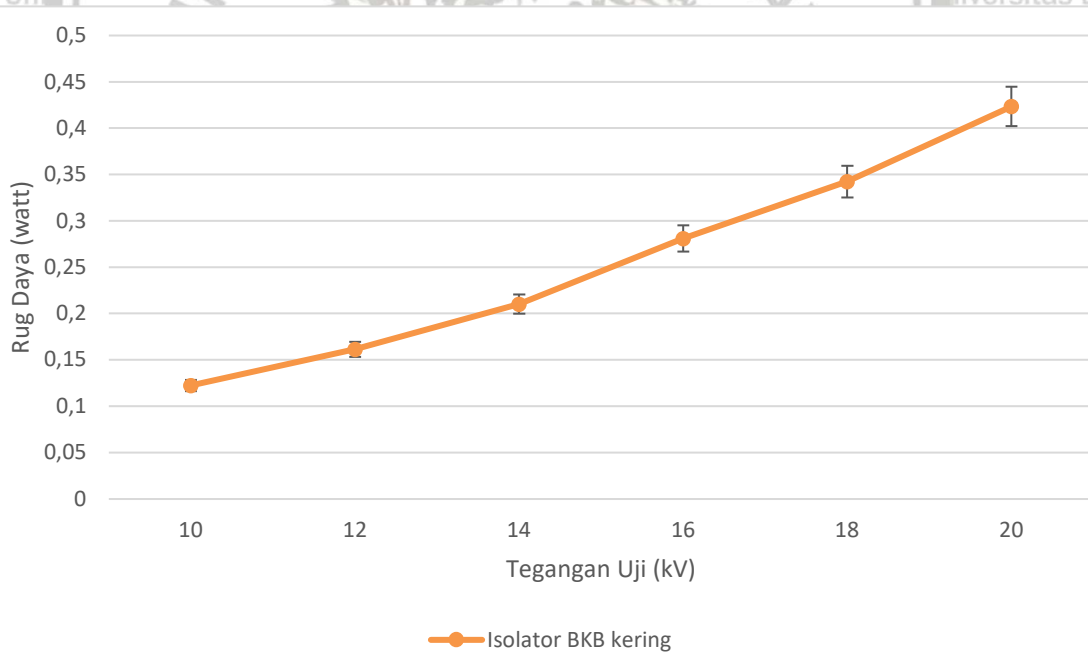
Gambar 4.22 Grafik rugi daya listrik pada isolator tipe sirip seragam dalam kondisi basah

Sama seperti pada tabel hasil perhitungan kondisi kering, untuk mempermudah proses analisis pada kondisi basah, dibuat juga grafik dari Tabel 4.14 yang dapat dilihat pada Gambar 4.22. Pada Gambar 4.22 dapat diamati bahwa rugi daya pada isolator tipe sirip

seragam dalam kondisi basah mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya tegangan uji yang diberikan. Peningkatan rugi daya ini sesuai dengan hasil pengujian arus bocor pada isolator tipe sirip seragam kondisi basah, dimana semakin besar tegangan uji maka tingkat arus bocornya semakin besar pula.

Tabel 4.15 Rugi Daya Listrik pada Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam dalam Kondisi Kering

No	Tegangan Uji (kV)	Rugi Daya (Watt)	Rugi 1 Tahun (Wh)
		Kering	Kering
1.	10	0,1225	1073,1
2.	12	0,1615	1414,74
3.	14	0,2103	1842,23
4.	16	0,2811	2462,44
5.	18	0,3424	2999,42
6.	20	0,4235	3709,86



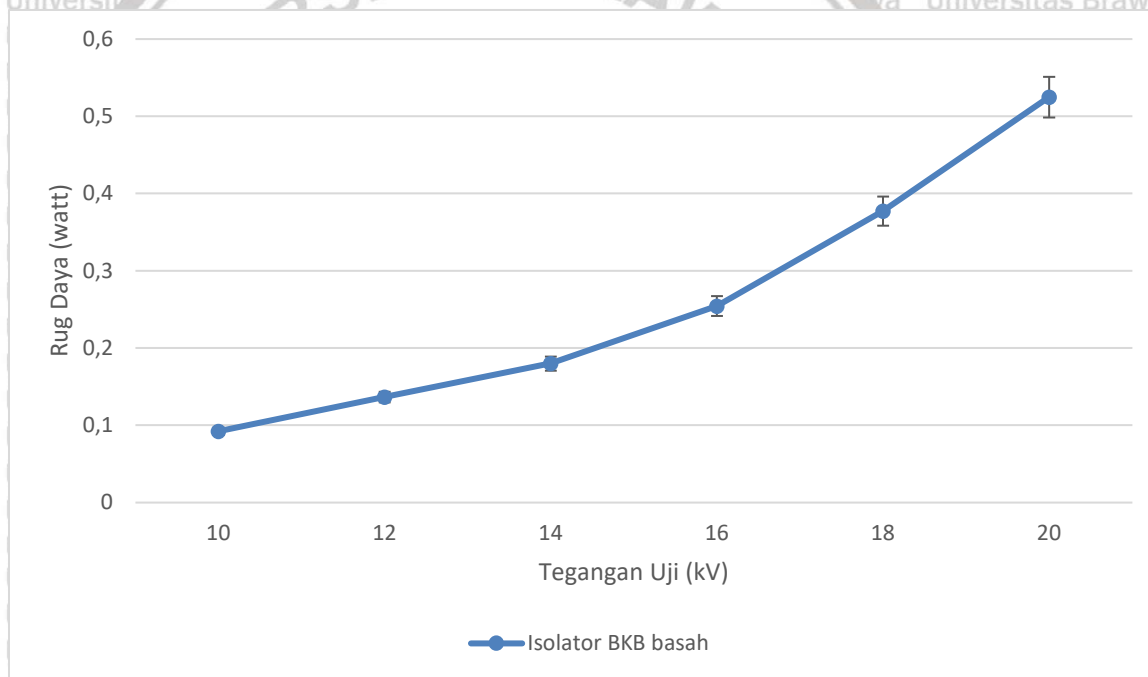
Gambar 4.23 Grafik rugi daya listrik pada isolator tipe sirip tidak seragam dalam kondisi kering

Untuk mempermudah proses analisis, dibuat juga grafik dari Tabel 4.15 yang dapat dilihat pada Gambar 4.23. Pada Gambar 4.23 dapat diamati bahwa rugi daya pada isolator tipe sirip tidak seragam dalam kondisi kering mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya tegangan uji yang diberikan. Peningkatan rugi daya ini sesuai dengan hasil

pengujian arus bocor pada isolator tipe sirip tidak seragam kondisi kering, dimana semakin besar tegangan uji maka tingkat arus bocornya semakin besar pula.

Tabel 4.16 Rugi Daya Listrik pada Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam dalam Kondisi Basah

No	Tegangan Uji (kV)	Rugi Daya (Watt)	
		Basah	Basah
1.	10	0,0923	808,55
2.	12	0,1365	119574
3.	14	0,1799	1575,92
4.	16	0,2544	2228,54
5.	18	0,3774	3306,02
6.	20	0,5249	4598,12



Gambar 4.24 Grafik rugi daya listrik pada isolator tipe sirip tidak seragam dalam kondisi basah

Sama seperti pada tabel hasil perhitungan kondisi kering, untuk mempermudah proses analisis pada kondisi basah, dibuat juga grafik dari Tabel 4.16 yang dapat dilihat pada Gambar 4.24. Pada Gambar 4.24 dapat diamati bahwa rugi daya pada isolator tipe sirip seragam dalam kondisi kering mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya tegangan uji yang diberikan. Peningkatan rugi daya ini sesuai dengan hasil pengujian arus bocor pada isolator tipe sirip tidak seragam kondisi basah, dimana semakin besar tegangan

uji maka tingkat arus bocornya semakin besar pula.

Berdasarkan hasil keseluruhan analisis diatas, dapat disimpulkan bahwa rugi daya listrik pada masing-masing variasi isolator dapat dipengaruhi oleh kondisi dari isolator dan tipe variasi sirip dari isolator, dimana semakin basah kondisi isolator maka rugi daya listrik isolator tersebut akan semakin besar pula. Semakin tingginya rugi daya listrik dari isolator pada kondisi basah dipengaruhi oleh sifat air yang menghantarkan listrik, air akan membentuk lapisan konduktif pada permukaan isolator. Semakin besar debit pembasahan yang diberikan, membuat arus bocor pada permukaan isolator akan semakin besar, untuk isolator tipe sirip tidak seragam rugi dayanya lebih besar dibandingkan dengan isolator tipe sirip seragam didalam semua kondisi basah maupun kering. Hal ini sesuai dengan hasil analisis pengujian arus bocor, sehingga rugi daya listrik menjadi semakin besar.

4.8 Pengujian Tegangan *Flashover* pada Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip

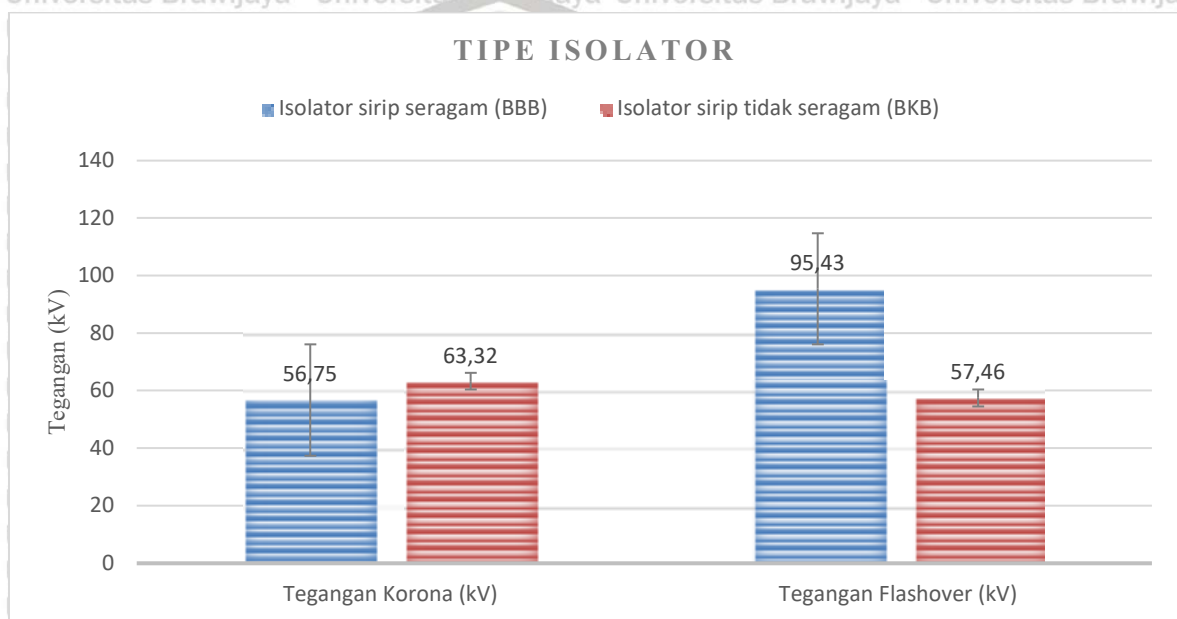
Pengujian dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Rangkaian yang digunakan adalah rangkaian pembangkit tegangan tinggi AC seperti pada Gambar 3.10. Pengujian kering menggunakan isolator bersih yang dibersihkan terlebih dahulu menggunakan alkohol dan pengujian basah menggunakan isolator yang telah dibersihkan terlebih dahulu sebelum kemudian dikondisikan pada ruang uji seperti pada Gambar 3.8. Variabel penelitian pada pengujian ini adalah jumlah sirip dari isolator yang diuji. Tegangan uji diberikan dengan bertahap sampai terjadi fenomena korona dan fenomena *flashover*, kemudian dilakukan pencatatan tegangan saat terjadinya fenomena tersebut. Pengambilan data tegangan *flashover* pada pengujian ini dilakukan 1 kali, dimana data tersebut kemudian dituliskan pada Tabel 4.17 sampai dengan Tabel 4.19.

4.8.1 Pengaruh Variasi Tipe Sirip Permukaan Isolator terhadap Tegangan *Flashover* Isolator Polimer Kondisi Kering

Pengujian tegangan *flashover* kondisi kering dilakukan pada 2 isolator dengan variasi tipe sirip pertama isolator sirip seragam (BBB) dan tipe isolator sirip tidak seragam (BKB). Pengujian dilakukan pada hari yang sama, hal ini dilakukan untuk menghindari perbedaan kondisi yang dapat dipengaruhi dari faktor luar seperti cuaca. Hasil pengujian tegangan *flashover* kondisi kering ditampilkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Pengaruh Variasi Tipe Sirip Isolator terhadap Tegangan Korona dan *Flashover* dalam Kondisi Kering

Tipe Isolator	Tegangan Korona (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
Isolator Tipe Sirip Seragam (BBB)	56.75	> 95.43
Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam (BKB)	63.32	> 97.46



Gambar 4.25 Grafik tegangan korona dan tegangan *flashover* pada isolator dengan variasi jumlah sirip dalam kondisi kering

Untuk memudahkan analisis, dibuatlah grafik dari Tabel 4.17, Dimana grafik tersebut ditampilkan pada Gambar 4.25. Pada Tabel 4.17 dan Gambar 4.25 dapat diamati bahwa masing-masing tipe isolator memiliki ketahanan yang berbeda. Pada pengujian *flashover* kondisi kering ini didapatkan bahwa 2 variasi tipe isolator memiliki ketahanan yang cukup baik, dengan memiliki tegangan *flashover* yang tinggi yaitu lebih dari 95 kV, dimana tegangan *flashover* yang lebih dari 95 kV tidak bisa didapatkan, dikarenakan terdapat batasan dari rangkaian uji yang menggunakan trafo uji 100 kV, sehingga untuk menghindari kemungkinan terjadinya kerusakan pada alat uji maka pengambilan data dihentikan sampai pemberian tegangan uji 95,43 kV. Hasil pengujian *flashover* ini juga menunjukkan bahwa tingkat arus bocor memiliki hubungan berbanding terbalik dengan tegangan korona dan

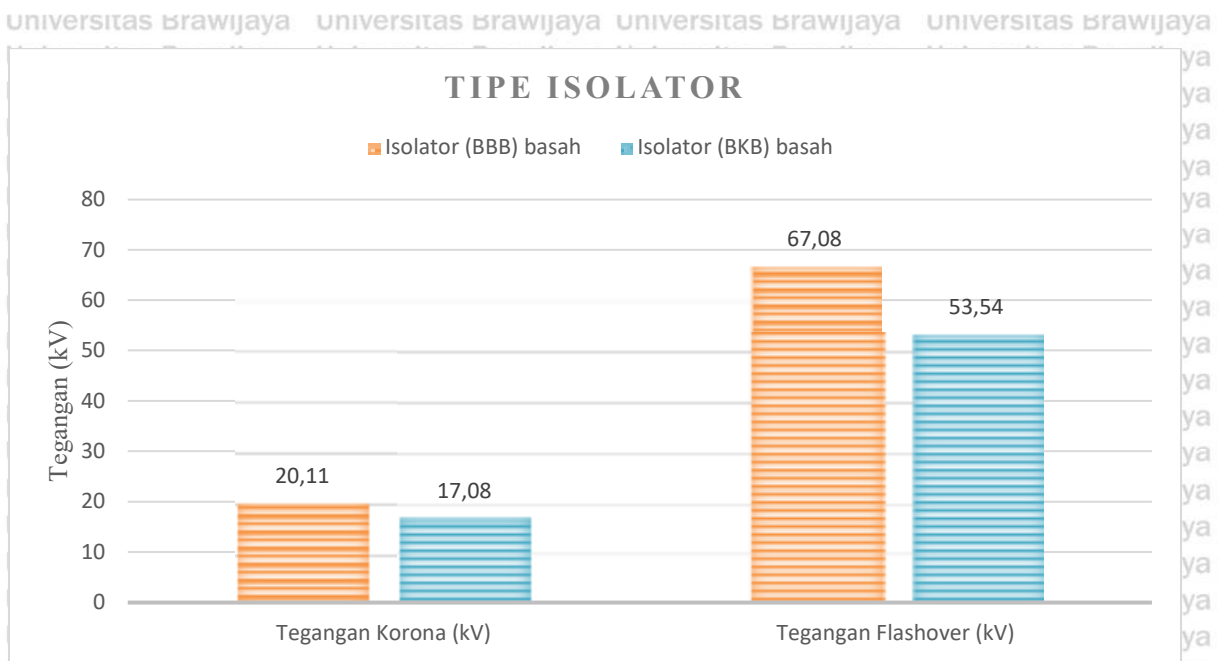
tegangan *flashover*, dimana semakin rendah tingkat arus bocor maka tegangan korona dan tegangan *flashover* akan semakin besar, hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil tingkat arus bocor akan membuat ketahanan isolator tersebut semakin baik yang ditandai dengan semakin tingginya tegangan *flashover*.

4.8.2 Pengaruh Variasi Tipe Sirip Permukaan Isolator terhadap Tegangan *Flashover* Isolator Polimer Kondisi Basah

Pengujian tegangan *flashover* kondisi basah dilakukan pada 2 isolator dengan variasi tipe sirip. Pengujian dilakukan pada hari yang sama, hal ini dilakukan untuk menghindari perbedaan kondisi yang dapat dipengaruhi dari faktor luar seperti cuaca. Besar debit pembasahan yang digunakan pada pengujian tegangan *flashover* adalah debit pembasahan 10 mL/s. Pada pengujian kondisi basah, tegangan *flashover* didapatkan ketika *control desk* pada Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Brawijaya mengalami *cut off*, hal ini terjadi karena arus pada rangkaian telah melebihi batas toleransi yaitu 50 mA, sehingga hal ini dapat diambil sebagai fenomena *flashover*. Hasil pengujian tegangan *flashover* kondisi basah ditampilkan pada Tabel 4.18.

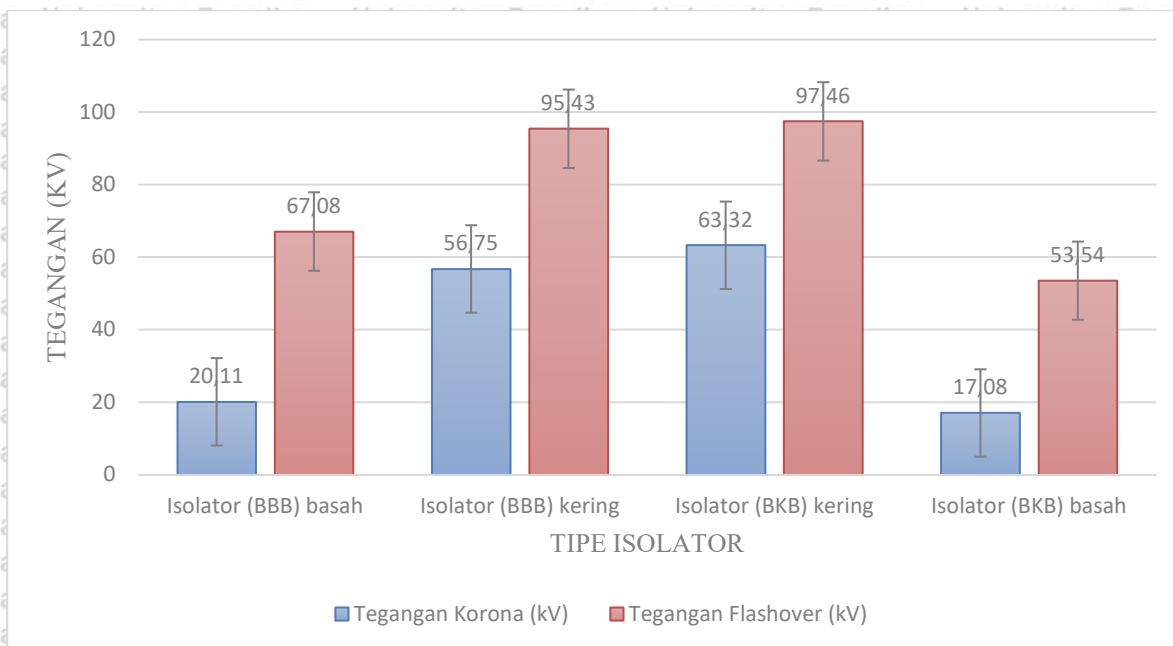
Tabel 4.18 Pengaruh Variasi Jumlah Sirip Isolator terhadap Tegangan Korona dan *Flashover* dalam Kondisi Basah

Tipe Isolator	Tegangan Korona (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
Isolator Tipe Sirip Seragam (BBB)	20.11	67.08
Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam (BKB)	17.08	53.54



Gambar 4.26 Grafik tegangan korona dan tegangan *flashover* pada isolator dengan variasi jumlah sirip dalam kondisi basah

Untuk memudahkan analisis, dibuatlah grafik dari Tabel 4.18, dimana grafik tersebut ditampilkan pada Gambar 4.26. Pada Tabel 4.18 dan Gambar 4.26 dapat diamati bahwa masing-masing tipe isolator memiliki ketahanan yang berbeda. Pada pengujian *flashover* kondisi basah ini didapatkan bahwa kedua tipe isolator memiliki ketahanan yang kurang baik apabila dibandingkan dengan saat isolator dalam kondisi kering, pada kondisi basah masing-masing isolator memiliki tegangan *flashover* sebesar 67,08 kV untuk isolator tipe sirip seragam dan untuk isolator tipe sirip tidak seragam sebesar 53,54 kV. Dari data tegangan *flashover* tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil pengujian *flashover* pada kondisi basah menunjukkan tingkat arus bocor memiliki hubungan berbanding terbalik dengan tegangan korona dan tegangan *flashover*, dimana semakin besar tingkat arus bocor maka tegangan korona dan tegangan *flashover* akan semakin kecil, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar tingkat arus bocor akan membuat ketahanan isolator tersebut semakin berkurang yang ditandai dengan semakin kecilnya tegangan *flashover*. Untuk memudahkan proses analisis perbandingan tegangan *flashover* dengan kondisi dari isolator, dalam kondisi kering dan basah, maka dapat dibuat grafik perbandingan seperti pada Gambar 4.39.



Gambar 4.27 Grafik perbandingan tegangan korona dan tegangan *flashover* pada isolator dengan variasi tipe sirip dalam kondisi kering dan basah

Pada Gambar 4.27, dapat diamati perbandingan tegangan korona dan tegangan *flashover* dari masing-masing variasi objek uji dalam semua kondisi, kering dan basah.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa tegangan korona maupun tegangan *flashover* pada kondisi kering jauh lebih tinggi dari pada saat isolator dalam kondisi basah, Hal ini sesuai dengan hasil analisis pengujian tingkat arus bocor, Dimana tingkat arus bocor pada kondisi kering jauh lebih kecil dari pada saat isolator dalam kondisi basah, yang mana akan membuat ketahanan isolator dalam kondisi kering dan bersih jauh lebih baik. Pada grafik diatas juga bisa dilihat bahwa dalam kondisi kering maupun basah besar tegangan korona dan tegangan *flashover* selalu berbanding lurus positif dengan variasi tipe sirip.

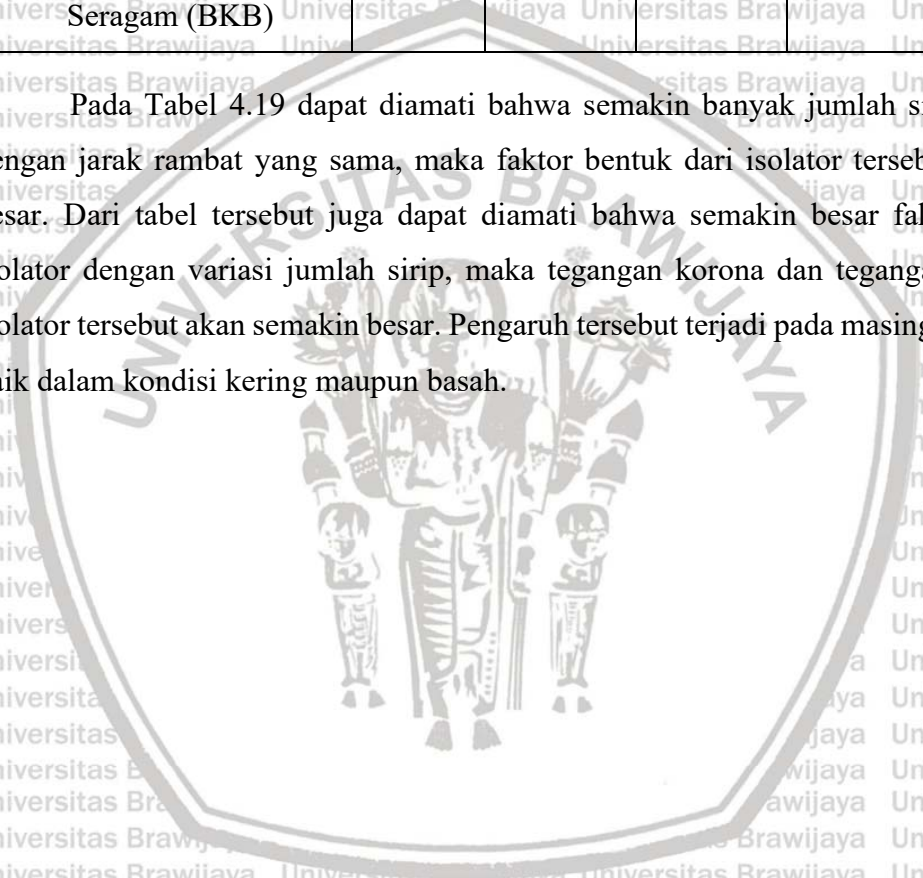
4.8.3 Pengaruh Faktor Bentuk Isolator terhadap Arus Bocor dan Tegangan *Flashover* Isolator Polimer Resin Epoksi dengan Variasi Tipe Sirip

Pada bagian ini akan dianalisis mengenai pengaruh faktor bentuk isolator terhadap tegangan *flashover* pada masing-masing variasi isolator, dimana pada analisis sebelumnya didapatkan bahwa semakin banyak jumlah sirip isolator maka tegangan korona dan tegangan *flashover* dari isolator tersebut akan semakin besar. Pada sub bab 4.2 telah dilakukan penghitungan nilai faktor bentuk dari masing-masing variasi isolator. Data hasil perhitungan faktor bentuk dapat dilihat pada Tabel 4.19, yang mana juga disertakan tegangan korona dan tegangan *flashover* hasil pengujian dalam kondisi kering dan basah.

Tabel 4.19 Perbandingan Faktor Bentuk terhadap Tegangan Korona dan Tegangan *Flashover* pada Isolator dengan Variasi Jumlah Sirip dalam Kondisi Kering dan Basah

Tipe Isolator	Faktor Bentuk	Tegangan Korona (kV)		Tegangan <i>Flashover</i> (kV)	
		Kering	10 mL/s	Kering	10 mL/s
Isolator Tipe Sirip Seragam (BBB)	1,6784	56.75	20.11	> 95.05	> 95.43
Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam (BKB)	1,5856	63.32	17.08	> 95.85	> 97.46

Pada Tabel 4.19 dapat diamati bahwa semakin banyak jumlah sirip pada isolator dengan jarak rambat yang sama, maka faktor bentuk dari isolator tersebut akan semakin besar. Dari tabel tersebut juga dapat diamati bahwa semakin besar faktor bentuk pada isolator dengan variasi jumlah sirip, maka tegangan korona dan tegangan *flashover* dari isolator tersebut akan semakin besar. Pengaruh tersebut terjadi pada masing-masing kondisi, baik dalam kondisi kering maupun basah.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi FEMM 4.2 didapatkan bahwa kuat medan rata-rata maksimum terdapat pada isolator tipe sirip tidak seragam sementara untuk kuat medan rata-rata yang paling rendah terdapat pada isolator tipe sirip seragam. Dimana besar distribusi medan listrik ini nantinya akan berpengaruh terhadap nilai arus bocor yang akan timbul nantinya.
2. Tingkat arus bocor paling tinggi terdapat pada isolator dengan tipe sirip tidak seragam (BKB) sementara isolator yang memiliki arus bocor paling rendah adalah isolator tipe sirip seragam (BBB) baik pada kondisi kering maupun basah.
3. Tegangan *flashover* isolator antara kondisi kering dan basah memiliki perbedaan yang signifikan, dimana pada kondisi kering besar tegangan *flashover* akan jauh lebih besar daripada tegangan *flashover* isolator dalam kondisi basah. Semakin besar faktor bentuk isolator, maka tegangan *flashover* isolator tersebut akan semakin besar.

5.2 Saran

Penelitian yang telah dilakukan tidak lepas dari kekurangan dan kelemahan. Sehingga diperlukan saran untuk mengembangkan serta meningkatkan hasil dari penelitian selanjutnya, saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Studi lebih lanjut bisa dikembangkan dengan menggunakan material penyusun isolator yang lain.
2. Mengoptimalkan hasil pembuatan objek uji, seperti permukaan isolator dibuat lebih halus dan mengurangi ketidaksuaian antara dimensi dari objek uji yang dibuat dengan dimensi dari desain hasil perhitungan, hal ini untuk mendapatkan hasil pengujian yang lebih baik.
3. Melapisi isolator dengan cairan hidrofobik, untuk memperbaiki apabila terdapat permukaan isolator yang kurang halus dan memperlancar aliran air dan Melakukan pengujian tegangan tahanan delta, dan kekuatan mekanis isolator

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. M.; Nugroho, A.; Syakur, A.; (2017). Pembuatan dan Analisis Pengaruh Kondisi Permukaan Terhadap Unjuk Kerja Isolator Polimer 20kV Tipe Sirip Tak Seragam dengan Variasi Tegangan Uji. *Transient :Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*.
- Arham.; Lopa, R. T.; Bakri, B.; (2017). Pengaruh Hubungan Intensitas Curah Hujan dan Kemiringan Lahan Terhadap Laju Erosi. Makasar: Universitas Hasanudin
- Arismunandar, A. (1982). *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Arismunandar, A. (2001). *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Billmeyer, F. W. (1984). *Textbook of Polymer Science (Third Edition)*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- BMKG. (2019). *Sebaran Hujan di Indonesia*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Carrara, G. & Delleria, L. (1966). Switching Surges Insulation Coordination: Switches, "Anomalous" Sparkovers, and Possible Generalization. *IEEE TRANSACTIONS ON POWER APPARATUS AND SYSTEMS*. 85 (9):996-1007.
- Chanlyn, J. W. & Zulkarnaen, H. (2014). Pengaruh Ukuran Butiran Air Hujan Terhadap Tegangan Tembus Udara. *Jurnal Singuda ENSIKOM*. 7 (1):1-7.
- Dermawan, T.; Nuraini, E.; Suyamto.; (2012). Pengaruh Komposisi Resin Terhadap Sifat Elektrik dan Mekanik Untuk Bahan Isolator Tegangan Tinggi. Yogyakarta
- Dhofir, M., Aditama, M., Hasanah, R., & Suyono, H. (2017). The Analysis of Leakage Current on a 20-kV Silicone Rubber Post-Insulator under Dry and Wet Conditions. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology*. 7 (4):1340-1346.
- Dhofir, M., Andaru, D. D., & Hasanah, R. N. (2017). Pengaruh Lokasi Pita Konduksi Tingkat Insulator Kaca. *International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE) Terhadap Arus Bocor*, 1-10.
- Holtzhausen, K. & Vosloo, W. (2011). *High Voltage Engineering Prctice and Theory*. Stellenbosch: Dr JP Holtzhausen.
- IEC. (2008). *TECHNICAL SPECIFICATION Selection and dimensioning of high-voltage insulators intended for use in polluted conditions- Part 2: Ceramic and glass insulators for a.c. systems*. Geneva: International Electrotechnical Commission Publications.

IEC. (2008). *ISOLATOR POLYMER TEGANGAN MENENGAH 24 KV*, Tangerang, Banten
– Indonesia: Proteksindo Goodrun

Kind, D. (1993). *Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi. Terjemahan K.T. Sirait*. Bandung:
Institut Teknologi Bandung.

Looms, J. S. (2006). *Insulators for High Voltages ,vol 7*. London: The Institution of
Engineering and Technology.

Mustamin & Manjang, S. (2011). Karakteristik Isolator Polimer Teganagan Tinggi Di
Bawah Penuaan Tekanan Iklim Tropis Buatan Yang Di Percepat

Naisbitt, K. R. (2018). Analisis Perbandingan Tahanan Isolasi dan Arus Bocor pada Isolator
Berbahan Silicon Ruber dan Keramik Akibat Pengaruh Kontaminan Abu Vulkanik
dan Belerang. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Medan: Penerbit Sumatera Utara

Pratiwi, Amelya I. (2013). Mekanisme Flashover untuk Menentukan Kinerja Isolator
Polimer yang Terkontaminasi. *Tesis*. Tidak dipublikasikan. Makassar: Penerbit
Universitas Hasanuddin.

Simatupang, E. Y.; (2018). Analisis Karakteristik Arus Bocor dan Flashover Pada Isolator
Piring Dengan Pelapisan RTV Silikon dan Epoxy Resin Kondisi Terkontaminasi.
Skripsi. Tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Steven, R. S. (2008). *Pengaruh Polutan Terhadap Tahanan Permukaan Isolator Epoxy
Resin*. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Depok: Universitas Indonesia.

Susilowati & Sadad, I. (2015). Analisa Karakteristik Curah Hujan Di Kota Bandar Lampung.
Lampung: Univeristas Bandar Lampung.

Suwarno, S.; Hery, Darmawan;. (2001). *Leak Wave Flow Study on Pos-Pin Ceramic
Insulator 20kV Under Various Environmental Conditions*. Bandung: Bandung
Institute of Technology

Syakur, A.; Yuningtyastuti.; Setiaji, D. E. M.; Aprianto, A.;. (2012). Pembuatan dan Analisis
Pengaruh Kondisi Permukaan Terhadap Unjuk Kerja Isolator Polimer 20kV Tipe
Sirip Tak Seragam dengan Variasi Tegangan Uji. *Transient :Jurnal Ilmiah Teknik
Elektro*.

Tobing, B. L. (2012). *Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Ciracas, Jakarta: Erlangga.

Tobing, B. L. (2012). *Peralatan Tegangan Tinggi*. Ciracas, Jakarta: Erlangga.

Vinothkumar, R., Kannayeram, G., & Shunmugalakshmi, G. (2015). Investigation of
Natural and Artificial Contamination on Various Types of Insulators. *IEEE Sponsored*

2nd International Conference on Innovations in Information Embedded and Communication Systems. 1-6.

Woluko, S. B.; Manjang, S.; Zainuddin, Z.; Samman, F. A. (2018). Comparison of Leak Flow Insulator Resin Epoksi *Fly Ash Fillers* and Ash Rice Husk for Outside Pairs. *International Conference on Applied Science and Technology (ICAST)*. Makasar.

Yandri, V., R., & Nurhatisyah. (2012). Fenomena Flashover Akibat Arus Bocor pada Isolator Keramik dan Resin Epoksi. *Jurnal Teknik Elektro ITP*. 1 (2):1-6.





LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

Data pengujian arus bocor dan tegangan *flashover* pada masing-masing isolator Polimer Resin Epoxy dengan variasi tipe sirip dalam kondisi kering dan basah, serta data debit pembasahan untuk pengujian arus bocor dan tegangan *flashover* dalam kondisi basah, dan data pengujian sudut kontak.

1. Data Pengujian Tingkat Arus Bocor pada Isolator Tipe Sirip Seragam Kondisi Kering

No	Tegangan Uji (kV)	Data Pengujian							
		Tegangan Uji (kV)				Arus Bocor (μA)			
		I	II	III	Rata-Rata	I	II	III	Rata - Rata
1.	10	10,03	10,03	10,12	10,06	11,35	11,37	11,30	11,34
2	12	12,12	12,02	12,14	12,09	13,67	13,58	13,52	13,59
3.	14	14,09	14,14	14,09	14,10	15,08	15,21	15,34	15,21
4.	16	16,21	16,23	16,06	16.16	17,01	17,06	17,13	17,06
5.	18	18,05	18,05	18,21	18,10	18,95	18,76	18,64	18,78
6.	20	20,14	20,20	20,13	20,15	20,84	20,86	20,93	20,87

2. Data Pengujian Tingkat Arus Bocor pada Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam Kondisi Kering

No	Tegangan Uji (kV)	Data Pengujian							
		Tegangan Uji (kV)				Arus Bocor (μA)			
		I	II	III	Rata-Rata	I	II	III	Rata - Rata
1.	10	10,11	10,09	10,12	10,10	12,01	12,32	12,43	12,25
2.	12	12,11	12,08	12,17	12,12	13,69	13,71	13,94	13,78
3.	14	14,01	14,18	14,21	14,13	15,38	15,65	15,43	15,48
4.	16	16,21	16,26	16,07	16.18	17,90	17,81	17,54	17,75
5.	18	18,05	18,25	18,06	18,12	18,98	18,96	18,96	18,96
6.	20	20,02	20,14	20,13	20,09	21,96	21,96	21,93	21,95

3. Data Pengujian Tingkat Arus Bocor pada Isolator Tipe Sirip Seragam Kondisi Basah

No	Tegangan Uji (kV)	Data Pengujian							
		Tegangan Uji (kV)				Arus Bocor (μ A)			
		I	II	III	Rata-Rata	I	II	III	Rata - Rata
1.	10	10,11	10,02	10,17	10,10	9,02	9,23	9,07	9,10
2.	12	12,06	12,02	12,23	12,10	11,17	11,22	11,52	11,30
3.	14	14,07	14,14	14,14	14,11	12,87	12,21	12,95	12,67
4.	16	16,23	16,12	16,25	16,20	15,88	15,76	15,81	15,81
5.	18	18,15	18,08	18,34	18,19	20,95	20,86	20,94	20,91
6.	20	20,13	20,21	20,24	20,19	25,84	25,93	25,94	25,90

4. Data Pengujian Tingkat Arus Bocor pada Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam Kondisi Basah

No	Tegangan Uji (kV)	Data Pengujian							
		Tegangan Uji (kV)				Arus Bocor (μ A)			
		I	II	III	Rata-Rata	I	II	III	Rata - Rata
1.	10	10,11	10,06	10,10	10,09	9,09	9,27	9,32	9,22
2.	12	12,26	12,02	12,13	12,13	11,18	11,32	11,65	11,38
3.	14	14,07	14,24	14,13	14,14	12,65	12,95	12,95	12,85
4.	16	16,13	16,12	16,15	16,13	15,98	15,86	15,90	15,91
5.	18	18,16	18,18	18,34	18,22	20,95	20,99	20,97	20,97
6.	20	20,23	20,23	20,20	20,22	26,28	26,31	26,16	26,25

5. Data Debit Pembasahan untuk Pengujian Basah Isolator Polimer Resin Epoxy

Pengujian Ke-	Debit Pembasahan (mL/s)	Pengambilan Data			
		Volume (mL)	Waktu (s)	Debit Pembasahan (mL/s)	
				Hasil	Rata-Rata
I	10	280	30	9.333333	10.11111
II		310	30	10.33333	
III		320	30	10.66667	

6. Data Pengujian Sudut Kontak pada Isolator Tipe Sirip Seragam

Tipe Isolator	Percobaan	Sudut Kontak ($^{\circ}$)		Sudut Kontak Rerata ($^{\circ}$)
		Kiri ($^{\circ}$)	Kanan ($^{\circ}$)	
Isolator Tipe Sirip Seragam (BBB)	1	66,95	72,54	69,75
	2	76,50	62,84	69,67
	3	79,46	73,78	76,62
	Total	74,30	69,72	72,01

7. Data Pengujian Sudut Kontak pada Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam

Tipe Isolator	Percobaan	Sudut Kontak ($^{\circ}$)		Sudut Kontak Rerata ($^{\circ}$)
		Kiri ($^{\circ}$)	Kanan ($^{\circ}$)	
Isolator Tipe Sirip Tidak Seragam (BKB)	1	69,54	72,39	70,40
	2	71,15	73,91	72,26
	3	68,65	70,82	71,80
	Total	69,78	72,37	71,49



LAMPIRAN 2

Dokumentasi Pembuatan dan Pengujian Isolator

1. Bahan Resin Epoksi dan Hardener (Pengeras)



2. Silicon Rubber RTV 52 dan Catalyst



3. Rice Husk Ash dan Aluminium Oksida



4. Model Sirip Besar Isolator dan Sirip Kecil Isolator



5. Cetakan Sirip Besar Isolator dan Sirip Kecil Isolator



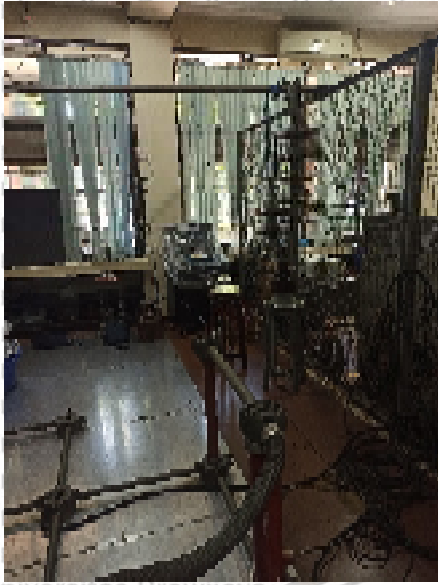
6. Model Sela Isolator



7. Cetakan Sela Isolator



8. Rangkaian Pengujian di Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Brawijaya



9. Objek Uji berupa Isolator Polimer



10. Pengujian Isolator Polimer Kondisi Kering



11. Pengukuran Debit Pembasahan



12. Pengujian Isolator Polimer Kondisi Basah



13. Pengukuran Arus Bocor

