

**PENGARUH BENTUK KONTUR PERMUKAAN ISOLATOR
POLIETILEN TERHADAP ARUS BOCOR DAN TEGANGAN
*FLASHOVER***

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DINI RIZKITA SARI

NIM. 145060301111044

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2018



LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH BENTUK KONTUR PERMUKAAN ISOLATOR
POLIETILEN TERHADAP ARUS BOCOR DAN TEGANGAN
*FLASHOVER***

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DINI RIZKITA SARI
NIM. 145060301111044

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 31 Mei 2018

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dosen Pembimbing

Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM
NIP. 19730520 200801 1 013

Drs. Ir. Moch. Dhofir, M.T.
NIP. 19600701 199002 1 001



JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH BENTUK KONTUR PERMUKAAN ISOLATOR POLIETILEN
TERHADAP ARUS BOCOR DAN TEGANGAN *FLASHOVER*

Nama Mahasiswa : Dini Rizkita Sari
NIM : 145060301111044
Program Studi : Teknik Elektro
Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik

KOMISI PEMBIMBING:

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

TIM DOSEN PENGUJI:

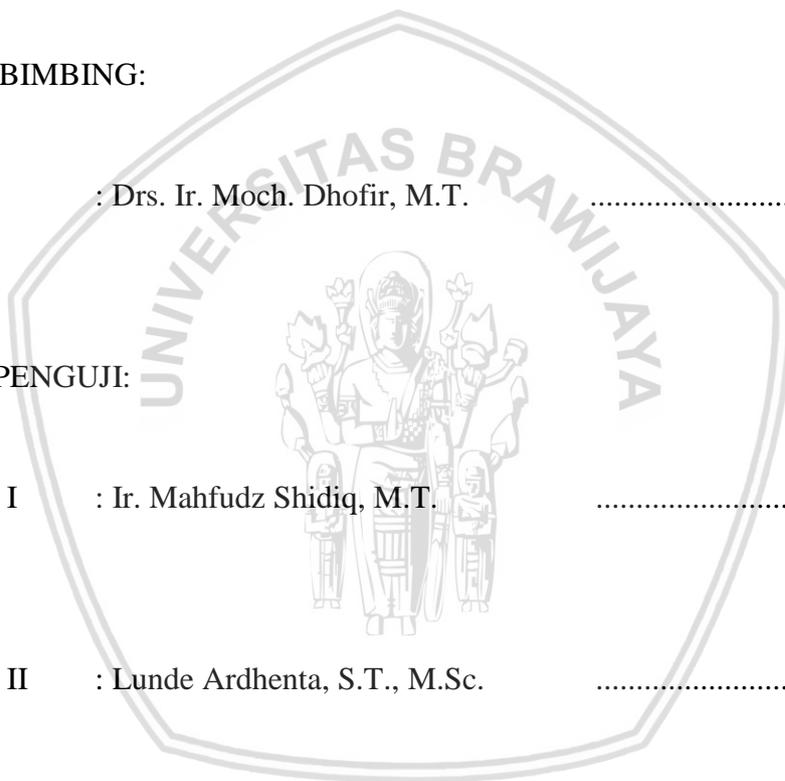
Dosen Penguji I : Ir. Mahfudz Shidiq, M.T.

Dosen Penguji II : Lunde Ardhenta, S.T., M.Sc.

Dosen Penguji III : Ir. Soeprapto, M.T.

Tanggal Ujian : 24 Mei 2018

SK Penguji : 1091/UN10.F07/SK/2018





PERNYATAAN 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 diulas 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, 31 Mei 2018

Mahasiswa,

DINI RIZKITA SARI

NIM. 145060301111044





DAFTAR RIWAYAT HIDUP

I. Data Pribadi

Nama : Dini Rizkita Sari
Tempat, Tanggal Lahir : Malang, 28 Desember 1995
Agama : Islam
Alamat : Jl. Romo No.02, Kec. Pare, Kab. Kediri, Jawa Timur,
64214
Email : rizkitadini@gmail.com

II. Riwayat Pendidikan Formal

2002-2008 : SD Negeri Watugede II
2008-2011 : SMP Negeri 3 Pare
2011-2014 : SMA Negeri 1 Pare
2014-2018 : Universitas Brawijaya







***Teriring Ucapan Terima Kasih kepada :
Ayahanda Ahmad Saikhu Rodli dan Ibunda Eni Hastuti***





RINGKASAN

Dini Rizkita Sari, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2018, *Pengaruh Bentuk Kontur Permukaan Isolator Polietilen terhadap Arus Bocor dan Tegangan Flashover*, Dosen Pembimbing: Moch. Dhofir.

Isolator merupakan peralatan listrik yang berfungsi untuk mengisolasi penghantar bertegangan. Sebuah isolator dirancang agar dapat berfungsi dengan baik, memiliki tingkat arus bocor yang rendah dan tegangan *flashover* yang tinggi. Bahan isolasi yang sering digunakan yaitu keramik dan kaca. Namun saat ini telah dikembangkan bahan isolasi berjenis polimer yang memiliki kekuatan mekanik cukup tinggi dan tidak menyerap air. Penelitian dilakukan untuk mengetahui pengaruh bentuk kontur permukaan isolator polietilen terhadap distribusi medan listrik, tingkat arus bocor dan tegangan *flashover*. Simulasi distribusi medan listrik dilakukan menggunakan fasilitas FEMM 4.2. Bentuk kontur isolator terdiri dari variasi panjang sirip dan variasi posisi sirip, dengan jarak rambat yang sama. Isolator variasi panjang sirip memiliki posisi sirip di bagian tengah, terdiri dari isolator Tipe A, Tipe B dan Tipe C. Dari ketiga tipe tersebut, diperoleh hasil bahwa Tipe C memiliki kuat medan maksimum terendah sebesar 4,191 kV/cm, tingkat arus bocor terendah dan tegangan *flashover* tertinggi sebesar 73,29 kV. Kemudian isolator Tipe C divariasikan posisi siripnya yaitu, Tipe C1 dengan posisi sirip di atas, Tipe C2 dengan posisi sirip di tengah dan Tipe C3 dengan posisi sirip di bawah. Dari pengujian dan simulasi, diperoleh hasil bahwa Tipe C1 memiliki kuat medan maksimum terendah sebesar 2,827 kV/cm, tingkat arus bocor terendah dan tegangan *flashover* tertinggi sebesar 97,05 kV.

Kata kunci: Isolator polietilen, bentuk kontur, distribusi medan listrik, arus bocor, tegangan *flashover*.

SUMMARY

Dini Rizkita Sari, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Brawijaya, May 2018, ***Influence of Surface Contour Form of Polyethylene Insulator to Leakage Current and Flashover Voltage***, Academic Supervisor: Moch. Dhofir.

Isolator is an electrical equipment that works to isolate the conductors voltage. An insulator is designed to work properly, has a low leakage current and high flashover voltage. Insulation materials that are often used are ceramics and glass. But now has been developed polymer insulation material that has high mechanical strength and does not absorb water. The objective of this research is to know the influence of the surface contour form of the polyethylene insulator on the electric field distribution, the leakage current level and the flashover voltage. Simulation of electric field distribution is done using FEMM 4.2 facility. The contour form of the insulator consists of variations of the length of the fin and the variation of the fin position, with the same creepage distance. Isolator variation of the fin length has a fin position in the middle, consisting of Type A, Type B and Type C isolators. From the three types, it is obtained that Type C has the lowest maximum field strength of 4,191 kV/cm, the lowest leakage current and highest flashover voltage of 73.29 kV. Then Type C isolator varied the position of the fin is, Type C1 with the fin position on top, Type C2 with the fin position in the middle and Type C3 with the fin position below. From the test and the simulation, it was found that Type C1 has the lowest maximum field strength of 2,827 kV/cm, the lowest leakage current and the highest flashover voltage of 97,05 kV.

Keywords: Polyethylene isolator, contour form, electric field distribution, leakage current, flashover voltage.

PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim. Alhamdulillah, puji syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul “Pengaruh Bentuk Kontur Permukaan Isolator Polietilen terhadap Arus Bocor dan Tegangan *Flashover*” dapat terselesaikan dengan baik. Tak lepas shalawat serta salam tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan bagi yang mengharapkan rahmat dan hidayah-Nya.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini disampaikan rasa terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Bapak Hadi Suyono, ST., MT., Ph.D., IPM. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
2. Ibu Nurussa’adah, Ir., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Bapak Ali Mustofa, ST., MT. selaku Ketua Program Studi S1 Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya
4. Bapak Moch. Dhofir, Drs., Ir., M.T. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan kesempatan, biaya skripsi, nasihat, pengarahan, motivasi, saran dan masukan yang telah diberikan.
5. Keluarga tercinta, kedua orang tua Ahmad Saikhu Rodli dan Eni Hastuti yang selalu memberikan kasih sayang dan doanya yang tiada akhir. Adik tercinta Dikky Ahmad Muzaqqi.
6. Fairuz Milkiy Kuswa terima kasih atas bantuan, waktu, pengertian, dukungan dan kesabarannya yang selalu diberikan.
7. Keluarga besar asisten Laboratorium Dasar Elektrik dan Pengukuran Nola, Topan, Bima, Rahmat, Taka, Okto, Teki, Annisa, Anargya, Aldi, Izul, Ghozal, Ivan, Bob, Andhika terima kasih telah memberikan banyak bantuan, dukungan dan canda tawa.
8. Teman-teman kuliah, Luthfiah dan Regi atas canda dan tawa yang diberikan ketika merasakan kejenuhan.
9. Keluarga besar asisten Laboratorium Tegangan Tinggi yang telah memberikan waktu dan bantuan selama proses pengujian.
10. Keluarga besar Power angkatan 2014, teman-teman Dioda angkatan 2014 atas doa, semangat, serta dukungan yang diberikan.



11. Semua pihak yang telah memberikan bantuan serta dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung atas penyusunan skripsi ini.

Dalam penyusunan skripsi ini, disadari bahwa skripsi ini belum sempurna, karena keterbatasan ilmu dan kendala-kendala lain yang terjadi selama pengerjaan skripsi ini. Oleh karena itu, diharapkan kritik dan saran untuk penyempurnaan tulisan di masa yang akan datang. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk pengembangan lebih lanjut.

Malang, 31 Mei 2018

Penulis



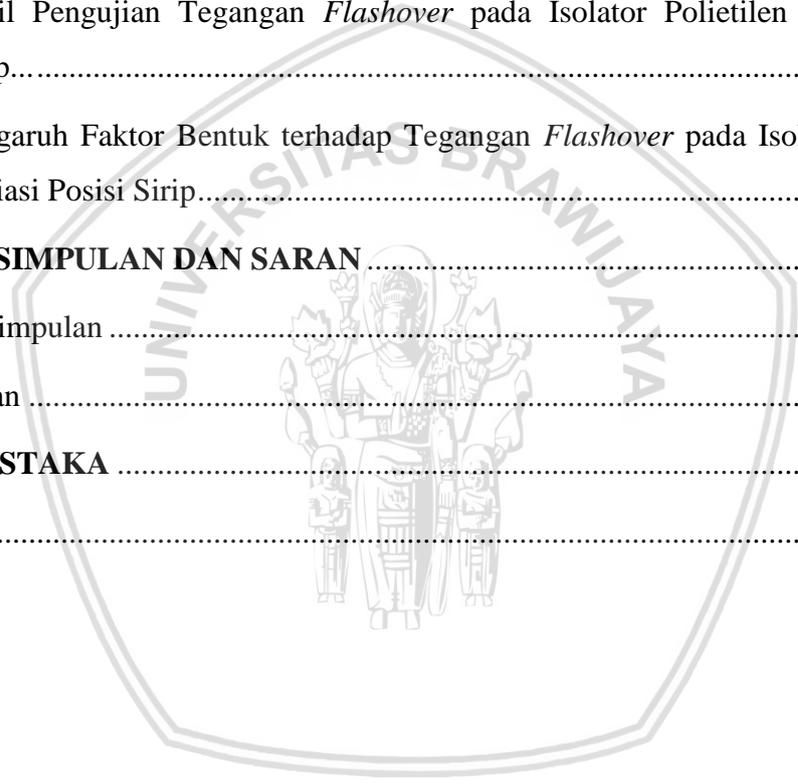
DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Polietilen.....	5
2.2 Medan Listrik.....	5
2.3 Arus Bocor.....	6
2.4 Kegagalan dalam Gas.....	6
2.5 Karakteristik Listrik Bahan Isolasi.....	7
2.5.1 Kekuatan dielektrik.....	7
2.5.2 Rugi-rugi dielektrik.....	8
2.5.3 Resistansi isolasi.....	8
2.5.4 Kekuatan kerak dielektrik.....	9
2.6 Faktor Bentuk Isolator.....	9
BAB III METODE PENELITIAN	11



3.1	Studi Literatur	11
3.2	Variabel Penelitian.....	11
3.3	Objek Uji	12
3.4	Perhitungan Faktor Bentuk	15
3.5	Simulasi Distribusi Medan Listrik.....	17
3.6	Pengujian Arus Bocor Isolator.....	18
3.7	Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Isolator	20
BAB IV	HASIL DAN ANALISIS	23
4.1	Simulasi Distribusi Medan Listrik pada pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip.....	23
4.2	Pengujian Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip	26
4.2.1	Hasil Pengujian Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip	27
4.2.2	Pengaruh Jarak Vertikal terhadap Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip.....	31
4.2.3	Pengaruh Jarak Horizontal terhadap Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip.....	32
4.2.4	Pengaruh Perbandingan Jarak Vertikal dengan Jarak Horizontal terhadap Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip	33
4.2.5	Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip.....	35
4.3	Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip .	35
4.3.1	Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip.....	36
4.3.2	Pengaruh Jarak Vertikal terhadap Tegangan <i>Flashover</i> pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip	39
4.3.3	Pengaruh Jarak Horizontal terhadap Tegangan <i>Flashover</i> pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip	40
4.3.4	Pengaruh Perbandingan Jarak Vertikal dengan Jarak Horizontal terhadap Tegangan <i>Flashover</i> pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip	42

4.3.5	Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Tegangan <i>Flashover</i> pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip	43
4.4	Simulasi Distribusi Medan Listrik pada Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip	44
4.5	Pengujian Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip	48
4.5.1	Hasil Pengujian Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip.....	48
4.5.2	Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip	51
4.6	Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> pada Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip.....	52
4.6.1	Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> pada Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip.....	53
4.6.2	Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Tegangan <i>Flashover</i> pada Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip.....	55
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	58
	DAFTAR PUSTAKA	59
	LAMPIRAN	61





DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 4.1	Data Hasil Pengujian Arus Bocor Isolator Polietilen Tipe A.....	27
Tabel 4.2	Data Hasil Pengujian Arus Bocor Isolator Polietilen Tipe B.....	28
Tabel 4.3	Data Hasil Pengujian Arus Bocor Isolator Polietilen Tipe C.....	29
Tabel 4.4	Nilai Arus Bocor Isolator Tipe A, Tipe B, dan Tipe C.....	30
Tabel 4.5	Pengaruh Perbandingan Jarak Vertikal dengan Jarak Rambut terhadap Arus Bocor.....	31
Tabel 4.6	Pengaruh Perbandingan Jarak Horizontal dengan Jarak Rambut terhadap Arus Bocor.....	33
Tabel 4.7	Pengaruh Perbandingan Jarak Vertikal dengan Jarak Horizontal terhadap Arus Bocor.....	34
Tabel 4.8	Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Arus Bocor.....	35
Tabel 4.9	Data Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Isolator Polietilen Tipe A.....	36
Tabel 4.10	Data Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Isolator Polietilen Tipe B.....	37
Tabel 4.11	Data Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Isolator Polietilen Tipe C.....	38
Tabel 4.12	Data Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip.....	38
Tabel 4.13	Pengaruh Perbandingan Jarak Vertikal dengan Jarak Rambut terhadap Tegangan <i>Flashover</i>	39
Tabel 4.14	Pengaruh Perbandingan Jarak Horizontal (s_h) dengan Jarak Rambut (s_r) terhadap Tegangan <i>Flashover</i>	41
Tabel 4.15	Pengaruh Perbandingan Jarak Vertikal dengan Jarak Horizontal terhadap Tegangan <i>Flashover</i>	42
Tabel 4.16	Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Tegangan <i>Flashover</i>	43
Tabel 4.17	Data Hasil Pengujian Arus Bocor Isolator Polietilen Tipe C1.....	49
Tabel 4.18	Data Hasil Pengujian Arus Bocor Isolator Polietilen Tipe C3.....	50
Tabel 4.19	Nilai Arus Bocor Isolator Tipe C1, Tipe C2, dan Tipe C3.....	51
Tabel 4.20	Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Arus Bocor.....	52
Tabel 4.21	Data Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Isolator Polietilen Tipe C1.....	53
Tabel 4.22	Data Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Isolator Polietilen Tipe C3.....	53
Tabel 4.23	Data Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip.....	54

Tabel 4.24 Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Tegangan *Flashover* 55



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
<i>Gambar 2.1</i>	Arus pada bahan isolasi padat.....	8
<i>Gambar 2.2</i>	Isolator gantung (a) dan model sederhana isolator (b).....	10
<i>Gambar 3.1</i>	Diagram alir penelitian.....	12
<i>Gambar 3.2</i>	Penampang bentuk kontur permukaan isolator polietilen.....	13
<i>Gambar 3.3</i>	Penampang isolator Tipe A (a), Tipe B (b) dan Tipe C (c)	15
<i>Gambar 3.4</i>	Model sederhana isolator Tipe A (a), Tipe B (b) dan Tipe C (c).....	17
<i>Gambar 3.5</i>	Diagram alir simulasi distribusi medan listrik	18
<i>Gambar 3.6</i>	Rangkaian pengujian arus bocor pada isolator polietilen	19
<i>Gambar 3.7</i>	Diagram alir pengujian arus bocor (a) dan diagram alir pengujian tegangan <i>flashover</i> (b)	20
<i>Gambar 3.8</i>	Rangkaian pengujian tegangan <i>flashover</i> pada isolator polietilen.....	21
<i>Gambar 4.1</i>	Distribusi medan listrik (a) dan grafik kuat medan listrik isolator Tipe A (b)	24
<i>Gambar 4.2</i>	Distribusi medan listrik (a) dan grafik kuat medan listrik isolator Tipe B (b)	25
<i>Gambar 4.3</i>	Distribusi medan listrik (a) dan grafik kuat medan listrik isolator Tipe C (b)	26
<i>Gambar 4.4</i>	Grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator Tipe A .	28
<i>Gambar 4.5</i>	Grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator Tipe B..	29
<i>Gambar 4.6</i>	Grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator Tipe C..	30
<i>Gambar 4.7</i>	Grafik nilai arus bocor isolator polietilen variasi panjang sirip.....	31
<i>Gambar 4.8</i>	Grafik perbandingan jarak vertikal (s_v) dengan jarak rambat (s_r) terhadap arus bocor pada isolator polietilen variasi panjang sirip.....	32
<i>Gambar 4.9</i>	Grafik perbandingan jarak horizontal (s_h) dengan jarak rambat (s_r) terhadap arus bocor pada isolator polietilen variasi panjang sirip.....	33
<i>Gambar 4.10</i>	Grafik perbandingan jarak vertikal (s_v) dan jarak horizontal (s_h) terhadap arus bocor pada isolator polietilen variasi panjang sirip.....	34
<i>Gambar 4.11</i>	Grafik hubungan faktor bentuk terhadap arus bocor pada isolator polietilen variasi panjang sirip	35
<i>Gambar 4.12</i>	<i>Flashover</i> pada isolator Tipe A.....	36
<i>Gambar 4.13</i>	<i>Flashover</i> pada isolator Tipe B	37



<i>Gambar 4.14</i>	<i>Flashover</i> pada isolator Tipe C.....	38
<i>Gambar 4.15</i>	Grafik tegangan korona dan tegangan <i>flashover</i> pada isolator polietilen variasi panjang sirip	39
<i>Gambar 4.16</i>	Grafik perbandingan jarak vertikal (s_v) dengan jarak rambat (s_r) terhadap tegangan <i>flashover</i> pada isolator polietilen variasi panjang sirip	40
<i>Gambar 4.17</i>	Grafik perbandingan jarak horizontal (s_h) dengan jarak rambat (s_r) terhadap tegangan <i>flashover</i> pada isolator polietilen variasi panjang sirip	41
<i>Gambar 4.18</i>	Grafik perbandingan jarak vertikal (s_v) dengan jarak horizontal (s_h) terhadap tegangan <i>flashover</i>	42
<i>Gambar 4.19</i>	Grafik hubungan faktor bentuk terhadap tegangan <i>flashover</i> pada isolator polietilen variasi panjang sirip.....	43
<i>Gambar 4.20</i>	Penampang bentuk kontur isolator Tipe C1 (a), Tipe C2 (b) dan Tipe C3 (c)	44
<i>Gambar 4.21</i>	Distribusi medan listrik (a) dan grafik kuat medan listrik isolator Tipe C1 (b).....	45
<i>Gambar 4.22</i>	Distribusi medan listrik (a) dan grafik kuat medan listrik isolator Tipe C2 (b).....	46
<i>Gambar 4.23</i>	Distribusi medan listrik (a) dan grafik kuat medan listrik isolator Tipe C3 (b).....	47
<i>Gambar 4.24</i>	Model sederhana isolator Tipe C1 (a) dan Tipe C3 (b)	48
<i>Gambar 4.25</i>	Grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator Tipe C1	49
<i>Gambar 4.26</i>	Grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator Tipe C3	50
<i>Gambar 4.27</i>	Grafik perbandingan nilai arus bocor isolator polietilen variasi posisi sirip	51
<i>Gambar 4.28</i>	Grafik hubungan faktor bentuk terhadap arus bocor pada isolator polietilen variasi posisi sirip	52
<i>Gambar 4.29</i>	Grafik tegangan korona dan tegangan <i>flashover</i> pada isolator polietilen variasi posisi sirip	54
<i>Gambar 4.30</i>	Grafik hubungan faktor bentuk terhadap tegangan <i>flashover</i> pada isolator polietilen variasi panjang sirip.....	55



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Data Hasil Pengujian Arus Bocor Variasi Panjang Sirip.....	63
Lampiran 2.	Data Hasil Pengujian Arus Bocor Variasi Posisi Sirip.....	64
Lampiran 3.	Polietilen Batangan dengan Diameter 13 cm.....	65
Lampiran 4.	Bentuk Kontur Permukaan Isolator.....	66
Lampiran 5.	Rangkaian Pengujian di Laboratorium Tegangan Tinggi.....	67
Lampiran 6.	Jejak <i>Flashover</i> pada Isolator.....	68





BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada sistem tenaga listrik, seperti saluran transmisi dan jaringan distribusi hantaran udara terdapat konduktor-konduktor bertegangan, sehingga diperlukan isolator untuk mengisolasi bagian konduktor dengan konduktor maupun dengan peralatan yang terhubung ke tanah. Pada dasarnya isolasi merupakan suatu sifat suatu bahan yang dapat memisahkan secara elektris dua atau lebih penghantar yang letaknya berdekatan, sehingga antara kedua penghantar tersebut tidak terjadi kebocoran arus maupun lompatan api (*flashover*), (Arismunandar, 1994, hal. 138). Pada kenyataannya, arus bocor tetap terjadi, namun besarnya arus bocor dapat dikurangi. Alat yang menjalankan fungsi isolasi disebut sebagai isolator. Bahan isolasi dapat berbentuk gas, cair dan padat. Gabungan dari beberapa bahan isolasi dapat disebut sebagai sistem isolasi.

Suatu sistem isolasi harus mampu menjalankan fungsi isolasi dengan baik. Namun pada kenyataannya, sistem tersebut dapat mengalami kegagalan. Ada dua hal yang dapat menyebabkan sistem isolasi gagal, yaitu terjadinya tembus listrik pada udara di sekitar permukaan isolator yang disebut peristiwa lewat-denyar (*flashover*) dan tembus listrik pada isolator, (Tobing, 2012, hal. 152). Pada peristiwa lewat denyar terjadi busur api yang dapat menyebabkan pemanasan pada permukaan isolator padat dan terjadi hubung singkat fasa ke tanah. Sedangkan tembus listrik dapat menyebabkan isolator rusak dan tidak dapat dipulihkan kembali, seperti pecahnya bahan isolasi padat akibat terjadinya tembus listrik. Sebuah isolator padat dirancang sedemikian rupa agar tegangan tembusnya jauh lebih tinggi daripada tegangan *flashover*nya. Selain itu, karena kekuatan dielektrik udara lebih kecil daripada bahan isolasi padat, maka tembus listrik yang terjadi adalah melalui permukaan isolator yaitu melalui udara.

Kinerja sebuah isolator juga dipengaruhi oleh besarnya arus bocor yang melewati permukaan isolator. Nilai arus bocor harus dikurangi, karena adanya arus bocor dapat mengakibatkan peluahan yang pada akhirnya dapat merusak isolasi peralatan. Untuk mengurangi besarnya arus bocor, isolator dirancang untuk memaksimalkan jarak rambat arus bocor dengan membuat lekukan di sepanjang permukaannya, (Hussein, Kalif, & Salah, 2009, hal. 2).

Oleh karena itu perlu adanya studi untuk menganalisis bagaimana pengaruh bentuk kontur isolator yang memiliki jarak rambat sama, terhadap tingkat arus bocor, tegangan *flashover* dan distribusi medan listrik. Pada pengujian ini menggunakan bahan isolasi jenis polietilen yang telah dibentuk sedemikian rupa sehingga isolator memiliki bagian lengkungan pada siripnya. Bahan polietilen sendiri merupakan jenis polimer termoplastik yang memiliki kekuatan dielektrik yang cukup tinggi, struktur yang kuat dan tidak mudah pecah. Bentuk kontur isolator memiliki variasi panjang sirip dan posisi sirip. Bentuk elektroda yang digunakan adalah batang-batang. Dengan menerapkan tegangan pada isolator maka akan didapatkan besar arus bocor dan tegangan *flashover* untuk setiap variasi bentuk kontur isolator polietilen. Kemudian dilakukan pengamatan terhadap distribusi medan disekitar permukaan isolator. Sehingga dari pengujian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai dasar dalam merancang isolator pada suatu peralatan listrik.

1.2 Rumusan Masalah

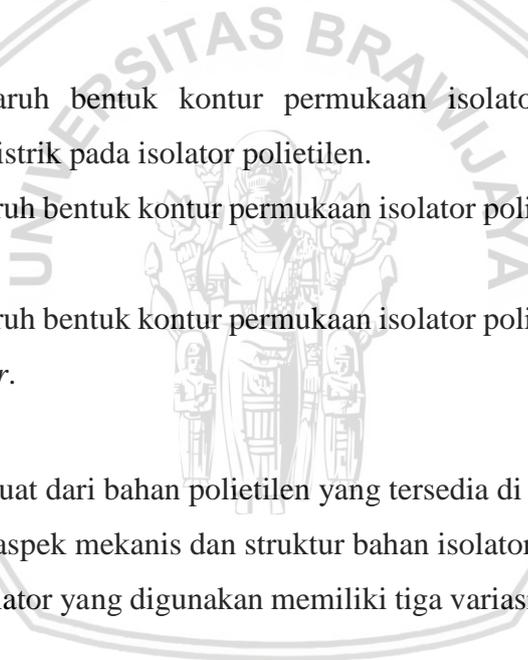
- 1) Bagaimana pengaruh bentuk kontur permukaan isolator polietilen terhadap distribusi medan listrik pada isolator polietilen.
- 2) Bagaimana pengaruh bentuk kontur permukaan isolator polietilen terhadap tingkat arus bocor.
- 3) Bagaimana pengaruh bentuk kontur permukaan isolator polietilen terhadap tingkat tegangan *flashover*.

1.3 Batasan Masalah

- 1) Isolator padat terbuat dari bahan polietilen yang tersedia di pasaran
- 2) Tidak membahas aspek mekanis dan struktur bahan isolator
- 3) Bentuk kontur isolator yang digunakan memiliki tiga variasi panjang sirip dan tiga variasi posisi sirip
- 4) Jarak rambat isolator sama, namun bentuk kontur permukaannya berbeda
- 5) Bentuk elektroda yang digunakan adalah batang-batang
- 6) Pengujian dilakukan di Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Brawijaya

1.4 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk menganalisis pengaruh bentuk kontur permukaan isolator polietilen terhadap distribusi medan listrik, tingkat arus bocor dan tegangan *flashover*.



1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

- 1) Bagi penulis, mampu memberikan pembelajaran dalam meneliti dan menganalisis pengaruh bentuk kontur permukaan isolator polietilen terhadap distribusi medan listrik, tingkat arus bocor dan tegangan *flashover*.
- 2) Bagi pembaca, mampu memberikan wawasan mengenai pengaruh bentuk kontur permukaan isolator polietilen terhadap distribusi medan listrik, tingkat arus bocor dan tegangan *flashover*.





**BAB II
TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Polietilen

Polietilen merupakan salah satu jenis polimer yang termasuk ke dalam kelompok termoplastik. Polietilen biasa digunakan sebagai bahan isolasi karena memiliki resistivitas yang tinggi dan tahan terhadap kelembapan. Selain itu polietilen memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, tidak menyerap air dan mudah dibentuk. Namun polietilen memiliki kelemahan dalam modulus yang relatif rendah dan titik lelehnya yang rendah. Secara umum polietilen dibagi menjadi beberapa macam yaitu *very-low density* PE (VLDPE), *low-density* PE (LDPE), *linear low-density* PE (LLDPE), *high-density* PE (HDPE) dan *ultra-high molecular weight* PE (UHMWPE). (Harper, 2000, hal. 1.41-1.43)

2.2 Medan Listrik

Medan listrik adalah suatu daerah atau ruang di sekitar muatan yang masih dipengaruhi oleh gaya elektrik. Pada setiap titik dalam medan listrik terdapat suatu kuantitas yang menyatakan tingkat kekuatan medan tersebut, yang disebut kuat medan listrik (E). Medan listrik digambarkan sebagai vektor garis medan listrik yang keluar dari muatan positif dan masuk ke muatan negatif. Kuat medan listrik yang semakin besar digambarkan dengan garis medan yang semakin panjang. Kuat medan listrik pada sebuah titik adalah gaya per satuan muatan yang dialami oleh sebuah muatan di titik tersebut. Secara matematis dapat ditulis sebagai:

$$E = \frac{F}{q} \dots\dots\dots (2-1)$$

Distribusi medan listrik merupakan penyebaran medan listrik pada ruang diantara elektroda positif (anoda) dan negatif (katoda). Pada tiap titik dalam jarak sama mempunyai tingkat intensitas medan listrik yang berbeda. Intensitas medan listrik akan memberikan tekanan listrik pada bahan isolasi yang disebut sebagai *stress* listrik. Bentuk distribusi medan listrik dibedakan menjadi dua yaitu distribusi medan listrik homogen dan tidak homogen. Bentuk distribusi medan listrik menentukan besarnya intensitas medan listrik pada setiap titik yang artinya juga menentukan besarnya nilai tegangan tembus. (Harry Soekotjo Dachlan, 2008, hal. 2-3)

2.3 Arus Bocor

Isolator memiliki resistansi dan kapasitansi yang diantara keduanya timbul arus konduksi. Resistansi yang tinggi pada isolator akan memperkecil nilai arus bocor. Namun, jika isolator telah rusak atau tua, maka resistansinya kecil dan pada isolator akan mengalir arus yang besar.

Surface discharge atau pelepasan muatan permukaan adalah pelepasan muatan dari konduktor ke media gas dan terjadi di permukaan bahan isolasi padat yang tidak tertutupi oleh konduktor. Adanya pelepasan muatan di permukaan ini menyebabkan timbulnya arus yang mengalir pada permukaan bahan isolasi padat atau yang disebut sebagai arus bocor (*leakage current*). Besarnya arus bocor juga dipengaruhi desain dan bagaimana sebuah peralatan bekerja. (Sulistyanto, 2012, hal. 227)

Tegangan pada isolator merupakan tarikan atau tekanan yang harus dilawan oleh gaya yang ada pada isolator agar tidak terjadi kegagalan pada isolator itu sendiri. Gaya perlawanan terhadap tekanan tegangan adalah gaya listrik pada isolator akibat adanya elektron-elektron yang terikat erat pada molekul bahan isolasi. Apabila ikatan ini terputus, maka isolator akan kehilangan kemampuan isolasinya. Selain elektron-elektron yang berikatan kuat tadi, terdapat sejumlah kecil elektron-elektron yang ikatannya lemah, yang bila dikenakan tegangan dapat bergerak dari molekul satu ke molekul yang lainnya, sehingga timbul arus konduksi. Arus ini disebut sebagai arus bocor.

Bila tegangan diterapkan pada isolator, maka akan timbul 3 macam arus, yaitu arus pemindahan, arus absorpsi dan arus konduksi yang sebenarnya. Arus pemindahan (*displacement current*) atau disebut juga sebagai arus pemuat, dimana jika menggunakan tegangan DC, maka arus mengalir hanya terjadi dalam waktu singkat. Arus absorpsi merupakan arus yang tidak konstan dan nilainya turun secara perlahan. Arus absorpsi terjadi akibat dari pemoloran (*stretching*) secara perlahan dari ikatan elektron setelah pemindahan utama terjadi, sampai terjadi keseimbangan antara tekanan listrik dan gaya lawannya. Tegangan yang cukup tinggi akan dapat memutuskan ikatan elektron, sehingga arus pemuat dan arus absorpsi timbul dan berubah menjadi arus konduksi, yang bersama arus konduksi yang sebenarnya merupakan arus yang akan menyebabkan kegagalan isolasi. (Arismunandar, 1994, hal. 139)

2.4 Kegagalan dalam Gas

Pada bahan isolasi tidak mampu menahan tegangan yang diterapkan, maka akan terjadi pelepasan muatan (lucutan, *discharge*), atau dengan kata lain telah terjadi kegagalan isolasi.

Terdapat dua jenis pelepasan dalam gas, yaitu pelepasan bertahan sendiri (*self sustaining*) dan pelepasan tak bertahan sendiri (*non self sustaining*). Pada mekanisme kegagalan dalam gas, terjadi proses peralihan dari pelepasan tak bertahan ke berbagai jenis pelepasan bertahan sendiri, atau yang disebut sebagai percikan (*spark*). Telah dikenal dua mekanisme kegagalan gas, yaitu mekanisme Townsend dan mekanisme streamer. (Arismunandar, 1983, hal. 27)

Proses ionisasi benturan elektron merupakan salah satu proses dasar yang terpenting dalam terjadinya kegagalan gas. Selain itu terdapat dua proses atau mekanisme dasar yaitu mekanisme primer dan mekanisme sekunder. Mekanisme primer memungkinkan terjadinya banjir elektron, sedangkan mekanisme sekunder memungkinkan peningkatan banjir elektron. (Arismunandar, 1983, hal. 28-30)

Gas (udara) merupakan bahan isolasi alami yang banyak digunakan untuk mengisolasi peralatan tegangan tinggi. Semakin tinggi tegangan yang harus dipikul oleh bahan isolasi, maka bahan tersebut harus memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi. Kekuatan dielektrik bahan isolasi ditentukan oleh tegangan *flashover*, semakin tinggi tingkat tegangan *flashover*, maka semakin baik bahan isolator tersebut. *Flashover* adalah peristiwa tembus listrik pada udara disekitar permukaan isolator yang menimbulkan munculnya busur api di sekitar permukaan isolator padat yang dapat menjembatani kedua elektroda. (Sulistyanto, 2012, hal. 227)

Kekuatan atau tingkat tegangan *flashover* dari bahan isolasi padat menjadi bahan pertimbangan dalam perancangan konstruksi isolator. Hal ini dikarenakan tingkat tegangan *flashover* dipengaruhi oleh jenis bahan, konstruksi dan ukuran bahan isolasi padat, udara disekitar dan tegangan yang diterapkan. Sehingga konstruksi dari bahan isolator harus dapat meminimalkan tegangan *flashover* atau dapat dikatakan tembus terjadi pada udara, bukan pada bahan isolasi padat. (X. Wang, 2004, hal. 462)

2.5 Karakteristik Listrik Bahan Isolasi

Karakteristik listrik bahan isolasi yang perlu diketahui yaitu sebagai berikut.

2.5.1 Kekuatan dielektrik

Setiap bahan isolasi memiliki kemampuan untuk memikul besarnya kuat medan listrik. Jika kuat medan listrik yang dipikul berlangsung cukup lama dan besarnya melebihi batas, maka pada bahan isolasi akan mengalir arus yang tinggi dan terjadi kegagalan isolasi. Dalam hal ini bahan isolasi mengalami tembus listrik (*electrical breakdown*). Kuat medan listrik

tertinggi yang dapat dipikul oleh bahan isolasi dan tidak menimbulkan adanya tembus listrik disebut sebagai kekuatan dielektrik. (Tobing, 2012, hal. 26)

2.5.2 Rugi-rugi dielektrik

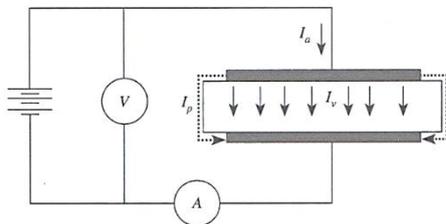
Pada suatu bahan isolasi yang diberi tegangan AC akan timbul rugi-rugi daya yang disebut dengan rugi-rugi dielektrik. Sumber rugi-rugi dielektrik yaitu rugi-rugi pada resistansi bahan isolasi (i^2R), rugi-rugi pada resistansi kontak antara dua bahan isolasi yang berdampingan, peluahan pada rongga udara di dalam bahan isolasi dan adanya rugi-rugi dipol. Rugi-rugi dipol merupakan panas akibat adanya gesekan antar molekul dipol ketika mengikuti arah medan listrik yang terjadi pada bahan isolasi. Rugi-rugi dielektrik murni diakibatkan oleh rugi-rugi pada resistansi bahan isolasi (rugi-rugi konduktif) dan rugi-rugi dipol. Namun rugi-rugi konduktif relatif kecil dibandingkan rugi-rugi dipol, sehingga rugi-rugi dipol dianggap sebagai penyebab timbulnya rugi-rugi dielektrik. (Tobing, 2012, hal. 29)

Rugi-rugi dielektrik dapat menimbulkan panas pada isolator. Panas yang terjadi dapat menaikkan suhu bahan isolasi. Semakin besar rugi-rugi dielektrik, maka kenaikan suhu bahan isolasi juga semakin tinggi. Jika suhu ini berlangsung cukup lama maka akan mempercepat penuaan bahan isolasi tersebut. (Tobing, 2012, hal. 32)

2.5.3 Resistansi isolasi

Pada suatu bahan isolasi yang diberi tegangan DC, maka akan timbul arus yang mengalir pada bahan isolasi tersebut, seperti yang ditunjukkan pada *Gambar 2.1*. Arus yang mengalir, yaitu arus permukaan (I_p) dan arus volume (I_v). Arus permukaan adalah arus yang mengalir pada permukaan bahan isolasi, sedangkan arus volume mengalir melalui volume bahan isolasi. Sehingga arus sumber merupakan penjumlahan dari arus permukaan dan arus volume, atau dapat dituliskan dalam persamaan (2-2) berikut.

$$I_a = I_v + I_p \dots\dots\dots (2-2)$$



Gambar 2.1 Arus pada bahan isolasi padat

Sumber: (Tobing, 2012, hal. 38)

Hambatan yang dialami oleh arus yang mengalir pada bahan isolasi, yaitu resistansi volume (R_v) yang dialami oleh arus volume dan resistansi permukaan (R_p) yang dialami oleh

arus permukaan. Adanya arus absorpsi, mengakibatkan pengukuran resistansi isolator bergantung pada waktu pengukuran. Selain itu, resistansi dipengaruhi oleh kelembapan, temperatur dan bentuk elektroda. Bahan isolasi yang baik memiliki arus absorpsi yang kecil. (Tobing, 2012, hal. 38-41)

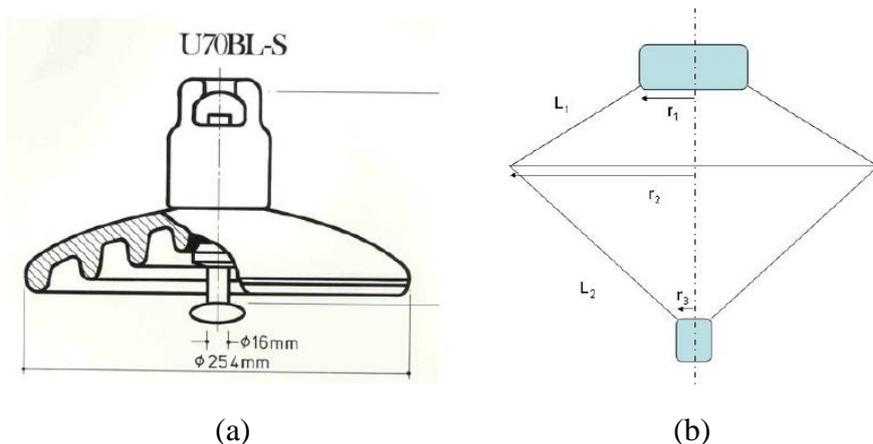
2.5.4 Kekuatan kerak dielektrik

Kerak dielektrik merupakan jejak arus pada permukaan isolator. Jejak ini timbul karena adanya arus rambat atau arus bocor yang menyebabkan panas dan terjadi penguraian kimia pada bahan isolasi. Besarnya arus rambat ditentukan oleh resistansi permukaan bahan isolasi, yang merupakan pengaruh dari kelembapan, temperatur, tekanan dan kandungan polusi di sekitar isolator. Suatu bahan isolasi harus mampu menahan arus bocor agar tidak menimbulkan pemburukan pada isolator. Terbentuknya kerak dielektrik dapat menyebabkan lajur konduktif. Lajur ini menimbulkan peningkatan tekanan medan listrik pada isolator. Panas akibat arus rambat juga dapat menimbulkan erosi dielektrik tanpa didahului kerak konduktif. (Tobing, 2012, hal. 42)

Mekanisme terjadinya kerak dielektrik mirip dengan mekanisme terjadinya peluahan pada isolator terpolusi. Kerak dielektrik terjadi pada isolator pasangan luar dan dalam. Terjadinya kerak dielektrik dipengaruhi oleh sifat material bahan isolator; bentuk dan kehalusan permukaan konduktor bertegangan yang dipikul oleh isolator; dan lingkungan sekitar isolator. Kerak dielektrik ini dapat memicu terjadinya peluahan sempurna. (Tobing, 2012, hal. 42)

2.6 Faktor Bentuk Isolator

Faktor bentuk suatu isolator merupakan suatu besaran yang membedakan bentuk atau profil sebuah isolator dengan isolator lain. Sebuah isolator gantung seperti pada *Gambar 2.2 (a)* dapat dibuat model sederhananya seperti ditunjukkan pada *Gambar 2.2 (b)*, lalu dihitung nilai faktor bentuknya menggunakan persamaan (2-3).



Gambar 2.2 Isolator gantung (a) dan model sederhana isolator (b)

Sumber: (Dr JP Holtzhausen, 2011, hal. 80)

Isolator gantung pada Gambar 2.2 (a) disederhanakan menjadi model isolator seperti pada Gambar 2.2 (b) yang terdiri dari dua buah kerucut. Kerucut bagian atas mewakili bagian atas isolator yang sebenarnya, memiliki panjang permukaan L_1 yang sama dengan jarak rambat bagian atas isolator. Sedangkan kerucut bagian bawah mewakili bagian bawah isolator yang sebenarnya, memiliki panjang permukaan L_2 yang sama dengan jarak rambat bagian bawah isolator. Model sederhana isolator memiliki jari-jari luar r_2 yang sama dengan jari-jari terluar dari isolator yang sebenarnya. Jari-jari r_1 besarnya sama dengan jari-jari dari kap isolator sebenarnya dan jari-jari r_3 besarnya sama dengan jari-jari dari pin isolator yang sebenarnya. Sehingga faktor bentuk dari isolator pada Gambar 2.2 (a) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut. (Dr JP Holtzhausen, 2011, hal. 80)

$$F = \frac{L_1}{2\pi(r_2 - r_1)} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) + \frac{L_2}{2\pi(r_2 - r_3)} \ln\left(\frac{r_2}{r_3}\right) \dots\dots\dots (2-3)$$

BAB III METODE PENELITIAN

Suatu isolator padat tidak dirancang untuk tembus melintasi bahan isolasi tersebut, namun tembus terjadi melalui permukaan bahan, yaitu melalui udara. Menurut Schwaiger, tembus melalui medium udara dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu jarak sela udara, besar medan dan bentuk distribusi medannya. Bentuk distribusi medan ditentukan oleh bentuk kontur permukaan isolator dan bentuk elektroda. Apabila bentuk elektroda yang digunakan tetap, maka distribusi medan pada permukaan isolator ditentukan oleh bentuk kontur permukaan isolator dan konstanta dielektrik isolator padat yang digunakan. (Warno, 2003, hal. 26)

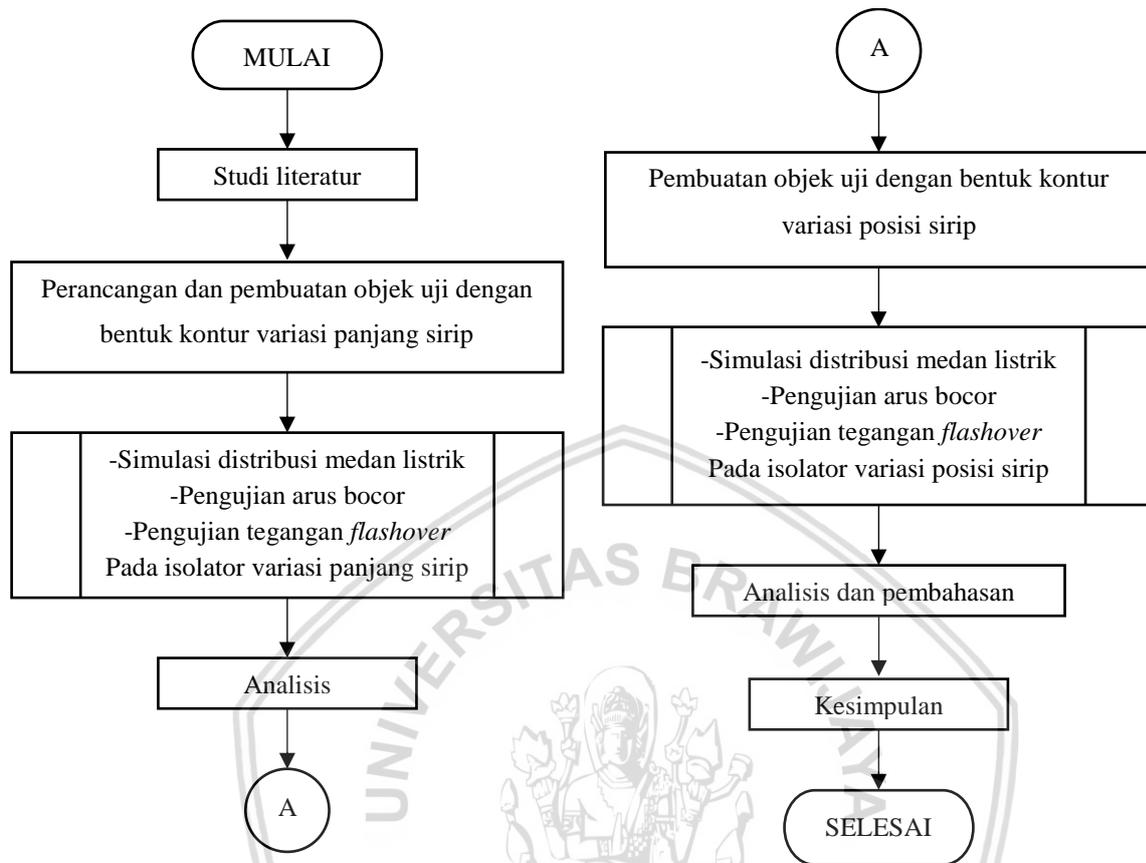
3.1 Studi Literatur

Mempelajari berbagai buku referensi, jurnal, skripsi dan media internet yang berkaitan dengan bahan isolasi polietilen, pengujian arus bocor dan tegangan *flashover* pada suatu bahan isolasi. Studi literatur ini bertujuan untuk memahami konsep-konsep yang berhubungan dengan pengujian bahan isolasi yang akan dilakukan.

3.2 Variabel Penelitian

Pada penelitian ini variabel yang akan diamati adalah pengaruh bentuk kontur permukaan isolator polietilen terhadap distribusi medan listrik, arus bocor, dan tegangan *flashover* pada isolator. Istilah kontur berarti garis yang menghubungkan titik-titik menjadi sebuah kurva, dimana dalam penelitian ini permukaan isolator memiliki bentuk kontur yang berbeda-beda. Bentuk kontur permukaan isolator terdiri dari variasi panjang sirip dan variasi posisi sirip. Setiap bentuk kontur isolator ini memiliki jarak rambat yang sama. Dimana jarak rambat merupakan jarak terpendek sepanjang permukaan isolator diantara dua bagian konduktif (elektroda). Panjang sirip isolator merupakan variasi dari jari-jari (r) lengkungan sirip yang berbentuk setengah lingkaran. Sehingga dihasilkan tiga variasi panjang lengkungan. Kemudian isolator diuji arus bocor dan tegangan *flashover*, sehingga didapatkan sebuah isolator dengan panjang sirip tertentu yang memiliki nilai arus bocor kecil dan tegangan *flashover* yang besar. Isolator tersebut kemudian digunakan sebagai dasar untuk variasi posisi sirip. Terdapat tiga posisi sirip, yaitu di atas, di tengah dan di bawah. Lalu dilakukan pengujian arus bocor dan tegangan *flashover* kembali, sehingga didapatkan

sebuah isolator dengan posisi sirip tertentu yang memiliki arus bocor kecil dan tegangan *flashover* yang besar. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada *Gambar 3.1*



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.3 Objek Uji

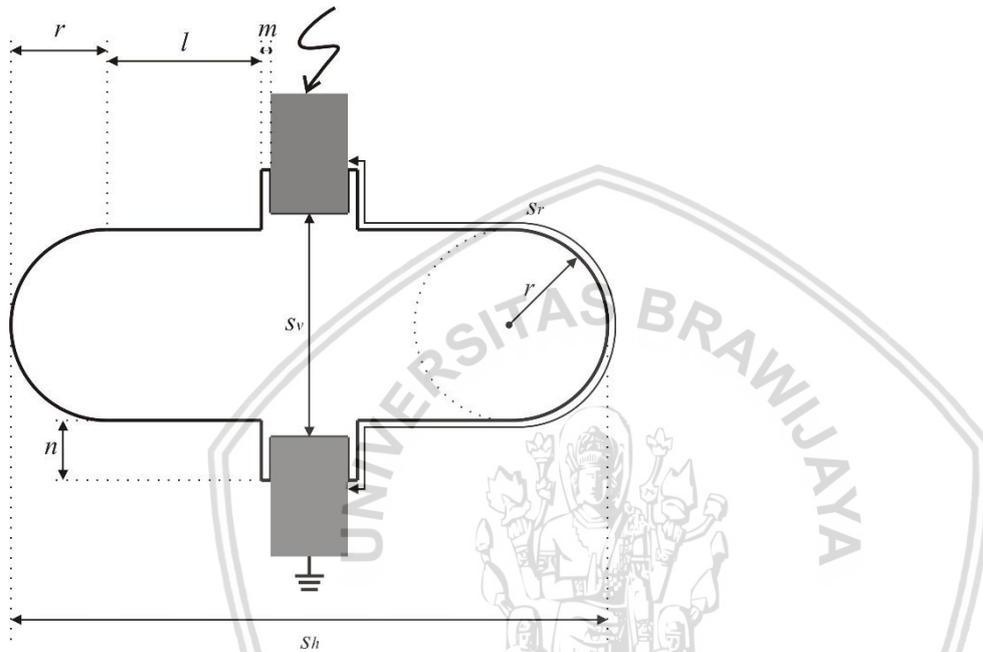
Objek uji yang digunakan berasal dari bahan polietilen berbentuk batang berbentuk tabung yang dijual dipasaran. Kemudian dilakukan perancangan bentuk isolator untuk variasi panjang sirip, dimana isolator memiliki sebuah lengkungan yang ujungnya berbentuk setengah lingkaran, seperti ditunjukkan pada *Gambar 3.2*. Dalam perancangan bentuk isolator untuk variasi panjang sirip terdapat beberapa konstanta dan variabel. Konstanta m bernilai 0,2 cm; konstanta n bernilai 1,25 cm; serta jarak rambat (s_r) sebesar 15,5 cm. Variabel lengkungan yaitu jari-jari (r), bernilai 2 cm, 3 cm dan 4 cm. Dimana nilai jari-jari ini akan mempengaruhi besar nilai l , besar nilai setengah keliling lingkaran ($\frac{1}{2}K$), jarak vertikal (s_v) dan jarak horizontal (s_h). Jarak rambat (s_r) merupakan panjang permukaan dari elektroda atas ke elektroda bawah, yaitu penjumlahan dari nilai $2m$, $2l$, $2n$ dan setengah keliling lingkaran ($\frac{1}{2}K$). Perhitungan nilai setengah keliling lingkaran menggunakan persamaan (3-1) dan nilai l menggunakan persamaan (3-2).

$$K = 2\pi r$$

$$\frac{1}{2} K = \pi r \quad \dots\dots\dots (3-1)$$

$$s_r = 2m + 2n + 2l + \frac{1}{2} K$$

$$l = \frac{s_r - 2m - 2n - \frac{1}{2} K}{2} \quad \dots\dots\dots (3-2)$$



Gambar 3.2 Penampang bentuk kontur permukaan isolator polietilen

- Jari-jari (r) = 2 cm

Jarak rambat, $s_r = 15,5$ cm; $m = 0,2$ cm; $n = 1,25$ cm

Setengah keliling lingkaran, $\frac{1}{2} K = \pi r = 3,14 \times 2 = 6,28$ cm

$$l = \frac{s_r - 2m - 2n - \frac{1}{2} K}{2} = \frac{15,5 - 2(0,2) - 2(1,25) - 6,28}{2} = 3,16 \approx 3,2 \text{ cm}$$

Bentuk kontur isolator dengan jari-jari 2 cm ini disebut sebagai Isolator Tipe A. Memiliki jarak vertikal (s_v) sebesar 4,7 cm dan jarak horizontal (s_h) sebesar 12,4 cm. Penampang bentuk kontur Isolator Tipe A ditunjukkan pada Gambar 3.3 (a).

- Jari-jari (r) = 3 cm

Jarak rambat, $s_r = 15,5$ cm; $m = 0,2$ cm; $n = 1,25$ cm

Setengah keliling lingkaran, $\frac{1}{2} K = \pi r = 3,14 \times 3 = 9,42$ cm

$$l = \frac{s_r - 2m - 2n - \frac{1}{2}K}{2} = \frac{15,5 - 2(0,2) - 2(1,25) - 9,42}{2} = 1,59 \approx 1,6 \text{ cm}$$

Bentuk kontur isolator dengan jari-jari 3 cm ini disebut sebagai Isolator Tipe B. Memiliki jarak vertikal (s_v) sebesar 6,7 cm dan jarak horizontal (s_h) sebesar 11,2 cm. Penampang bentuk kontur Isolator Tipe B ditunjukkan pada *Gambar 3.3 (b)*.

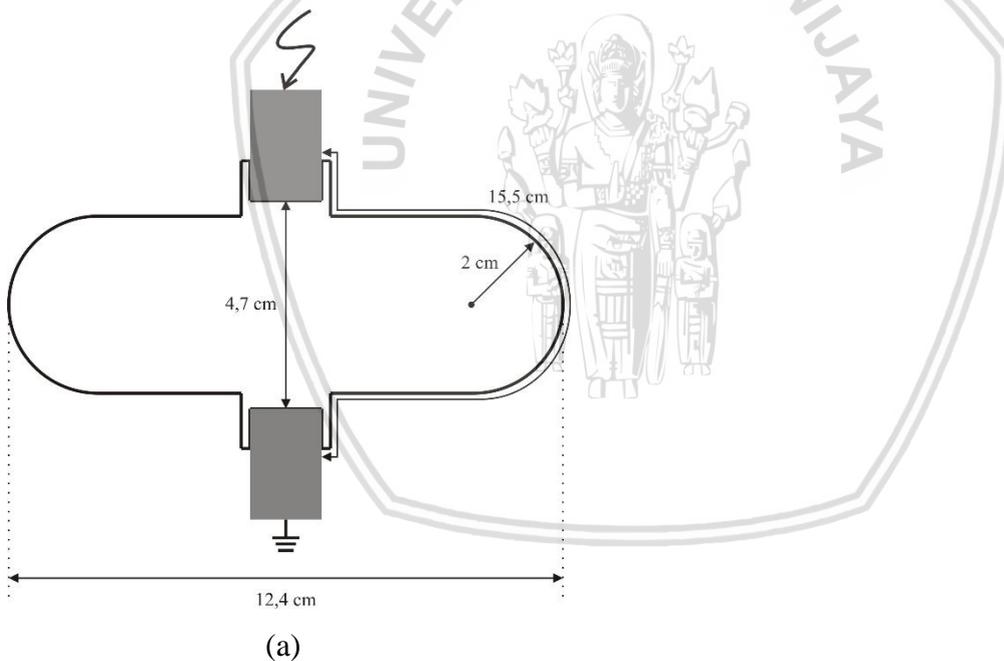
- Jari-jari (r) = 4 cm

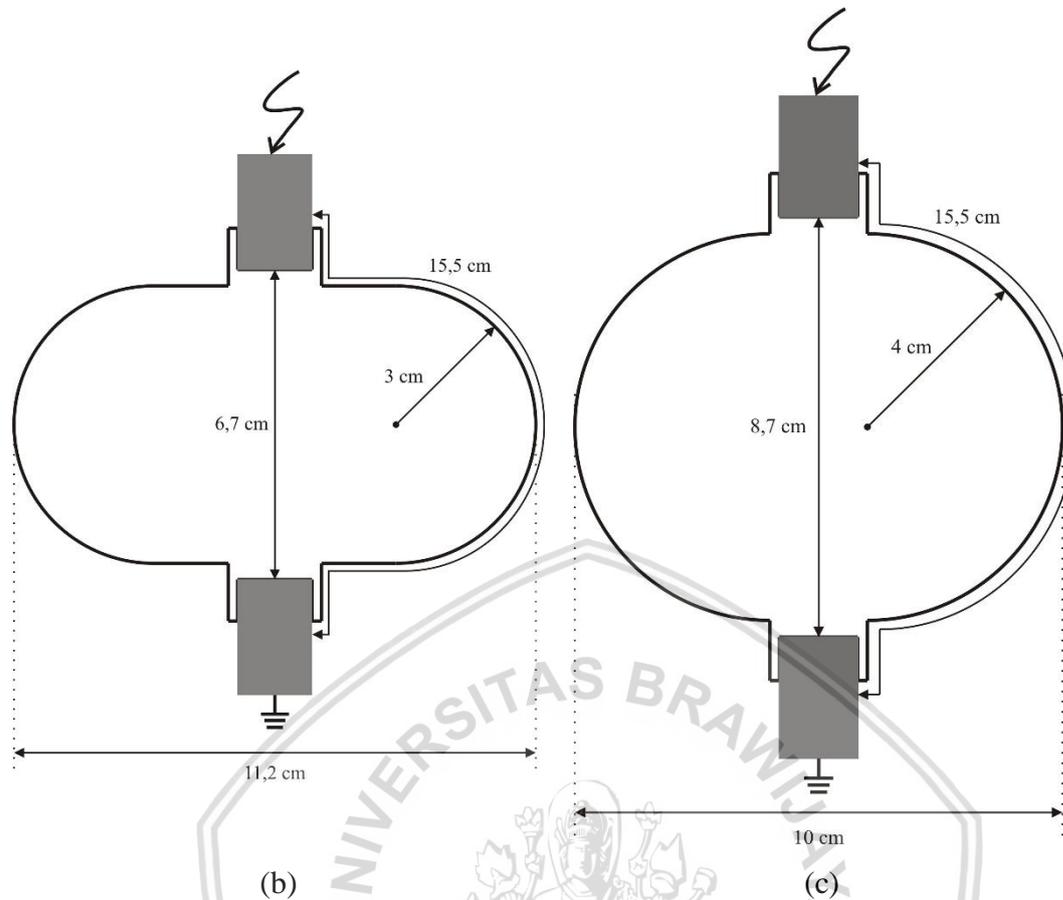
Jarak rambat, $s_r = 15,5$ cm; $m = 0,2$ cm; $n = 1,25$ cm

Setengah keliling lingkaran, $\frac{1}{2} K = \pi r = 3,14 \times 4 = 12,56$ cm

$$l = \frac{s_r - 2m - 2n - \frac{1}{2}K}{2} = \frac{15,5 - 2(0,2) - 2(1,25) - 12,56}{2} = 0,04 \approx 0$$

Bentuk kontur isolator dengan jari-jari 4 cm ini disebut sebagai Isolator Tipe C. Memiliki jarak vertikal (s_v) sebesar 8,7 cm dan jarak horizontal (s_h) sebesar 10 cm. Penampang bentuk kontur Isolator Tipe C ditunjukkan pada *Gambar 3.3 (c)*.





Gambar 3.3 Penampang isolator Tipe A (a), Tipe B (b) dan Tipe C (c)

Melalui perhitungan yang telah dilakukan, maka untuk variasi panjang sirip berdasarkan jari-jari (r) diperoleh tiga tipe isolator, yaitu untuk jari-jari 2 cm disebut sebagai Tipe A, untuk jari-jari 3 cm disebut sebagai Tipe B, dan untuk jari-jari 4 cm disebut sebagai Tipe C.

Dari hasil pengujian isolator variasi panjang sirip diperoleh salah satu tipe isolator dengan tingkat arus bocor bocol kecil dan tegangan *flashover* besar. Penamaan isolator variasi posisi sirip yaitu dengan menambahkan angka setelah huruf. Untuk posisi sirip di atas dekat dengan elektroda tegangan tinggi ditambahkan angka 1, untuk posisi sirip di tengah ditambahkan angka 2 dan untuk posisi sirip di bawah dekat dengan elektroda ground ditambahkan angka 3.

3.4 Perhitungan Faktor Bentuk

Masing-masing tipe isolator memiliki bentuk kontur yang berbeda, sehingga nilai faktor bentuk yang dimiliki juga berbeda. Bentuk kontur isolator yang sebenarnya akan disederhanakan menjadi sebuah model dan kemudian dilakukan perhitungan faktor bentuk.

- Tipe A

Bentuk kontur isolator A disederhanakan menjadi model isolator seperti ditunjukkan pada *Gambar 3.4 (a)*, kemudian dilakukan perhitungan faktor bentuk menggunakan persamaan (2-3). Perhitungan faktor bentuk:

$$F = \frac{7,75}{2\pi(6,2 - 1)} \ln\left(\frac{6,2}{0,8}\right) + \frac{7,75}{2\pi(6,2 - 1)} \ln\left(\frac{6,2}{1}\right) = 0,87$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka isolator Tipe A memiliki faktor bentuk, $F=0,87$

- Tipe B

Bentuk kontur isolator B disederhanakan menjadi model isolator seperti ditunjukkan pada *Gambar 3.4 (b)*. Perhitungan faktor bentuk:

$$F = \frac{7,75}{2\pi(5,6 - 1)} \ln\left(\frac{5,6}{1}\right) + \frac{7,75}{2\pi(5,6 - 1)} \ln\left(\frac{5,6}{1}\right) = 0,92$$

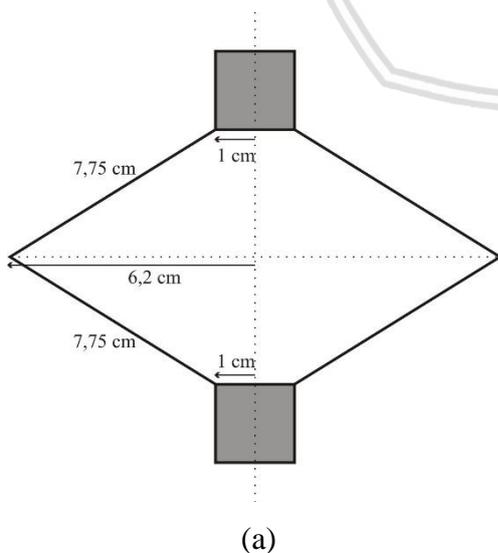
Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka isolator Tipe B memiliki faktor bentuk, $F=0,92$.

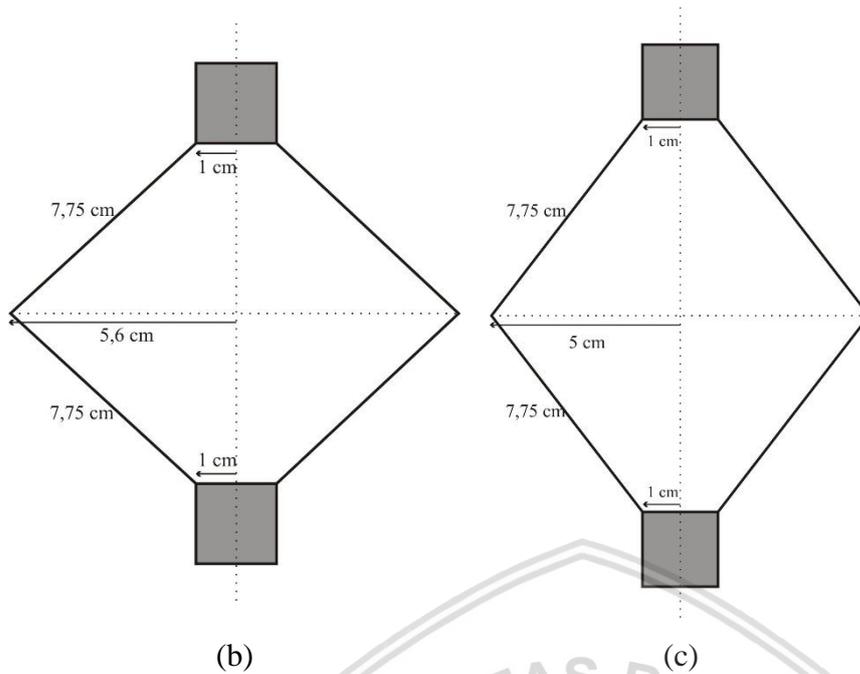
- Tipe C

Bentuk kontur isolator C disederhanakan menjadi model isolator seperti ditunjukkan pada *Gambar 3.4 (c)*. Perhitungan faktor bentuk:

$$F = \frac{7,75}{2\pi(5 - 1)} \ln\left(\frac{5}{1}\right) + \frac{7,75}{2\pi(5 - 1)} \ln\left(\frac{5}{1}\right) = 0,99$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka isolator Tipe C memiliki faktor bentuk, $F=0,99$.

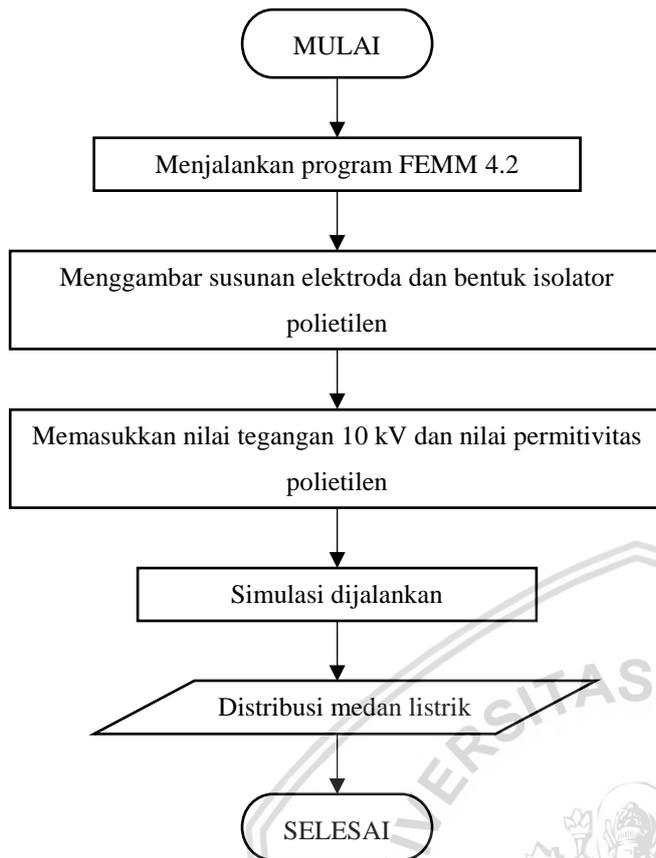




Gambar 3.4 Model sederhana isolator Tipe A (a), Tipe B (b) dan Tipe C (c)

3.5 Simulasi Distribusi Medan Listrik

Simulasi distribusi medan listrik pada permukaan isolator polietilen dilakukan untuk semua bentuk kontur yang diuji. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak FEMM 4.2. Data yang digunakan yaitu bentuk geometris elektroda, bentuk kontur isolator polietilen, dan tegangan yang diterapkan pada isolator sebesar 10 kV. Diagram alir untuk simulasi distribusi medan listrik ditunjukkan pada *Gambar 3.5*.



Gambar 3.5 Diagram alir simulasi distribusi medan listrik

Dari simulasi yang dilakukan, maka akan diperoleh distribusi medan listrik isolator dan nilai kuat medan listrik maksimum. Dari nilai kuat medan listrik maksimum ini dapat dihitung tingkat homogenitas medan listrik tiap tipe isolator, menggunakan persamaan (3-3). (Kuffel, Zaengl, & Kuffel, 2000, hal. 201-203)

$$\eta = \frac{E_{rata-rata}}{E_{maksimum}} \dots\dots\dots (3-3)$$

dimana,

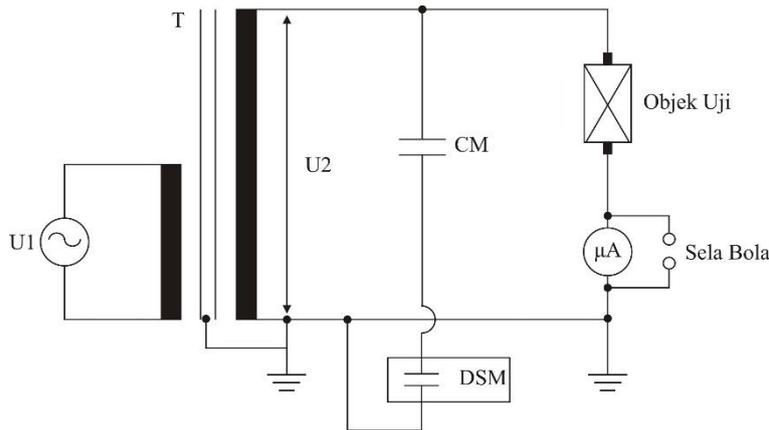
$$E_{rata-rata} = \frac{V}{s_r} \dots\dots\dots (3-4)$$

Dengan V adalah tegangan sebesar 10 kV dan s_r adalah jarak rambat sebesar 15,5 cm, maka dengan menggunakan persamaan (3-4), diperoleh nilai medan listrik rata-rata sebesar

$$E_{rata-rata} = \frac{10}{15,5} = 0,645 \text{ kV/cm}$$

3.6 Pengujian Arus Bocor Isolator

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh variasi tegangan terhadap nilai arus bocor. Rangkaian pengujian untuk mengukur besarnya arus bocor yang mengalir pada permukaan isolator ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Rangkaian pengujian arus bocor pada isolator polietilen

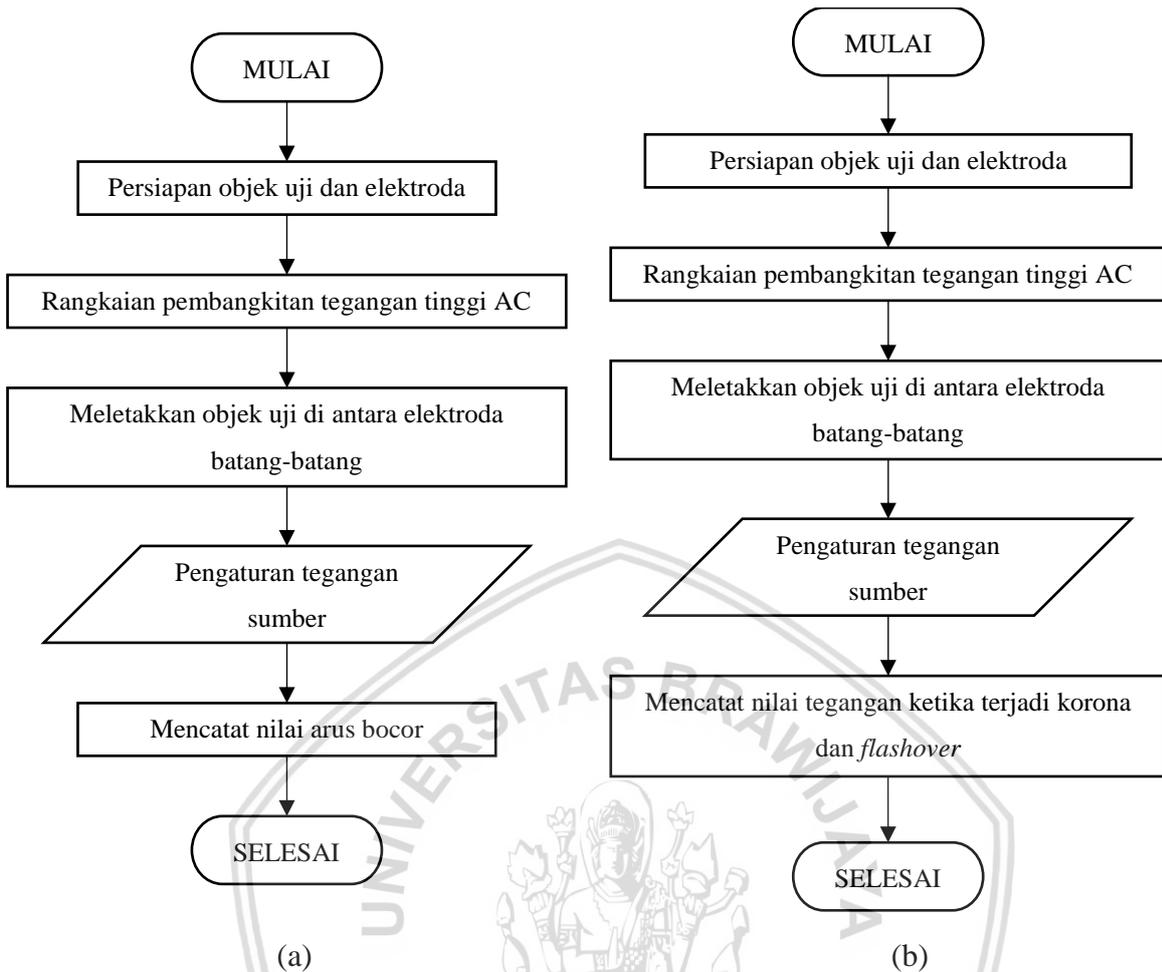
Sumber: (Kind, 1993, hal. 171)

Rangkaian pengujian pada Gambar 3.6 terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut:

- T : Trafo uji dengan perbandingan 220 V/100 kV
- CM : Pembagi kapasitif sebagai kapasitor ukur (100 pF)
- DSM : Alat ukur tegangan tinggi bolak balik
- Amperemeter : Alat ukur arus bocor
- Sela bola : Susunan elektroda bola-bola sebagai pengaman alat ukur amperemeter

Pengujian ini menggunakan elektroda batang-batang, dimana salah satunya terhubung dengan *ground*. Sebelum dilakukan pengujian, permukaan isolator polietilen dibersihkan dari kotoran yang menempel dengan cara dicuci menggunakan air bersih dan kemudian dikeringkan. Lalu isolator ditempatkan diantara kedua elektroda batang tersebut.

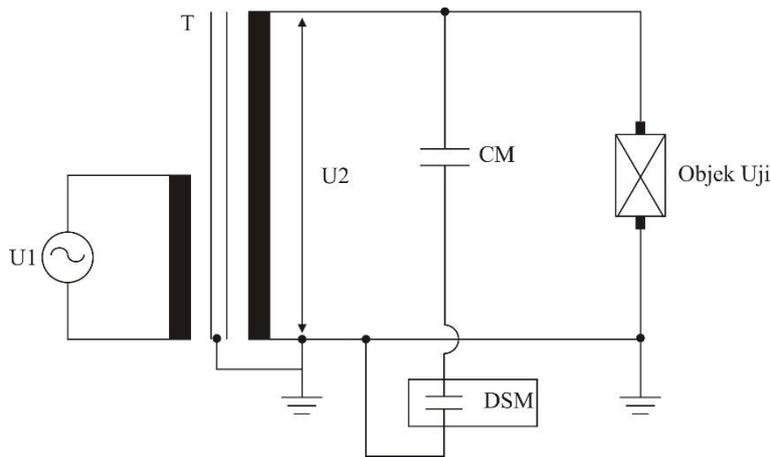
Pemberian tegangan pada isolator dilakukan melalui elektroda batang, dengan cara menaikkan tegangan sumber secara bertahap sesuai dengan tegangan terapan yang telah ditentukan, kemudian dicatat besar arus bocornya. Diagram alir pengujian arus bocor untuk setiap variasi bentuk kontur isolator dapat dilihat pada Gambar 3.7 (a).



Gambar 3.7 Diagram alir pengujian arus bocor (a) dan diagram alir pengujian tegangan *flashover* (b)

3.7 Pengujian Tegangan *Flashover* Isolator

Pengujian tegangan *flashover* dilakukan untuk mengetahui kemampuan isolator dalam menahan tegangan yang diberikan. Pengujian isolator menggunakan rangkaian pembangkit tegangan bolak-balik, agar kondisi pada saat pengujian sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Rangkaian pengujian untuk pengukuran tegangan *flashover* pada isolator polietilen sesuai dengan Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Rangkaian pengujian tegangan *flashover* pada isolator polietilen

Sumber: (Kind, 1993, hal. 171)

Rangkaian pengujian pada Gambar 3.8 terdiri dari beberapa komponen sebagai berikut:

- T : Trafo uji dengan perbandingan 220 V/100 kV
- CM : Pembagi kapasitif sebagai kapasitor ukur (100 pF)
- DSM : Alat ukur tegangan bolak balik

Pengujian ini menggunakan elektroda batang-batang, dimana salah satunya terhubung dengan *ground*. Sebelum dilakukan pengujian, permukaan elektroda batang dibersihkan menggunakan kain. Begitu pula dengan isolator polietilen yang akan diuji juga dibersihkan dengan cara dicuci menggunakan air bersih dan kemudian dikeringkan. Kemudian isolator ditempatkan diantara kedua elektroda batang tersebut.

Pemberian tegangan pada isolator dilakukan melalui elektroda batang-batang, dengan cara menaikkan tegangan sumber secara bertahap melalui *control desk*. Tegangan dinaikkan secara terus menerus hingga terjadi korona yang ditandai dengan bunyi mendesis dan dicatat besar tegangannya. Kemudian tegangan kembali dinaikkan hingga terjadi *flashover* yang ditandai dengan adanya bunyi ledakan dan busur api pada permukaan isolator polietilen. Diagram alir pengujian tegangan *flashover* untuk setiap variasi bentuk kontur isolator dapat dilihat pada Gambar 3.7 (b).

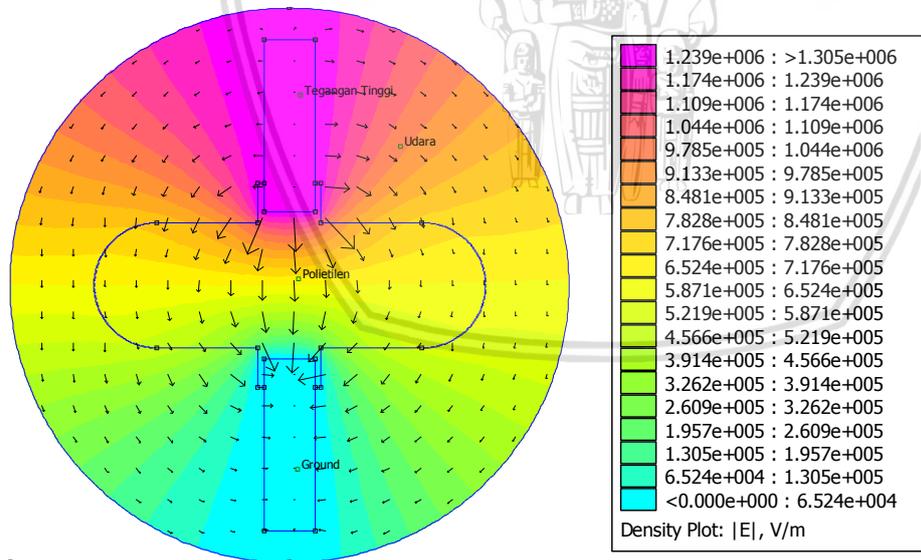


BAB IV HASIL DAN ANALISIS

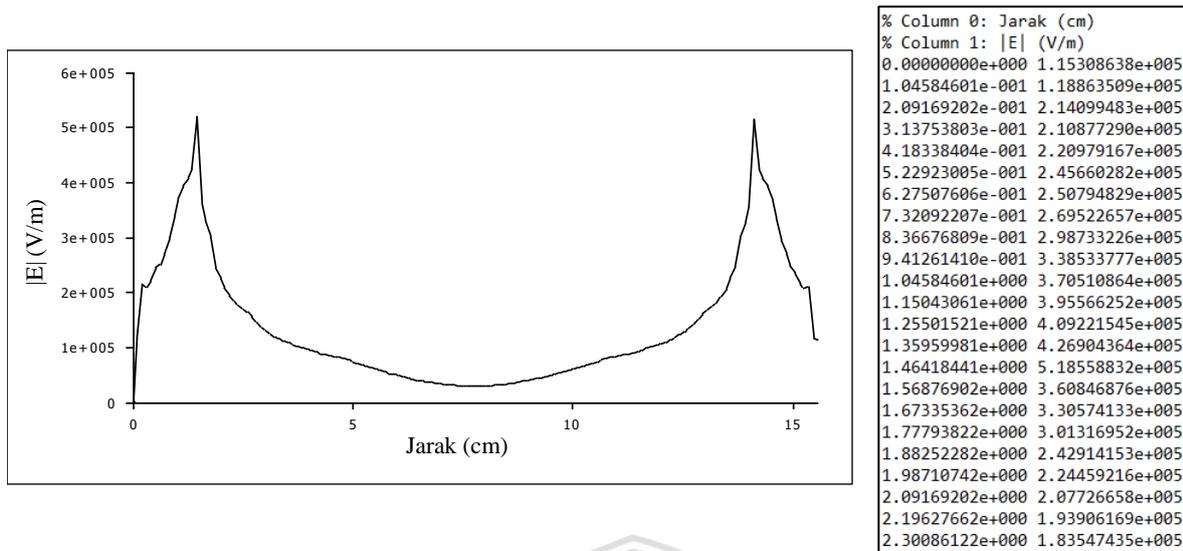
4.1 Simulasi Distribusi Medan Listrik pada pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip

Simulasi dilakukan untuk setiap bentuk isolator variasi panjang sirip menggunakan *software* FEMM 4.2. *Problem Type* yang digunakan pada simulasi adalah *axisymmetric problem*, karena bentuk geometri isolator pada dasarnya merupakan bentuk simetris rotasional. Bentuk geometri elektroda berupa batang-batang dengan diameter sebesar 1,6 cm. Dengan permitivitas relatif masing-masing medium yaitu untuk ϵ_r elektroda = 1, ϵ_r udara = 1, dan ϵ_r polietilen = 2,3. Tegangan yang digunakan dalam simulasi sebesar 10 kV. Dari simulasi dapat distribusi medan listrik dan grafik kuat medan listrik pada permukaan isolator.

Hasil simulasi distribusi medan listrik dari isolator polietilen variasi panjang sirip yaitu isolator Tipe A, Tipe B dan Tipe C ditampilkan pada gambar berikut ini. Penggambaran bentuk isolator pada *software* FEMM 4.2 sesuai dengan bentuk asli penampang isolator.



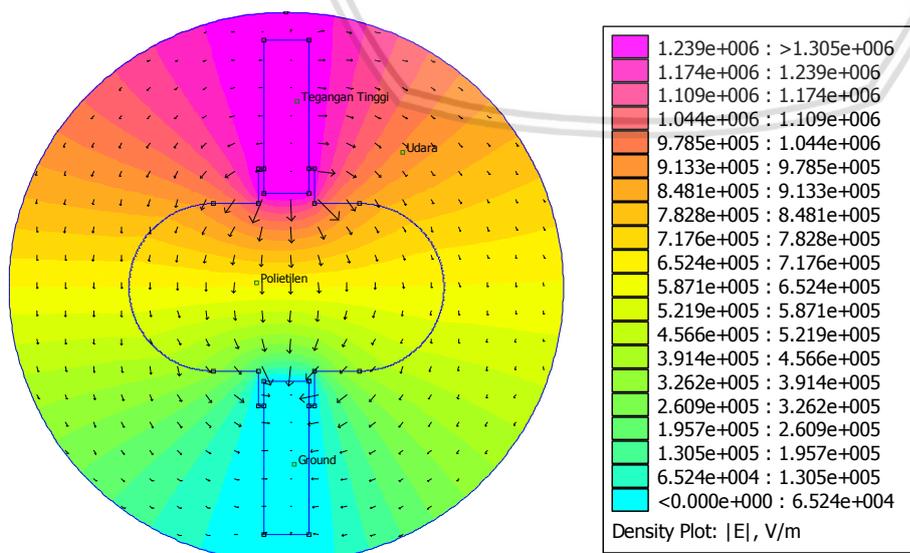
(a)



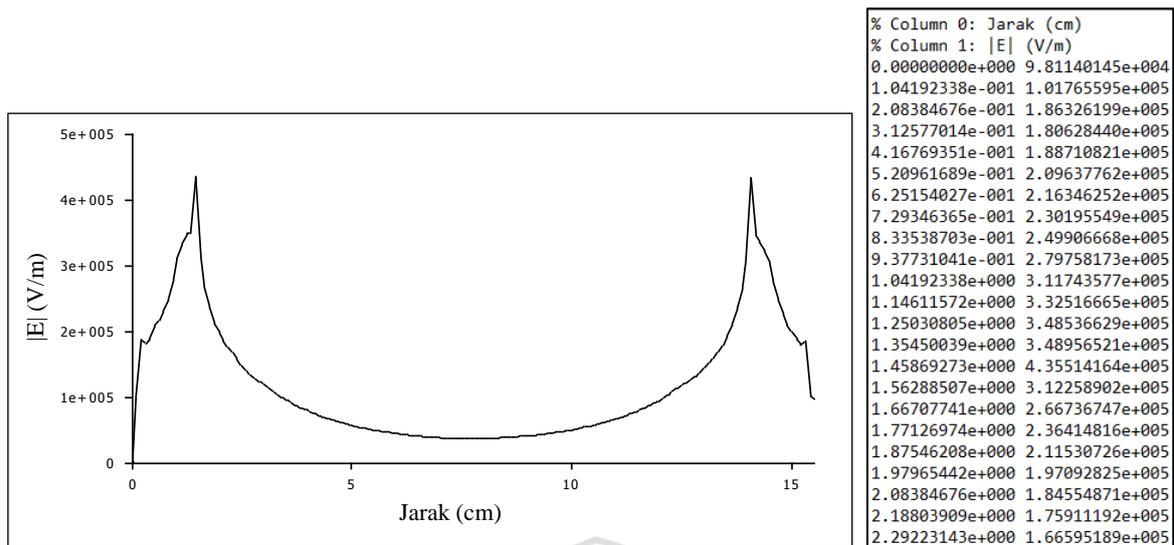
(b)

Gambar 4.1 Distribusi medan listrik (a) dan grafik kuat medan listrik isolator Tipe A (b)

Pada Gambar 4.1 (a) ditampilkan distribusi medan listrik isolator Tipe A, dimana warna merah menunjukkan distribusi medan listrik yang tinggi dan warna biru menunjukkan distribusi medan rendah. Nilai kuat medan listrik di sepanjang permukaan isolator ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.1 (b). Terdapat nilai kuat medan listrik yang sama pada beberapa titik jarak karena bentuk kontur permukaan isolator yang simetris. Nilai kuat medan listrik maksimum yaitu sebesar 5,186 kV/cm, pada jarak permukaan 1,46 cm dan 14,11 cm dari elektroda tegangan tinggi. Melalui perhitungan menggunakan persamaan (3-3), dengan $E_{maksimum}$ sebesar 5,186 kV/cm, diperoleh tingkat homogenitas, η sebesar 0,124.



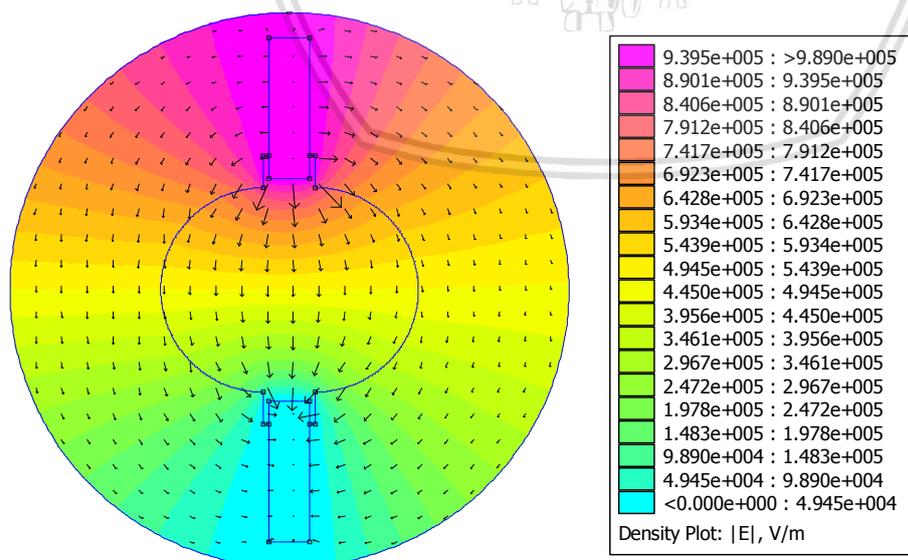
(a)



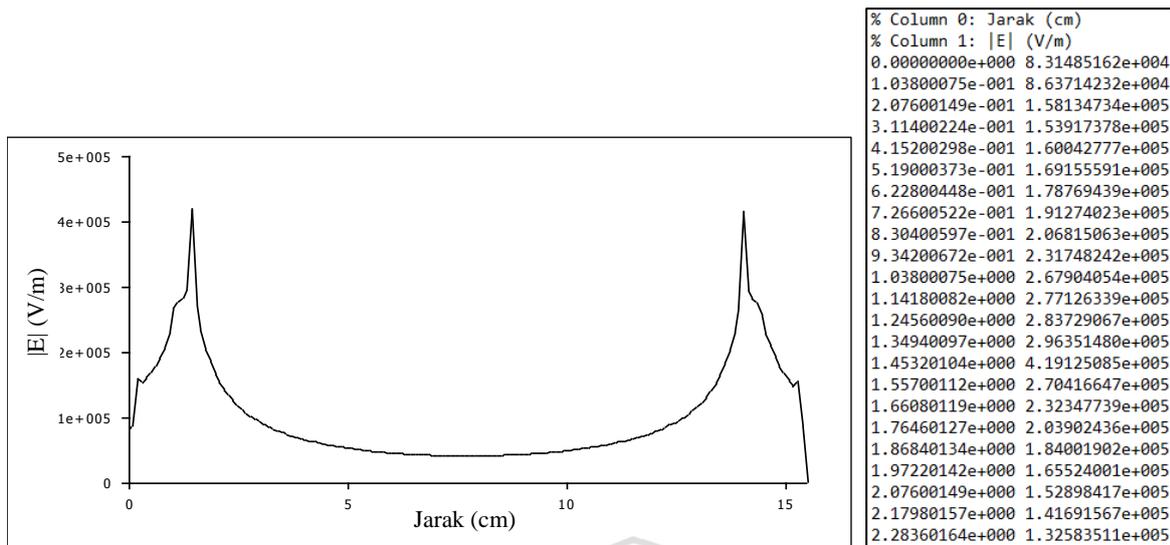
(b)

Gambar 4.2 Distribusi medan listrik (a) dan grafik kuat medan listrik isolator Tipe B (b)

Pada Gambar 4.2 (a) ditampilkan distribusi medan listrik isolator Tipe B, dimana warna merah menunjukkan distribusi medan listrik yang tinggi dan warna biru menunjukkan distribusi medan rendah. Nilai kuat medan listrik di sepanjang permukaan isolator ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.2 (b). Terdapat nilai kuat medan listrik yang sama pada beberapa titik jarak karena bentuk kontur permukaan isolator yang simetris. Nilai kuat medan listrik maksimum yaitu sebesar 4,355 kV/cm, terjadi pada jarak 1,46 cm dan 14,07 cm dari elektroda tegangan tinggi. Melalui perhitungan menggunakan persamaan (3-3), dengan E_{maksimum} sebesar 4,355 kV/cm, diperoleh tingkat homogenitas, η sebesar 0,148.



(a)



(b)

Gambar 4.3 Distribusi medan listrik (a) dan grafik kuat medan listrik isolator Tipe C (b)

Pada *Gambar 4.3* (a) ditampilkan distribusi medan listrik isolator Tipe C, dimana warna merah menunjukkan distribusi medan listrik yang tinggi dan warna biru menunjukkan distribusi medan rendah. Nilai kuat medan listrik di sepanjang permukaan isolator ditunjukkan oleh grafik pada *Gambar 4.3* (b). Terdapat nilai kuat medan listrik yang sama pada beberapa titik jarak karena bentuk kontur permukaan isolator yang simetris. Nilai kuat medan listrik maksimum yaitu sebesar 4,191 kV/cm, terjadi pada jarak 1,45 cm dan 14,01 cm dari elektroda tegangan tinggi. Melalui perhitungan menggunakan persamaan (3-3), dengan E_{maksimum} sebesar 4,191 kV/cm, diperoleh tingkat homogenitas, η sebesar 0,154.

Kuat medan listrik maksimum tiap tipe isolator berbeda akibat bentuk konturnya. Sedangkan kuat medan rata-rata tiap isolator sama, karena tegangan dan jarak rambat yang sama. Sehingga semakin kecil kuat medan listrik maksimum maka tingkat homogenitas (η) isolator semakin besar. Tingkat homogenitas tertinggi dimiliki oleh Tipe C dan terendah dimiliki oleh Tipe A. Dapat disimpulkan bahwa pada tegangan dan jarak rambat yang sama, semakin besar jarak vertikal (s_v) maka semakin kecil kuat medan maksimumnya dan semakin kecil jarak horizontal (s_h) maka semakin kecil pula kuat medan maksimumnya. Jarak vertikal ini menunjukkan ketebalan isolator, semakin besar jarak vertikal maka semakin tebal isolator. Sehingga semakin tebal isolator maka semakin kuat isolator untuk menahan tekanan listrik yang diberikan.

4.2 Pengujian Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh bentuk kontur permukaan isolator terhadap arus bocor ketika diberi tegangan uji. Isolator polietilen variasi panjang sirip yang

diuji, yaitu isolator Tipe A, Tipe B dan Tipe C. Pengujian dilakukan dengan menerapkan tegangan bolak-balik sebesar 5 kV sampai 25 kV dengan rentang tegangan 5 kV tiap pengujian. Elektroda yang digunakan yaitu elektroda batang-batang. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali, agar hasil yang didapatkan lebih akurat.

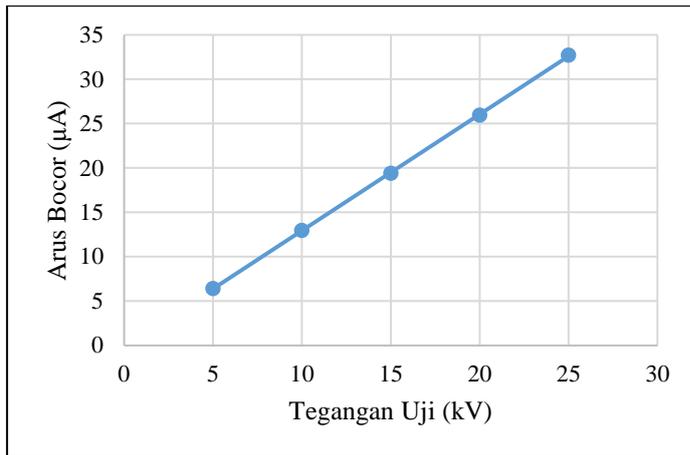
4.2.1 Hasil Pengujian Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip

Pengujian arus bocor pertama dilakukan pada isolator polietilen Tipe A dengan jari-jari lengkungan sirip sebesar 2 cm dan jarak rambat sebesar 15,5 cm. Tegangan uji yang diterapkan sebesar 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, dan 25 kV. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali dan kemudian diambil nilai rata-ratanya. Data hasil pengujian arus bocor untuk isolator Tipe A dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Arus Bocor Isolator Polietilen Tipe A

Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor Rata-rata (μA)	Resistansi ($\times 10^9 \Omega$)
5	6,43	0,78
10	12,97	0,77
15	19,40	0,77
20	25,97	0,77
25	32,70	0,76
Rata-rata		0,77

Dari data hasil pengujian pada Tabel 4.1, terlihat bahwa pada isolator Tipe A jika diberi tegangan sebesar 5 kV maka timbul arus bocor sebesar 6,43 μA , kemudian arus bocor naik ketika tegangan uji dinaikkan hingga saat tegangan uji sebesar 25 kV arus bocor yang mengalir sebesar 32,70 μA . Resistansi rata-rata objek uji sebesar $0,77 \times 10^9 \Omega$. Berdasarkan Tabel 4.1, maka dapat dibuat grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji untuk isolator polietilen Tipe A yang ditunjukkan pada *Gambar 4.4*.



Gambar 4.4 Grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator Tipe A

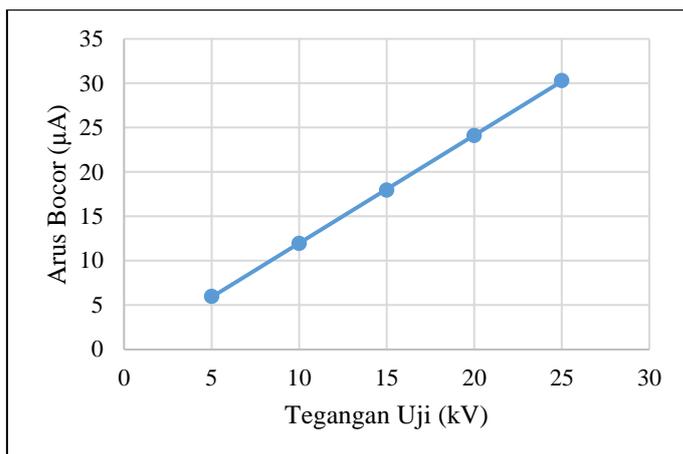
Berdasarkan Gambar 4.4 terlihat bahwa perubahan tegangan uji mempengaruhi nilai arus bocor pada isolator polietilen Tipe A, dimana semakin besar nilai tegangan uji yang diterapkan, maka semakin besar pula nilai arus bocornya. Arus bocor naik secara linear terhadap kenaikan tegangan uji, sehingga besar resistansi objek uji tetap.

Selanjutnya pengujian arus bocor yang kedua dilakukan pada isolator polietilen tipe B, dengan jari-jari lengkungan sirip sebesar 3 cm dan jarak rambat sebesar 15,5 cm. Besar tegangan uji yang diterapkan sama seperti sebelumnya. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali dan kemudian diambil nilai rata-ratanya. Data hasil pengujian arus bocor untuk isolator Tipe B dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Data Hasil Pengujian Arus Bocor Isolator Polietilen Tipe B

Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor Rata-rata (μA)	Resistansi ($\times 10^9 \Omega$)
5	5,97	0,84
10	11,97	0,84
15	17,97	0,83
20	24,10	0,83
25	30,30	0,83
Rata-rata		0,83

Pada data hasil pengujian pada Tabel 4.2, dapat dilihat bahwa pada isolator Tipe B jika diberi tegangan sebesar 5 kV maka timbul arus bocor sebesar 5,97 μA, kemudian arus bocor naik ketika tegangan uji dinaikkan hingga saat tegangan uji sebesar 25 kV arus bocor yang mengalir sebesar 30,30 μA. Resistansi rata-rata objek uji sebesar $0,83 \times 10^9 \Omega$. Berdasarkan Tabel 4.2, maka dapat dibuat grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji untuk isolator polietilen Tipe B yang ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator Tipe B

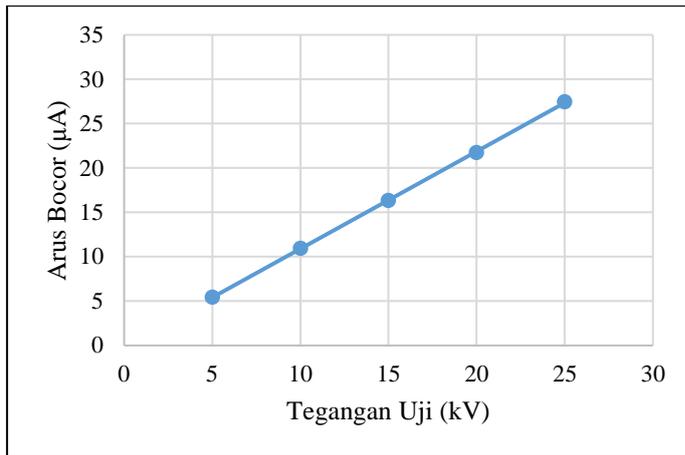
Dari Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa perubahan tegangan uji mempengaruhi nilai arus bocor pada isolator polietilen Tipe B, dimana semakin besar nilai tegangan uji yang diterapkan, maka semakin besar pula nilai arus bocornya. Arus bocor naik secara linear terhadap kenaikan tegangan uji, sehingga besar resistansi objek uji tetap.

Pengujian arus bocor yang ketiga dilakukan pada isolator polietilen Tipe C dengan jari-jari lengkungan sirip sebesar 4 cm dan jarak rambat tetap yaitu sebesar 15,5 cm. Besar tegangan uji yang diterapkan sama seperti sebelumnya. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali dan kemudian diambil nilai rata-ratanya. Data hasil pengujian arus bocor untuk isolator Tipe C dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data Hasil Pengujian Arus Bocor Isolator Polietilen Tipe C

Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor Rata-rata (μA)	Resistansi ($\times 10^9 \Omega$)
5	5,43	0,92
10	10,93	0,91
15	16,33	0,92
20	21,73	0,92
25	27,47	0,91
Rata-rata		0,92

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4.3, dapat dilihat bahwa pada isolator Tipe C jika diberi tegangan sebesar 5 kV maka timbul arus bocor sebesar 5,43 μA, kemudian arus bocor naik ketika tegangan uji dinaikkan hingga saat tegangan sebesar 25 kV arus bocor yang mengalir sebesar 27,47 μA. Resistansi rata-rata objek uji sebesar $0,92 \times 10^9 \Omega$. Berdasarkan Tabel 4.3, maka dapat dibuat grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji untuk isolator polietilen Tipe C yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator Tipe C

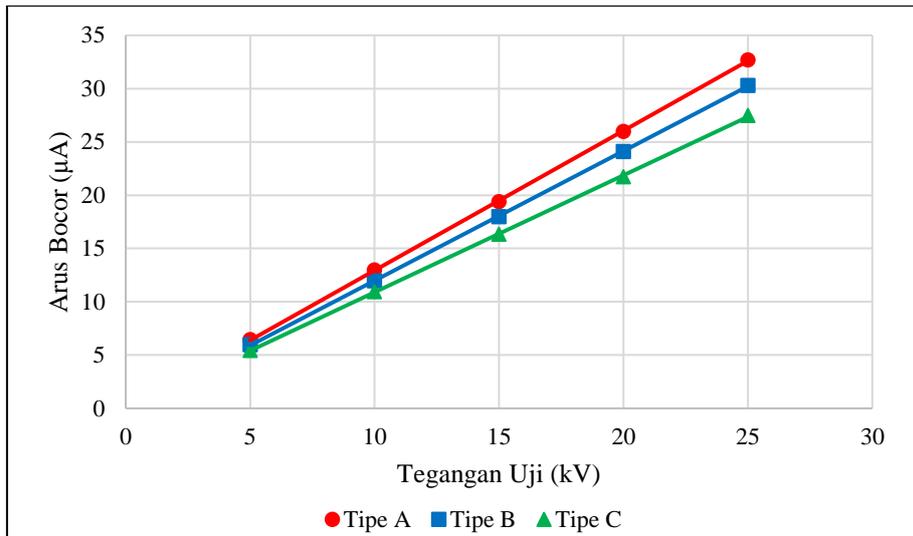
Pada Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa perubahan tegangan uji yang diterapkan mempengaruhi nilai arus bocor pada isolator polietilen Tipe C, dimana semakin besar nilai tegangan uji yang diterapkan, maka semakin besar pula nilai arus bocor yang dihasilkan. Arus bocor naik secara linear terhadap kenaikan tegangan uji, sehingga resistansi objek uji bernilai tetap.

Berdasarkan ketiga data hasil pengujian diatas, maka dapat dibandingkan besarnya arus bocor pada ketiga tipe isolator, yaitu Tipe A, Tipe B, dan Tipe C. Dimana masing-masing isolator tersebut memiliki bentuk kontur permukaan yang berbeda satu sama lain, tetapi ketiganya memiliki jarak rambat yang sama sebesar 15,5 cm. Pada Tabel 4.4 dibawah ini merupakan perbandingan nilai arus bocor dari isolator Tipe A, Tipe B, dan Tipe C.

Tabel 4.4 Nilai Arus Bocor Isolator Tipe A, Tipe B, dan Tipe C

Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (μA)		
	Tipe A	Tipe B	Tipe C
5	6,43	5,97	5,43
10	12,97	11,97	10,93
15	19,40	17,97	16,33
20	25,97	24,10	21,73
25	32,70	30,30	27,47

Dari hasil pengujian arus bocor yang ditampilkan pada Tabel 4.4 dibuat grafik agar dapat lebih mudah diamati perbedaan perubahan nilai arus bocor terhadap tegangan uji yang diterapkan pada masing-masing tipe isolator.



Gambar 4.7 Grafik nilai arus bocor isolator polietilen variasi panjang sirip

Pada Gambar 4.7 diatas terlihat bahwa pada level tegangan sama, isolator Tipe A memiliki nilai arus bocor tertinggi, sedangkan isolator Tipe C memiliki nilai arus bocor terendah. Resistansi objek uji terbesar dimiliki oleh isolator Tipe C dan resistansi terendah dimiliki oleh isolator tipe A. Pada pengujian ini, isolator dengan jarak rambat yang sama, namun dengan variasi jari-jari lengkungan sirip yang berbeda akan menghasilkan nilai arus bocor yang berbeda pula. Pada level tegangan yang sama, semakin besar jari-jari lengkungan sirip isolator, maka semakin kecil arus bocor yang ditimbulkan.

4.2.2 Pengaruh Jarak Vertikal terhadap Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip

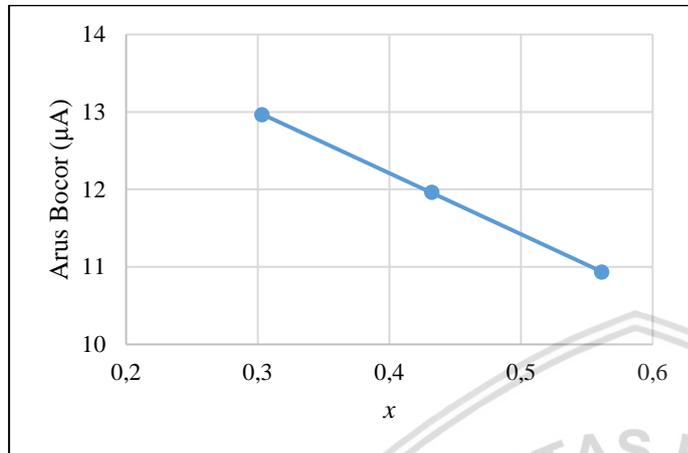
Isolator polietilen Tipe A, Tipe B, dan Tipe C memiliki besar jari-jari lengkungan sirip (R) yang berbeda-beda, namun ketiganya memiliki jarak rambat yang sama. Sehingga bentuk kontur permukaan isolator berbeda dan arus bocor yang timbul juga berbeda. Pada Tabel 4.5 ditunjukkan pengaruh perbandingan jarak vertikal (s_v) dengan jarak rambat (s_r) yang disebut sebagai x terhadap besarnya arus bocor pada tegangan uji 10 kV.

Tabel 4.5 Pengaruh Perbandingan Jarak Vertikal dengan Jarak Rambat terhadap Arus Bocor

Tipe Isolator	x	Arus Bocor (μA)
A ($R = 2$ cm)	0,30	12,97
B ($R = 3$ cm)	0,43	11,97
C ($R = 4$ cm)	0,56	10,93

Berdasarkan Tabel 4.5 diatas dapat dilihat bahwa arus bocor tertinggi dimiliki oleh isolator Tipe A yang memiliki jari-jari lengkungan sebesar 2 cm dan nilai x sebesar 0,30 dan

arus bocor terendah dimiliki oleh isolator Tipe C yang memiliki jari-jari lengkungan sebesar 4 cm dan nilai x sebesar 0,56. Semakin besar jari-jari lengkungan sirip (r) maka semakin besar pula nilai x . Dari Tabel 4.5 dapat dibuat grafik untuk mengetahui pengaruh nilai perbandingan x terhadap arus bocor pada isolator polietilen variasi panjang sirip.



Gambar 4.8 Grafik perbandingan jarak vertikal (s_v) dengan jarak rambat (s_r) terhadap arus bocor pada isolator polietilen variasi panjang sirip

Dari *Gambar 4.8* dapat dilihat bahwa semakin besar nilai perbandingan x maka semakin kecil arus bocor, yang artinya semakin besar perbandingan jarak vertikal (s_v) dengan jarak rambat (s_r) maka semakin kecil arus bocor yang timbul. Ketiga tipe isolator, yaitu Tipe A, Tipe B dan Tipe C memiliki jarak rambat yang sama, sehingga faktor yang berpengaruh dalam hal ini adalah jarak vertikal. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pada jarak rambat yang sama, semakin besar jarak vertikal (s_v) maka semakin kecil arus bocor yang timbul.

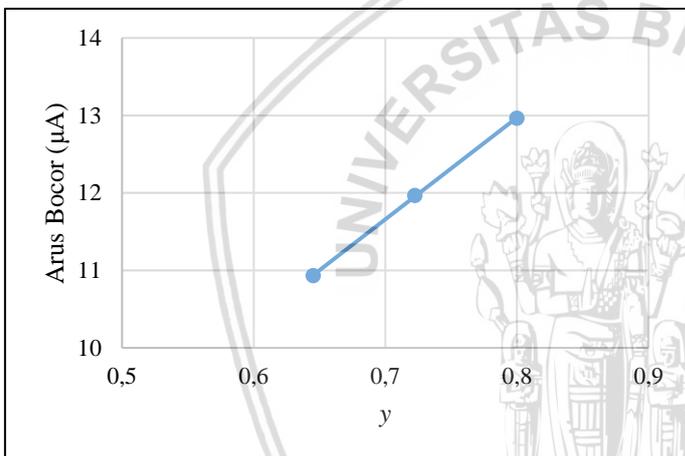
4.2.3 Pengaruh Jarak Horizontal terhadap Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip

Sama halnya dengan jarak vertikal, jarak horizontal dari isolator Tipe A, Tipe B, dan Tipe C juga berbeda-beda akibat dari perbedaan besarnya jari-jari lengkungan sirip (r). Perbedaan jarak horizontal ini juga mengakibatkan bentuk kontur permukaan masing-masing tipe isolator berbeda, sehingga besarnya arus bocor yang mengalir pada isolator tersebut juga berbeda. Perbandingan jarak horizontal (s_h) dengan jarak rambat (s_r) disebut sebagai y , perbandingannya terhadap besarnya arus bocor pada tegangan uji 10 kV ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Pengaruh Perbandingan Jarak Horizontal dengan Jarak Rambut terhadap Arus Bocor

Tipe Isolator	y	Arus Bocor (μA)
A ($R = 2 \text{ cm}$)	0,80	12,97
B ($R = 3 \text{ cm}$)	0,72	11,97
C ($R = 4 \text{ cm}$)	0,65	10,93

Dari Tabel 4.6 diatas dapat dilihat bahwa arus bocor tertinggi dimiliki oleh isolator Tipe A yang memiliki jari-jari lengkungan sebesar 2 cm dan nilai y sebesar 0,80 dan arus bocor terendah dimiliki oleh isolator Tipe C yang memiliki jari-jari lengkungan sebesar 4 cm dan nilai y sebesar 0,65. Semakin besar jari-jari lengkungan sirip (r) maka semakin kecil nilai perbandingan y . Berdasarkan Tabel 4.6 dapat dibuat grafik untuk mengetahui pengaruh nilai perbandingan y terhadap arus bocor pada isolator polietilen variasi panjang sirip.



Gambar 4.9 Grafik perbandingan jarak horizontal (s_h) dengan jarak rambut (s_r) terhadap arus bocor pada isolator polietilen variasi panjang sirip

Berdasarkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai perbandingan y maka semakin besar pula arus bocor. Dengan kata lain, bahwa semakin besar perbandingan jarak horizontal (s_h) dengan jarak rambut (s_r) maka semakin besar arus bocor yang timbul. Ketiga tipe isolator, yaitu Tipe A, Tipe B dan Tipe C memiliki jarak rambut yang sama, sehingga faktor yang berpengaruh dalam hal ini adalah jarak horizontal. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pada jarak rambut yang sama, semakin besar jarak horizontal (s_h) maka semakin besar arus bocor yang timbul.

4.2.4 Pengaruh Perbandingan Jarak Vertikal dengan Jarak Horizontal terhadap Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip

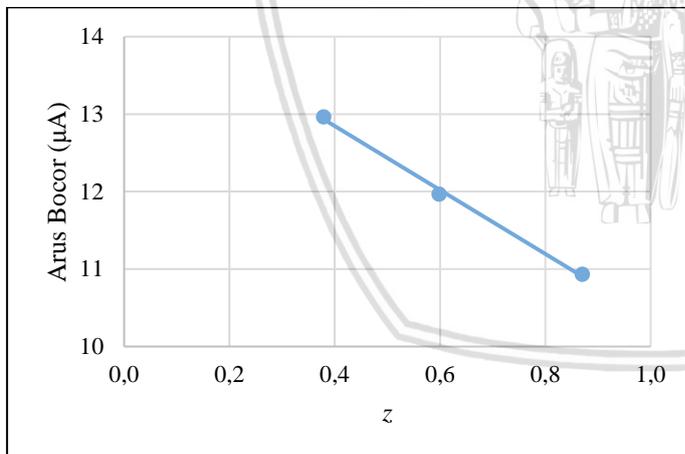
Tingkat arus bocor pada isolator Tipe A, Tipe B dan Tipe C berbeda-beda meskipun memiliki jarak rambut yang sama. Hal ini dikarenakan bentuk kontur permukaan isolator

tersebut berbeda, masing-masing memiliki jarak vertikal (s_v) dan jarak horizontal (s_h) yang berbeda. Nilai perbandingan antara jarak vertikal (s_v) dan jarak horizontal (s_h) disebut sebagai z . Pada Tabel 4.7 ditunjukkan nilai perbandingan z dan pengaruhnya terhadap arus bocor yang timbul pada tegangan uji 10 kV.

Tabel 4.7 Pengaruh Perbandingan Jarak Vertikal dengan Jarak Horizontal terhadap Arus Bocor

Tipe Isolator	z	Arus Bocor (μA)
A (R = 2 cm)	0,38	12,97
B (R = 3 cm)	0,60	11,97
C (R = 4 cm)	0,87	10,93

Dari Tabel 4.7 ditunjukkan bahwa arus bocor tertinggi dimiliki oleh isolator Tipe A yang memiliki jari-jari lengkungan sebesar 2 cm dan nilai z sebesar 0,38 dan arus bocor terendah dimiliki oleh isolator Tipe C yang memiliki jari-jari lengkungan sebesar 4 cm dan nilai x sebesar 0,87. Semakin besar jari-jari lengkungan sirip maka semakin besar pula nilai perbandingan jarak vertikal (s_v) dan jarak horizontal (s_h). Berdasarkan Tabel 4.7 dapat dibuat grafik untuk mengetahui pengaruh perbandingan z terhadap arus bocor pada tegangan uji 10 kV.



Gambar 4.10 Grafik perbandingan jarak vertikal (s_v) dan jarak horizontal (s_h) terhadap arus bocor pada isolator polietilen variasi panjang sirip

Dari grafik pada Gambar 4.10 dapat disimpulkan bahwa pada jarak rambat yang sama, semakin besar nilai perbandingan jarak vertikal (s_v) dan jarak horizontal (s_h) maka arus bocor yang timbul semakin kecil.

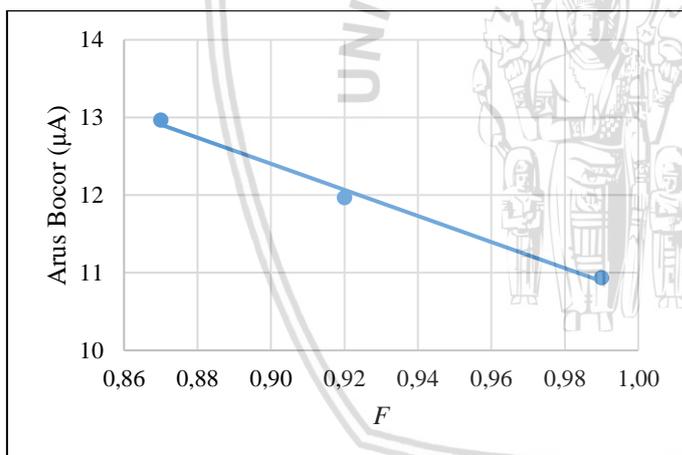
4.2.5 Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip

Setiap isolator memiliki nilai faktor bentuk (F), dimana nilai F akan membedakan suatu isolator dengan isolator lain. Isolator variasi panjang sirip memiliki bentuk yang berbeda satu sama lain, sehingga nilai faktor bentuknya juga berbeda-beda. Bentuk isolator ini mengakibatkan arus bocor yang mengalir pada isolator berbeda-beda. Pada Tabel 4.8 ditampilkan pengaruh faktor bentuk (F) terhadap besarnya arus bocor pada tegangan uji 10 kV.

Tabel 4.8 Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Arus Bocor

Tipe Isolator	F	Arus Bocor (μA)
A ($R = 2$ cm)	0,87	12,97
B ($R = 3$ cm)	0,92	11,97
C ($R = 4$ cm)	0,99	10,93

Dari Tabel 4.8 dapat dibuat grafik untuk mengetahui hubungan faktor bentuk (F) terhadap arus bocor seperti ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Grafik hubungan faktor bentuk terhadap arus bocor pada isolator polietilen variasi panjang sirip

Berdasarkan Gambar 4.11 dapat disimpulkan bahwa pada isolator variasi panjang sirip dan jarak rambat yang sama, semakin besar nilai faktor bentuk (F) maka semakin kecil arus bocor yang mengalir pada isolator.

4.3 Pengujian Tegangan *Flashover* pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip

Pengujian tegangan *flashover* dilakukan dengan memberikan tegangan bolak-balik secara terus-menerus dinaikkan pada isolator polietilen hingga terjadi korona dan dinaikkan kembali hingga terjadi *flashover*. Pada peristiwa *flashover* terjadi tembus listrik pada udara di sekitar permukaan isolator yang menimbulkan busur api yang menjembatani kedua

elektroda, dimana dalam pengujian ini menggunakan elektroda batang-batang. Tujuan pengujian tegangan *flashover* ini adalah untuk mengetahui kekuatan elektrik suatu bahan isolasi saat memikul tegangan tinggi, dimana semakin tinggi tingkat tegangan *flashover* maka isolator tersebut semakin baik.

4.3.1 Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip

Pengujian dilakukan pada isolator A dengan jari-jari lengkungan sebesar 2 cm dan jarak rambat 15,5 cm. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali kemudian diambil rata-ratanya. Dari pengujian yang telah dilakukan, diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 4.9 dibawah ini.

Tabel 4.9 Data Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* Isolator Polietilen Tipe A

Percobaan ke-	Tegangan Korona (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
1	31,64	66,72
2	36,91	57,95
3	34,92	64,53
Rata-rata	34,49	63,07

Berdasarkan data pada Tabel 4.9, dari ketiga percobaan diambil rata-ratanya sehingga diperoleh tegangan korona sebesar 34,49 kV dan tegangan *flashover* sebesar 63,07 kV. Peristiwa *flashover* yang terjadi pada isolator Tipe A dapat dilihat pada *Gambar 4.12* dibawah ini.



Gambar 4.12 Flashover pada Isolator Tipe A

Sumber: Pengujian

Kemudian pengujian dilakukan pada isolator Tipe B yang memiliki jari-jari lengkungan sebesar 3 cm dan jarak rambat yang sama yaitu 15,5 cm. Pengambilan data juga

dilakukan sebanyak 3 kali kemudian diambil rata-ratanya. Sehingga diperoleh hasil pengujian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4.10 Data Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* Isolator Polietilen Tipe B

Percobaan ke-	Tegangan Korona (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
1	35,47	70,08
2	35,54	61,62
3	35,12	70,19
Rata-rata	35,38	67,30

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4.10, dari ketiga percobaan tersebut diambil rata-ratanya, sehingga diperoleh tegangan korona sebesar 35,38 kV dan tegangan *flashover* sebesar 67,30 kV. Peristiwa *flashover* yang terjadi pada isolator Tipe B dapat dilihat pada Gambar 4.13 dibawah ini.



Gambar 4.13 *Flashover* pada Isolator Tipe B

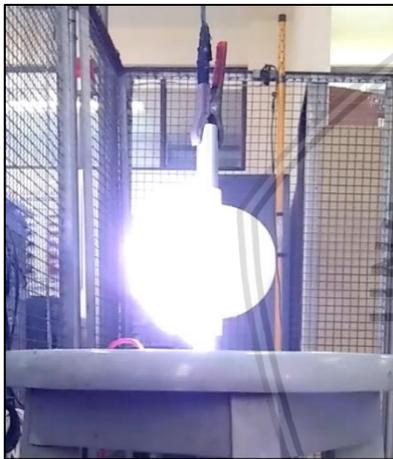
Sumber: Pengujian

Selanjutnya pengujian dilakukan pada isolator Tipe C dengan jari-jari lengkung sebesar 4 cm dan jarak rambat yang sama yaitu 15,5 cm. Pengambilan data juga dilakukan sebanyak 3 kali kemudian diambil rata-ratanya. Sehingga diperoleh data hasil pengujian seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 4.11 Data Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* Isolator Polietilen Tipe C

Percobaan ke-	Tegangan Korona (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
1	35,74	70,54
2	37,45	74,70
3	37,07	74,64
Rata-rata	36,75	73,29

Pada Tabel 4.11, dari ketiga percobaan tersebut diambil rata-ratanya, sehingga diperoleh tegangan korona sebesar 36,75 kV dan tegangan *flashover* sebesar 73,29 kV. Peristiwa *flashover* yang terjadi pada isolator Tipe C dapat dilihat pada *Gambar 4.14* dibawah ini.



Gambar 4.14 Flashover pada Isolator Tipe C

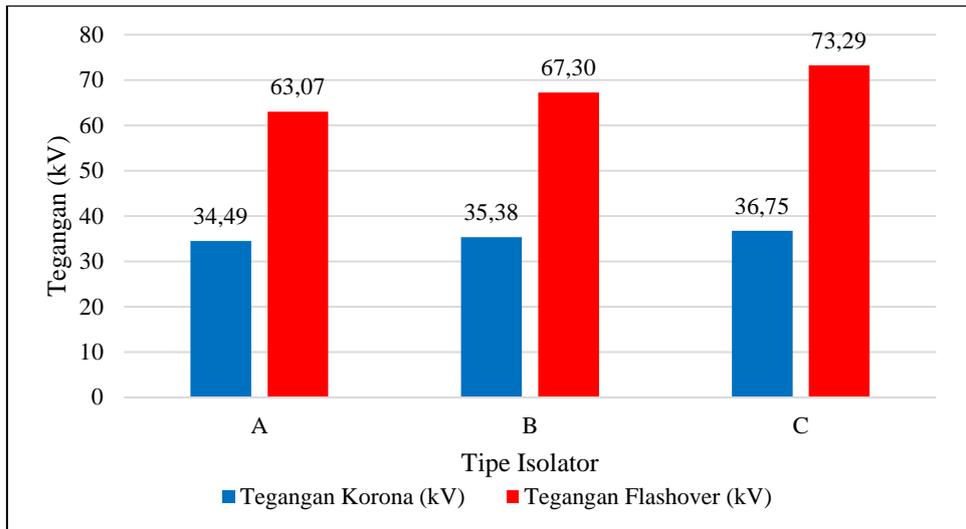
Sumber: Pengujian

Dari data hasil pengujian pada isolator Tipe A, Tipe B dan Tipe C dapat dibuat tabel untuk mengetahui perbedaannya seperti ditunjukkan pada Tabel 4.12 dibawah ini.

Tabel 4.12 Data Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip

Tipe Isolator	Tegangan Korona (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
A (R = 2 cm)	34,49	63,07
B (R = 3 cm)	35,38	67,30
C (R = 4 cm)	36,75	73,29

Berdasarkan hasil pengujian tegangan *flashover* yang ditampilkan pada Tabel 4.12 dibuat grafik agar dapat lebih mudah diamati perbedaan tegangan korona dan tegangan *flashover* masing-masing tipe isolator.



Gambar 4.15 Grafik tegangan korona dan tegangan *flashover* pada isolator polietilen variasi panjang sirip

Pada Gambar 4.15 ditunjukkan grafik tegangan korona dan tegangan *flashover* dari tiap tipe isolator variasi panjang sirip. Isolator Tipe A dengan jari-jari lengkungan sebesar 2 cm memiliki tegangan korona dan tegangan *flashover* paling rendah. Isolator Tipe C dengan jari-jari lengkungan sebesar 4 cm memiliki tegangan korona dan tegangan *flashover* paling tinggi. Maka dapat disimpulkan bahwa pada jarak rambat yang sama, semakin besar jari-jari lengkungan isolator maka semakin besar pula tegangan korona dan tegangan *flashover*nya.

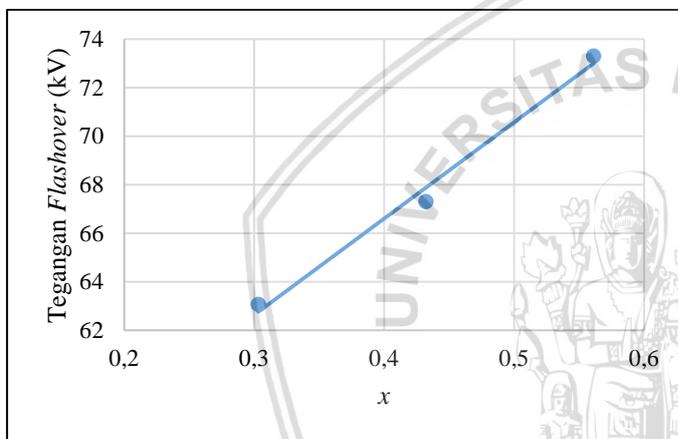
4.3.2 Pengaruh Jarak Vertikal terhadap Tegangan *Flashover* pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip

Isolator polietilen Tipe A, Tipe B, dan Tipe C memiliki besar jari-jari lengkungan sirip (R) yang berbeda-beda, namun ketiganya memiliki jarak rambat yang sama. Sehingga besarnya jarak vertikal (s_v) tiap tipe isolator berbeda-beda dan mengakibatkan tegangan *flashover* yang berbeda pula. Nilai perbandingan jarak vertikal (s_v) dengan jarak rambat (s_r) disebut sebagai x . Pada Tabel 4.13 ditunjukkan pengaruh nilai perbandingan x terhadap besarnya tegangan *flashover* yang dimiliki masing-masing tipe isolator.

Tabel 4.13 Pengaruh Perbandingan Jarak Vertikal dengan Jarak Rambat terhadap Tegangan *Flashover*

Tipe Isolator	x	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
A ($R = 2$ cm)	0,30	63,07
B ($R = 3$ cm)	0,43	67,30
C ($R = 4$ cm)	0,56	73,29

Berdasarkan Tabel 4.13 ditunjukkan bahwa isolator Tipe A dengan jari-jari lengkungan sirip sebesar 2 cm dan nilai x sebesar 0,30, memiliki tingkat tegangan *flashover* terendah, yaitu sebesar 63,07 kV. Sedangkan isolator Tipe C dengan jari-jari lengkungan sebesar 4 cm dan nilai x sebesar 0,56, memiliki tingkat tegangan *flashover* tertinggi, yaitu sebesar 73,29 kV. Isolator Tipe A memiliki jarak vertikal paling kecil, sedangkan isolator Tipe C memiliki jarak vertikal paling besar. Dimana semakin besar jarak vertikal maka semakin besar pula nilai perbandingan jarak vertikal dengan jarak rambat. Dengan demikian, semakin besar jari-jari lengkungan sirip (r) maka semakin besar pula jarak vertikal (s_v) dan nilai perbandingan x . Dari Tabel 4.13 dapat dibuat grafik untuk mengetahui pengaruh perbandingan jarak vertikal (s_v) dengan jarak rambat (s_r) terhadap tegangan *flashover* pada isolator polietilen variasi panjang sirip.



Gambar 4.16 Grafik perbandingan jarak vertikal (s_v) dengan jarak rambat (s_r) terhadap tegangan *flashover* pada isolator polietilen variasi panjang sirip

Dari Gambar 4.16 dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai perbandingan x maka semakin besar pula tingkat tegangan *flashover* yang dimiliki oleh tipe isolator. Karena jarak rambat masing-masing tipe isolator sama, maka dalam hal ini jarak vertikal yang berpengaruh terhadap tingkat tegangan *flashover*. Sehingga semakin besar jarak vertikal maka semakin besar pula tingkat tegangan *flashover* isolator.

4.3.3 Pengaruh Jarak Horizontal terhadap Tegangan *Flashover* pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip

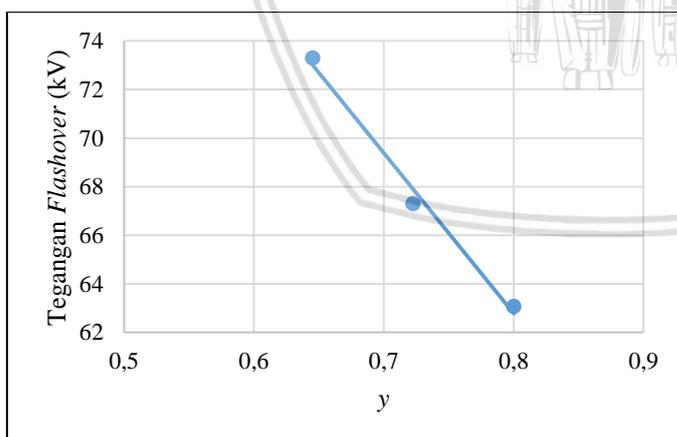
Jarak horizontal pada isolator Tipe A, Tipe B, dan Tipe C juga berbeda-beda akibat dari perbedaan besarnya jari-jari lengkungan sirip (R). Hal ini mengakibatkan besarnya tegangan *flashover* yang dimiliki isolator tersebut juga berbeda. Nilai perbandingan jarak horizontal (s_h) dengan jarak rambat (s_r) disebut sebagai y . Pada Tabel 4.14 ditunjukkan

pengaruh perbandingan jarak horizontal (s_h) dengan jarak rambat (s_r) terhadap besarnya tegangan *flashover*.

Tabel 4.14 Pengaruh Perbandingan Jarak Horizontal (s_h) dengan Jarak Rambat (s_r) terhadap Tegangan *Flashover*

Type Isolator	y	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
A (R = 2 cm)	0,80	63,07
B (R = 3 cm)	0,72	67,30
C (R = 4 cm)	0,65	73,29

Berdasarkan Tabel 4.14 ditunjukkan bahwa isolator Tipe A dengan jari-jari lengkungan sirip sebesar 2 cm dan y sebesar 0,80, memiliki tingkat tegangan *flashover* terendah, yaitu sebesar 63,07 kV. Sedangkan untuk isolator Tipe C dengan jari-jari lengkungan sebesar 4 cm dan y sebesar 0,65, memiliki tingkat tegangan *flashover* tertinggi, yaitu sebesar 73,29 kV. Isolator Tipe A memiliki jarak horizontal paling besar, sedangkan isolator Tipe C memiliki jarak horizontal paling kecil. Dimana semakin besar jarak horizontal maka semakin kecil nilai perbandingan y . Dengan demikian, semakin besar jari-jari lengkungan sirip (r) maka semakin besar pula jarak horizontal dan nilai perbandingan y . Dari Tabel 4.14 dapat dibuat grafik untuk mengetahui pengaruh perubahan perbandingan y terhadap tegangan *flashover* pada isolator polietilen variasi panjang sirip seperti ditunjukkan pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Grafik perbandingan jarak horizontal (s_h) dengan jarak rambat (s_r) terhadap tegangan *flashover* pada isolator polietilen variasi panjang sirip

Dari Gambar 4.17 dapat disimpulkan bahwa semakin besar perbandingan jarak horizontal dengan jarak rambat atau nilai perbandingan y , maka tingkat tegangan *flashover* isolator semakin kecil. Karena jarak rambat masing-masing tipe isolator sama, maka dalam hal ini jarak horizontal yang berpengaruh terhadap tingkat tegangan *flashover*. Sehingga

dapat disimpulkan bahwa pada jarak rambat yang sama, semakin besar jarak horizontal (s_h) maka tingkat tegangan *flashover* isolator semakin kecil.

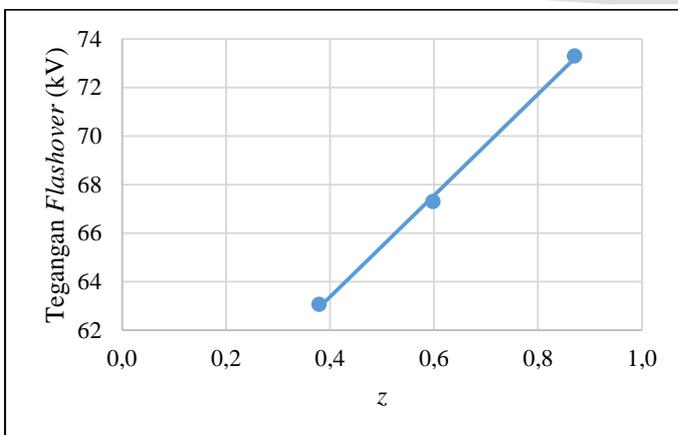
4.3.4 Pengaruh Perbandingan Jarak Vertikal dengan Jarak Horizontal terhadap Tegangan *Flashover* pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip

Jarak vertikal dan jarak horizontal isolator Tipe A, Tipe B, dan Tipe C yang berbeda-beda menyebabkan tegangan *flashover* yang dimiliki masing-masing isolator tersebut juga berbeda. Perbandingan jarak vertikal (s_v) dengan jarak horizontal (s_h) disebut sebagai z . Pada Tabel 4.15 ditunjukkan nilai perbandingan z dan pengaruhnya terhadap tegangan *flashover* yang dimiliki masing-masing tipe isolator.

Tabel 4.15 Pengaruh Perbandingan Jarak Vertikal dengan Jarak Horizontal terhadap Tegangan *Flashover*

Type Isolator	z	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
A (R = 2 cm)	0,38	63,07
B (R = 3 cm)	0,60	67,30
C (R = 4 cm)	0,87	73,29

Berdasarkan data pada Tabel 4.15 dapat dilihat bahwa untuk isolator Tipe A dengan perbandingan z sebesar 0,38, memiliki tingkat tegangan *flashover* terendah, yaitu sebesar 63,07 kV. Sedangkan isolator Tipe C dengan perbandingan z sebesar 0,87, memiliki tingkat tegangan *flashover* tertinggi, yaitu sebesar 73,29 kV. Dengan demikian pada jarak rambat yang sama, semakin besar jari-jari lengkungan sirip maka semakin besar pula perbandingan jarak vertikal dengan jarak horizontal. Berdasarkan Tabel 4.15 dapat dibuat grafik untuk mengetahui pengaruh perbandingan jarak vertikal (s_v) dengan jarak horizontal (s_h) terhadap arus bocor pada isolator polietilen variasi panjang sirip.



Gambar 4.18 Grafik perbandingan jarak vertikal (s_v) dengan jarak horizontal (s_h) terhadap tegangan *flashover*

Pada *Gambar 4.18* dapat disimpulkan bahwa pada jarak rambat yang sama, semakin besar perbandingan jarak vertikal (s_v) dengan jarak horizontal (s_h) maka tegangan *flashover* isolator semakin besar.

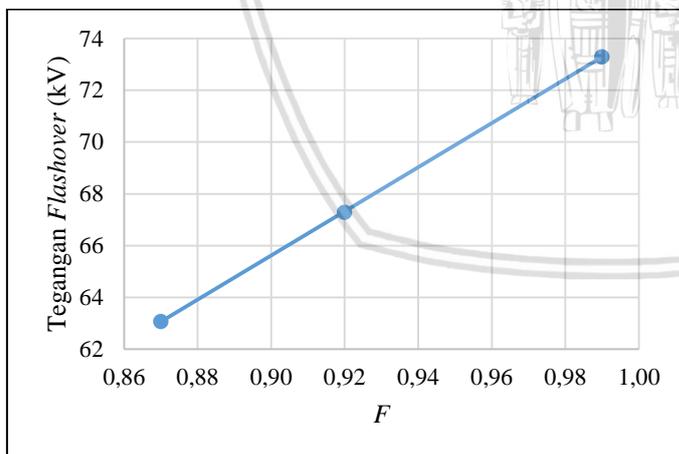
4.3.5 Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Tegangan *Flashover* pada Isolator Polietilen Variasi Panjang Sirip

Tegangan *flashover* tiap isolator variasi panjang berbeda-beda, hal ini diakibatkan oleh bentuk kontur tiap isolator berbeda. Nilai faktor bentuk (F) pada isolator variasi panjang juga berbeda-beda, yaitu isolator Tipe A memiliki nilai $F = 0,87$, isolator Tipe B memiliki nilai $F = 0,92$, dan isolator Tipe C memiliki nilai $F = 0,99$. Pada Tabel 4.16 ditampilkan pengaruh nilai faktor bentuk terhadap tegangan *flashover* masing-masing isolator.

Tabel 4.16 Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Tegangan *Flashover*

Tipe Isolator	F	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
A (R = 2 cm)	0,87	63,07
B (R = 3 cm)	0,92	67,30
C (R = 4 cm)	0,99	73,29

Berdasarkan Tabel 4.16 maka dapat dibuat grafik untuk mengetahui pengaruh nilai faktor bentuk (F) terhadap besar tegangan *flashover*, seperti ditunjukkan oleh grafik pada *Gambar 4.19* dibawah ini.

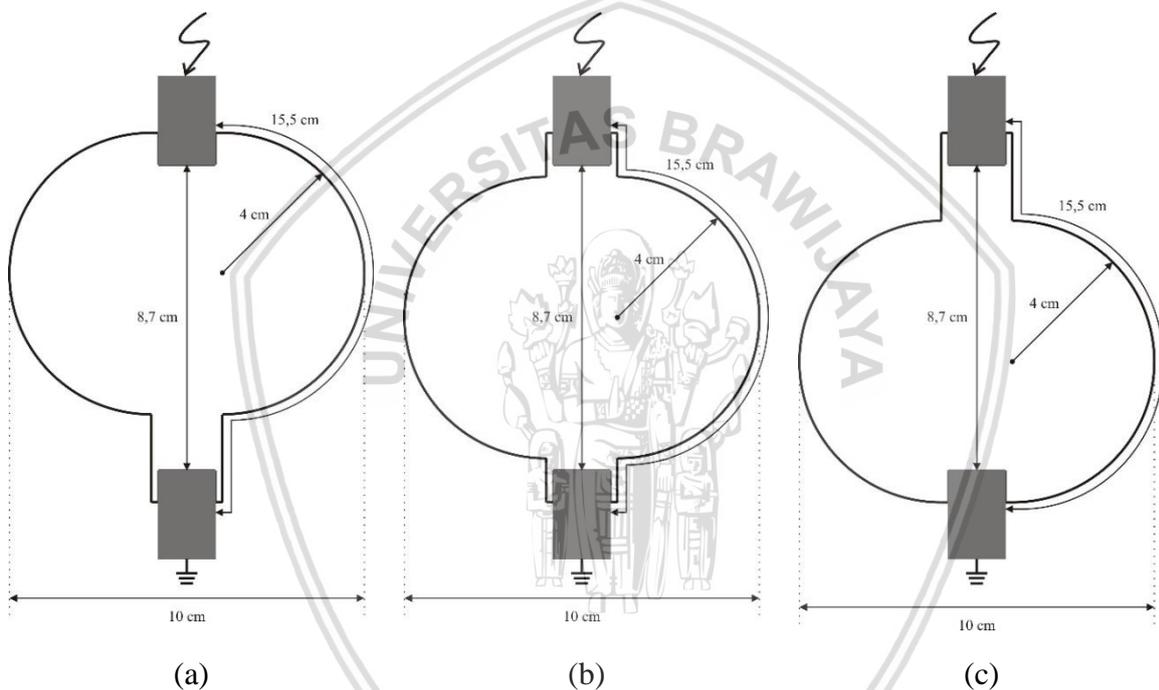


Gambar 4.19 Grafik hubungan faktor bentuk terhadap tegangan *flashover* pada isolator polietilen variasi panjang sirip

Dari *Gambar 4.19* dapat disimpulkan bahwa pada isolator variasi panjang sirip dengan jarak rambat yang sama, semakin besar nilai faktor bentuk (F) maka semakin besar pula tegangan *flashover* isolator.

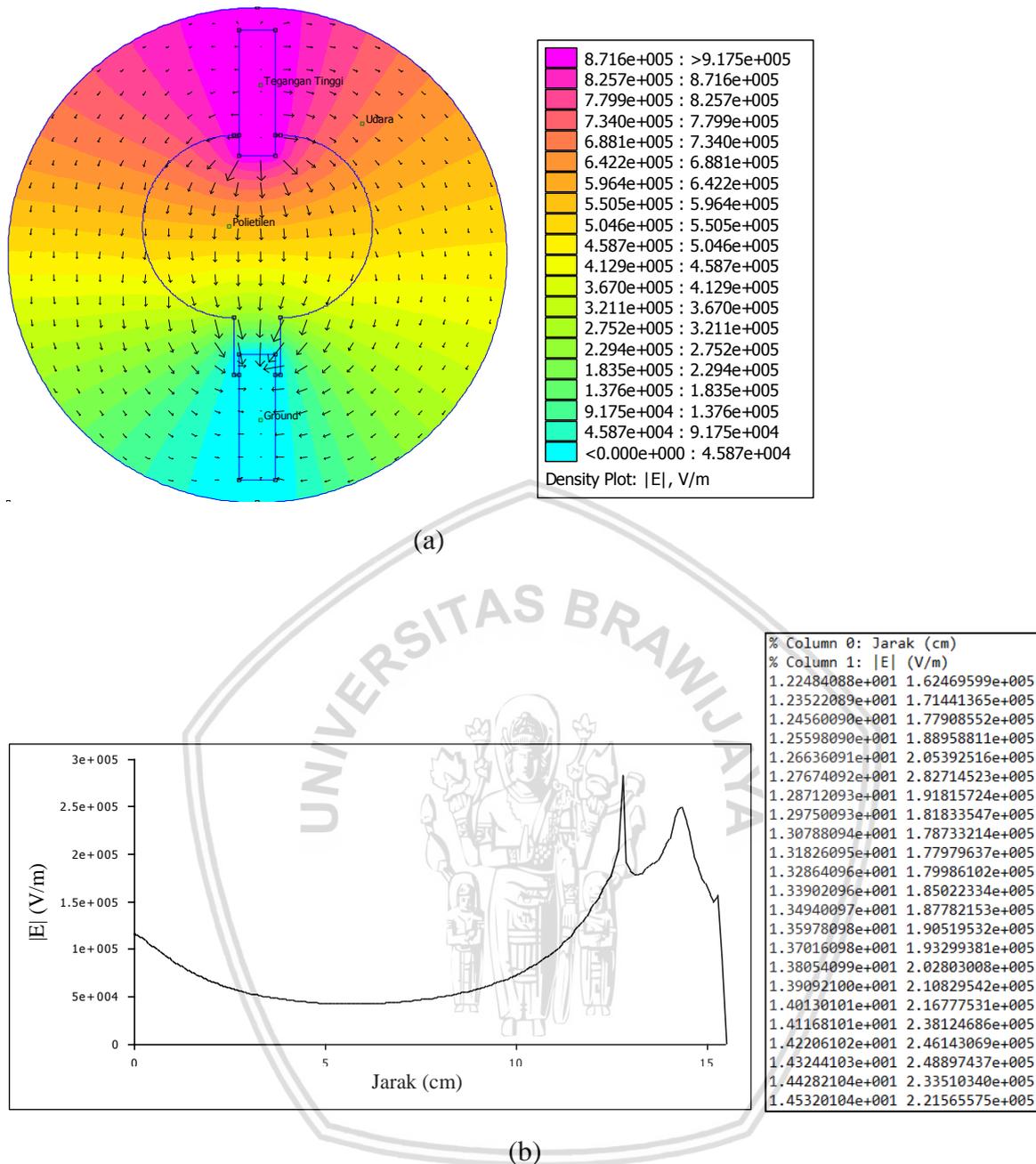
4.4 Simulasi Distribusi Medan Listrik pada Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip

Pengujian variasi panjang sirip menjadi dasar dari pengujian variasi posisi sirip, dimana isolator pada variasi panjang sirip yang memiliki arus bocor paling kecil dan tegangan *flashover* paling besar akan dijadikan sebagai dasar pembuatan isolator variasi posisi sirip. Isolator tersebut adalah isolator Tipe C, sehingga kemudian isolator Tipe C divariasikan posisi siripnya. Isolator dengan posisi lengkungan berada di atas (dekat elektroda sisi tegangan tinggi) disebut sebagai isolator Tipe C1, isolator dengan posisi lengkungan di tengah disebut sebagai isolator Tipe C2 dan isolator dengan posisi lengkungan di bawah (dekat elektroda sisi ground) disebut sebagai isolator Tipe C3. Bentuk kontur isolator Tipe C1, C2 dan C3 dapat dilihat pada *Gambar 4.20*.



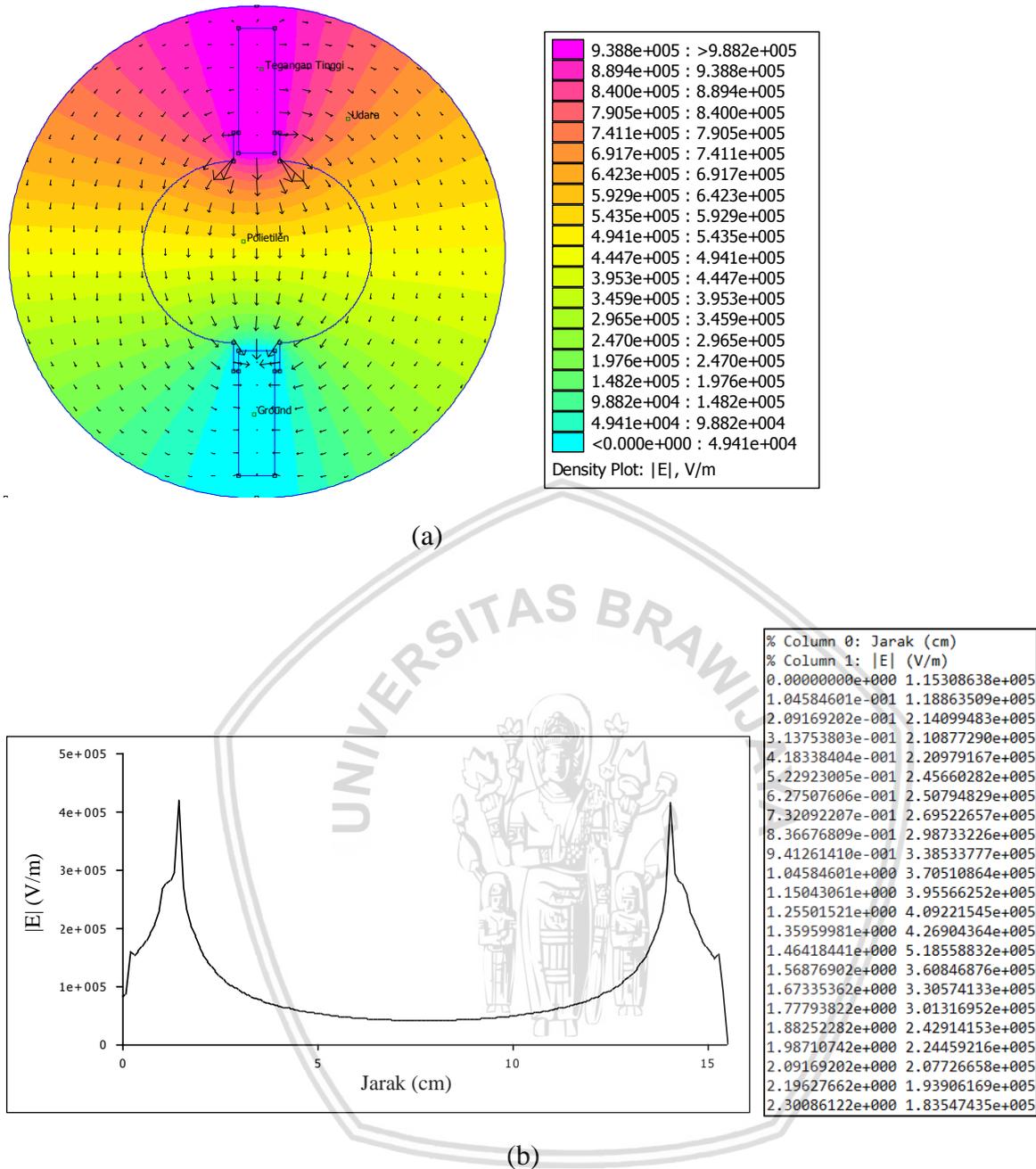
Gambar 4.20 Penampang bentuk kontur isolator Tipe C1 (a), Tipe C2 (b) dan Tipe C3 (c)

Selanjutnya simulasi dilakukan untuk isolator variasi posisi sirip, yaitu isolator Tipe C1 dengan posisi sirip di atas dekat elektroda tegangan tinggi, isolator Tipe C2 dengan posisi sirip berada di tengah dan isolator Tipe C3 dengan posisi sirip berada dibawah dekat dengan elektroda *ground*. Untuk simulasi isolator Tipe C2 telah dilakukan pada simulasi untuk isolator variasi panjang sirip. Hasil simulasi untuk variasi posisi sirip ditampilkan pada gambar berikut.



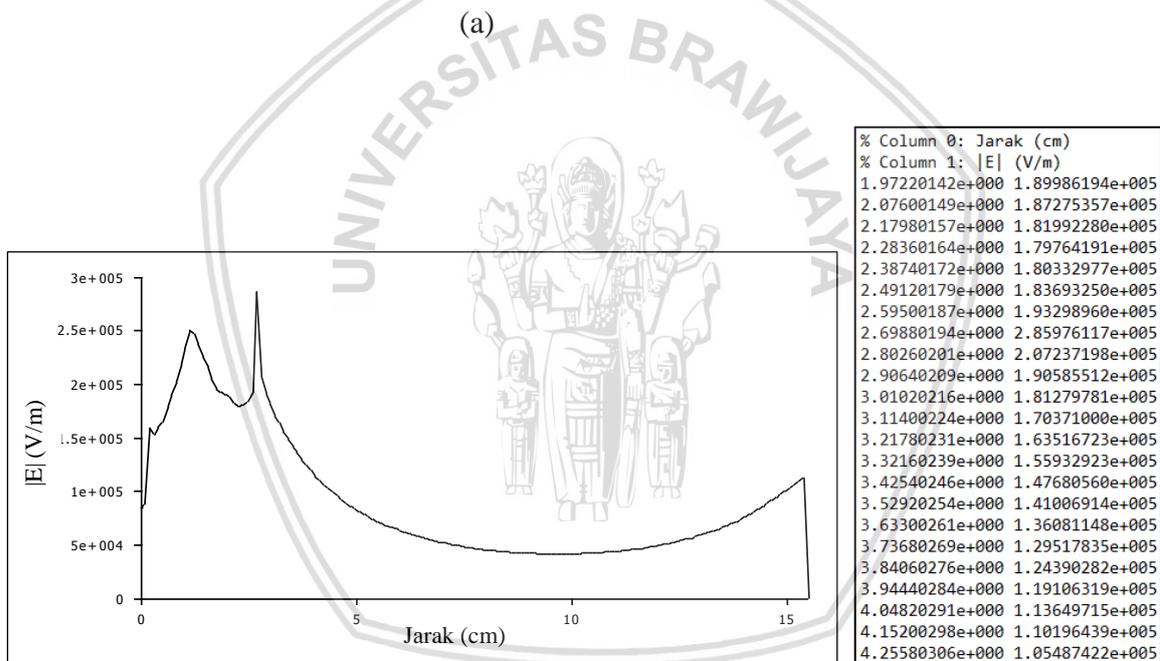
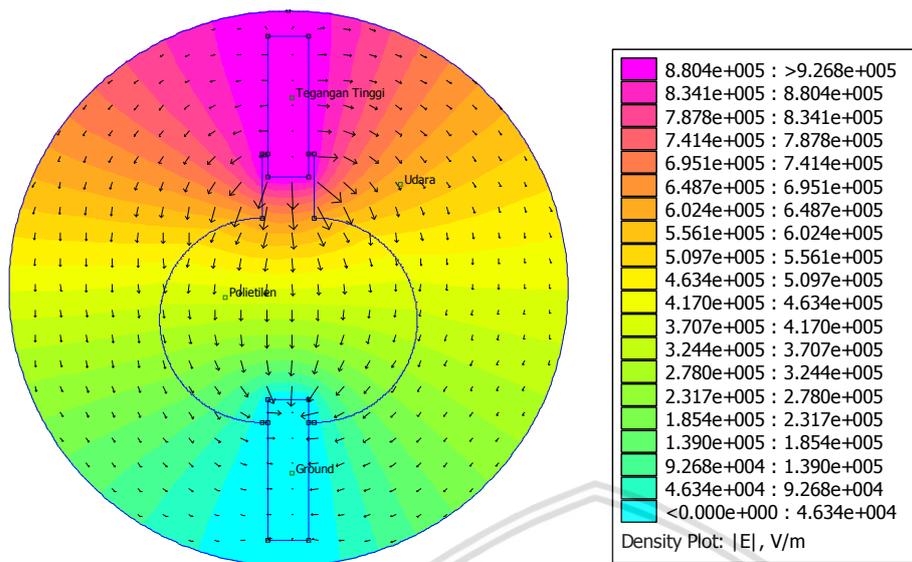
Gambar 4.21 Distribusi medan listrik (a) dan grafik kuat medan listrik isolator Tipe C1 (b)

Pada Gambar 4.21 (a) ditampilkan distribusi medan listrik isolator Tipe C1, dimana warna merah menunjukkan distribusi medan listrik yang tinggi dan warna biru menunjukkan distribusi medan rendah. Nilai kuat medan listrik di sepanjang permukaan isolator ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.21 (b), terdapat nilai kuat medan listrik yang sama pada beberapa titik jarak karena bentuk kontur permukaan pada bagian lengkungan sirip isolator yang simetris. Dari simulasi, diperoleh nilai kuat medan listrik maksimum sebesar 2,827 kV/cm. Melalui perhitungan menggunakan persamaan (3-3), dengan E_{maksimum} sebesar 2,827 kV/cm, diperoleh tingkat homogenitas, η sebesar 0,228.



Gambar 4.22 Distribusi medan listrik (a) dan grafik kuat medan listrik isolator Tipe C2 (b)

Pada Gambar 4.22 (a) ditampilkan distribusi medan listrik isolator Tipe A, dimana warna merah menunjukkan distribusi medan listrik yang tinggi dan warna biru menunjukkan distribusi medan rendah. Nilai kuat medan listrik di sepanjang permukaan isolator ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.22 (b). Terdapat nilai kuat medan listrik yang sama pada beberapa titik jarak karena bentuk kontur permukaan isolator yang simetris. Nilai kuat medan listrik maksimum yaitu sebesar 4,355 kV/cm, terjadi pada jarak 1,46 cm dan 14,07 cm dari elektroda tegangan tinggi. Melalui perhitungan menggunakan persamaan (3-3), dengan E_{maksimum} sebesar 4,191 kV/cm, diperoleh tingkat homogenitas, η sebesar 0,154.



(b)

Gambar 4.23 Distribusi medan listrik (a) dan grafik kuat medan listrik isolator Tipe C3 (b)

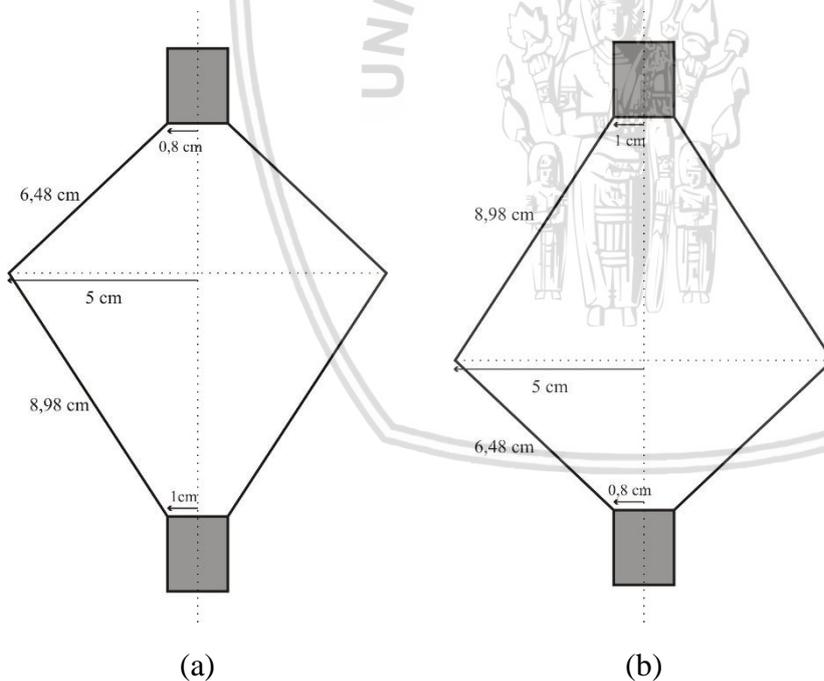
Pada Gambar 4.23 (a) ditampilkan distribusi medan listrik isolator Tipe C3, dimana warna merah menunjukkan distribusi medan listrik yang tinggi dan warna biru menunjukkan distribusi medan rendah. Nilai kuat medan listrik di sepanjang permukaan isolator ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.23 (b), terdapat nilai kuat medan listrik yang sama pada beberapa titik jarak karena bentuk kontur permukaan pada bagian lengkungan sirip isolator yang simetris. Dari simulasi, diperoleh nilai kuat medan listrik maksimum sebesar

2,860 kV/cm. Melalui perhitungan menggunakan persamaan (3-3), dengan E_{maksimum} sebesar 2,860 kV/cm, diperoleh tingkat homogenitas, η sebesar 0,226.

Kuat medan listrik maksimum tiap tipe isolator berbeda akibat bentuk konturnya. Untuk kuat medan rata-rata tiap isolator sama, karena tegangan dan jarak rambat yang digunakan juga sama. Sehingga semakin kecil kuat medan listrik maksimum maka tingkat homogenitas isolator semakin besar. Tingkat homogenitas tertinggi dimiliki oleh Tipe C1 dengan posisi sirip berada di atas dekat elektroda tegangan tinggi, sedangkan tingkat homogenitas terendah dimiliki oleh Tipe C2 dengan posisi sirip berada di tengah antara elektroda tegangan tinggi dan elektroda *ground*.

4.5 Pengujian Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip

Pengujian arus bocor untuk variasi posisi sirip dilakukan untuk Tipe C1 dan C3, karena isolator Tipe C2 pengujiannya telah dilakukan pada pengujian variasi panjang sirip. Bentuk isolator Tipe C1 dan Tipe C3 pada *Gambar 4.20* dapat disederhanakan menjadi *Gambar 4.24*, kemudian dihitung faktor bentuknya menggunakan persamaan (2-3). Dari perhitungan diperoleh nilai faktor bentuk isolator Tipe C1 $F = 1,03$ dan isolator Tipe C3 $F = 1,03$.



Gambar 4.24 Model sederhana isolator Tipe C1 (a) dan Tipe C3 (b)

4.5.1 Hasil Pengujian Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip

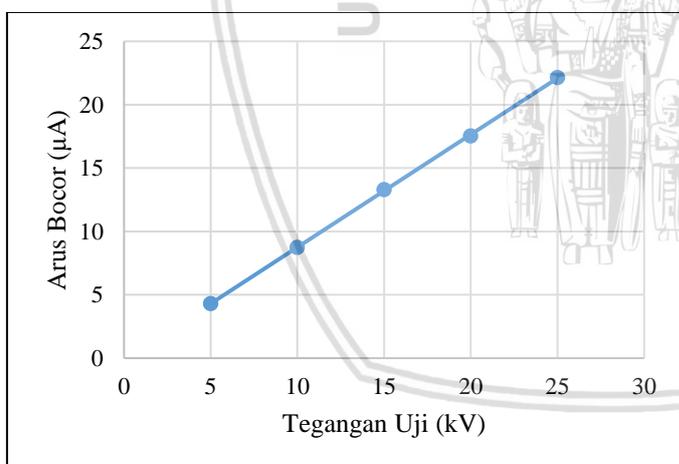
Pengujian yang pertama dilakukan pada isolator Tipe C1. Isolator diberi tegangan uji sebesar 5 kV sampai 25 kV dengan rentang tegangan 5 kV tiap pengujian. Elektroda yang digunakan yaitu elektroda batang-batang. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali, agar

hasil yang didapatkan lebih akurat. Data hasil pengujian untuk isolator Tipe C1 dapat dilihat pada Tabel 4.17 di bawah ini.

Tabel 4.17 Data Hasil Pengujian Arus Bocor Isolator Polietilen Tipe C1

Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor Rata-rata (μA)	Resistansi ($\times 10^9 \Omega$)
5	4,30	1,16
10	8,73	1,15
15	13,30	1,13
20	17,53	1,14
25	22,13	1,13
Rata-rata		1,14

Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4.17, terlihat bahwa pada isolator Tipe C1 jika diberi tegangan uji sebesar 5 kV maka timbul arus bocor sebesar 4,30 μA . Kemudian tegangan uji dinaikkan dan arus bocor juga naik, hingga pada tegangan uji sebesar 25 kV arus bocor yang timbul sebesar 22,13 μA . Resistansi rata-rata isolator Tipe C1 sebesar 1,14 $\times 10^9 \Omega$. Dari data pada Tabel 4.17, maka dapat dibuat grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji untuk isolator polietilen Tipe C1 yang ditunjukkan pada *Gambar 4.25*.



Gambar 4.25 Grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator Tipe C1

Dari grafik pada *Gambar 4.25* dapat disimpulkan bahwa perubahan tegangan uji mempengaruhi tingkat arus bocor pada isolator polietilen Tipe C1, dimana semakin besar nilai tegangan uji yang diterapkan, maka semakin besar pula nilai arus bocornya. Arus bocor naik secara linear terhadap kenaikan tegangan uji, sehingga nilai resistansi objek uji tetap.

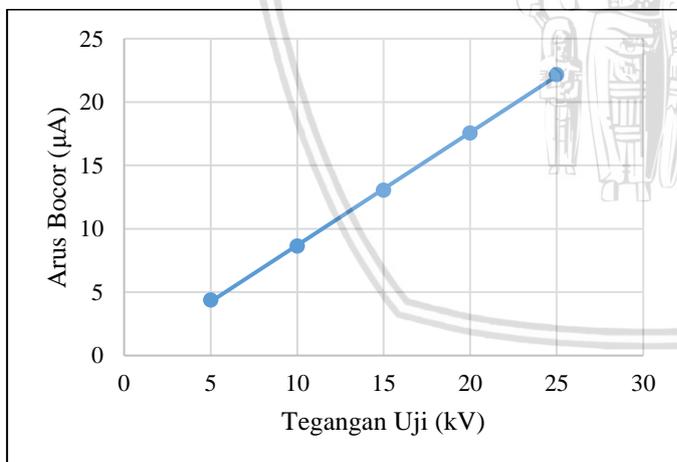
Selanjutnya pengujian arus bocor yang kedua dilakukan pada isolator polietilen tipe C3. Tegangan uji yang diterapkan sama seperti sebelumnya yaitu sebesar 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, dan 25 kV. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali dan kemudian diambil

nilai rata-ratanya. Data hasil pengujian arus bocor untuk isolator Tipe C3 dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Data Hasil Pengujian Arus Bocor Isolator Polietilen Tipe C3

Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor Rata-rata (μA)	Resistansi ($\times 10^9 \Omega$)
5	4,37	1,15
10	8,63	1,16
15	13,03	1,15
20	17,57	1,14
25	22,17	1,13
Rata-rata		1,14

Dari data hasil pengujian pada Tabel 4.18, terlihat bahwa pada isolator Tipe C3 jika diberi tegangan sebesar 5 kV maka timbul arus bocor sebesar 4,37 μA , kemudian arus bocor terus naik seiring kenaikan tegangan uji yang diterapkan, hingga pada saat tegangan uji sebesar 25 kV arus bocor yang timbul sebesar 22,17 μA . Resistansi rata-rata isolator Tipe C3 sebesar $1,14 \times 10^9 \Omega$. Berdasarkan data hasil pengujian pada Tabel 4.18, maka dapat dibuat grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji untuk isolator polietilen Tipe C3 yang ditunjukkan pada *Gambar 4.26* di bawah ini.



Gambar 4.26 Grafik hubungan arus bocor terhadap tegangan uji pada isolator Tipe C3

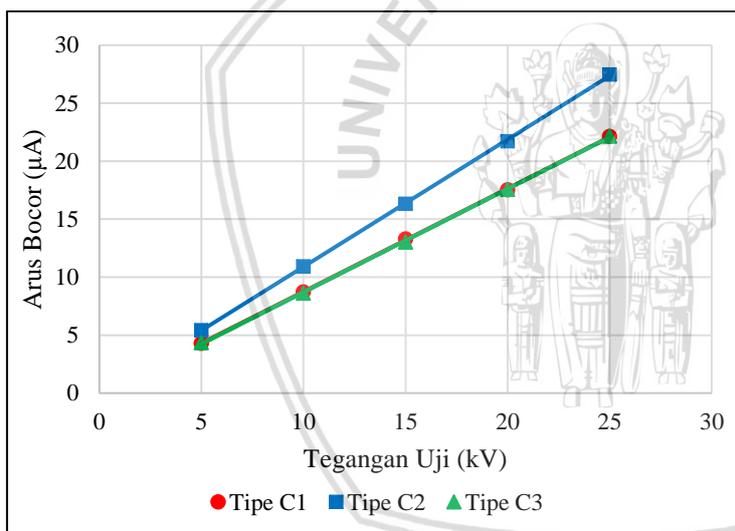
Berdasarkan *Gambar 4.26* dapat disimpulkan bahwa perubahan tegangan uji mempengaruhi tingkat arus bocor pada isolator polietilen Tipe C3, dimana semakin besar nilai tegangan uji yang diterapkan, maka semakin besar pula nilai arus bocor yang timbul. Arus bocor naik secara linear terhadap kenaikan tegangan uji, sehingga resistansi objek uji bernilai tetap.

Berdasarkan data pengujian arus bocor untuk isolator Tipe C1, Tipe C2 dan Tipe C3, maka dapat dibandingkan besarnya arus bocor pada ketiga tipe isolator. Bentuk kontur permukaan tiap tipe berbeda karena posisi lengkungannya berbeda. Pada tabel dibawah ini merupakan perbandingan nilai arus bocor dari isolator Tipe C1, Tipe C2 dan Tipe C3.

Tabel 4.19 Nilai Arus Bocor Isolator Tipe C1, Tipe C2, dan Tipe C3

Tegangan Uji (kV)	Arus Bocor (μA)		
	Tipe C1	Tipe C2	Tipe C3
5	4,30	5,43	4,37
10	8,73	10,93	8,63
15	13,30	16,33	13,03
20	17,53	21,73	17,57
25	22,13	27,47	22,17

Dari hasil pengujian arus bocor yang ditampilkan pada Tabel 4.19 dibuat grafik agar dapat lebih mudah diamati perbedaan perubahan nilai arus bocor terhadap tegangan uji.



Gambar 4.27 Grafik perbandingan nilai arus bocor isolator polietilen variasi posisi sirip

Dari grafik pada Gambar 4.27 diatas terlihat bahwa tingkat arus bocor tertinggi dimiliki oleh isolator Tipe C2 yang memiliki sirip di tengah. Sedangkan tingkat arus bocor terendah dimiliki oleh isolator Tipe C1 yang memiliki sirip di atas.

4.5.2 Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Arus Bocor pada Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip

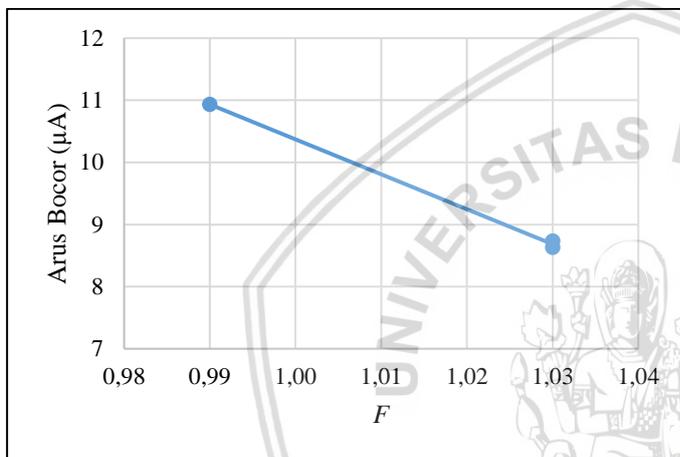
Isolator Tipe C1 dan C3 memiliki besar nilai faktor bentuk (F) yang sama, tetapi berbeda dengan nilai faktor bentuk C2. Untuk isolator Tipe C1 dan Tipe C3 memiliki nilai faktor bentuk, $F = 1,03$. Sedangkan untuk isolator Tipe C3 memiliki nilai faktor bentuk, $F =$

0,99. Pada Tabel 4.20 ditunjukkan pengaruh nilai faktor bentuk terhadap arus bocor pada tegangan uji 10 kV untuk isolator variasi posisi sirip.

Tabel 4.20 Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Arus Bocor

Tipe Isolator	F	Arus Bocor (μA)
C1	1,03	8,73
C2	0,99	10,93
C3	1,03	8,63

Dari Tabel 4.20 dapat dilihat bahwa untuk arus bocor isolator Tipe C1 dan Tipe C3 memiliki selisih arus bocor yang kecil yaitu sebesar $0,1 \mu\text{A}$. Kemudian dari tabel diatas maka dapat dibuat grafik untuk mengetahui hubungan nilai faktor bentuk dengan arus bocor.



Gambar 4.28 Grafik hubungan faktor bentuk terhadap arus bocor pada isolator polietilen variasi posisi sirip

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.28 dapat disimpulkan bahwa pada isolator variasi posisi sirip dengan jarak rambat yang sama, semakin besar nilai faktor bentuk (F) maka semakin kecil arus bocor yang mengalir pada isolator.

4.6 Pengujian Tegangan *Flashover* pada Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip

Pengujian tegangan *flashover* yang dilakukan sama dengan yang dilakukan pada pengujian tegangan *flashover* isolator variasi posisi sirip. Isolator yang diuji yaitu Tipe C1 dan Tipe C3, dimana isolator diberi tegangan bolak-balik secara terus-menerus dinaikkan pada isolator polietilen hingga terjadi *flashover*. Tujuan pengujian tegangan *flashover* ini adalah untuk mengetahui kekuatan elektrik suatu bahan isolasi saat memikul tegangan tinggi, dimana semakin tinggi tingkat tegangan *flashover* maka isolator tersebut semakin baik.

4.6.1 Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* pada Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip

Pengujian dilakukan pada isolator C1 dengan posisi lengkungan di atas (dekat dengan elektroda sisi tegangan tinggi) dan jarak rambat 15,5 cm. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali kemudian diambil rata-ratanya. Dari pengujian yang telah dilakukan, diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 4.21 dibawah ini.

Tabel 4.21 Data Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* Isolator Polietilen Tipe C1

Percobaan ke-	Tegangan Korona (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
1	40,95	96,82
2	56,43	97,28
3	48,68	97,04
Rata-rata	48,69	97,05

Berdasarkan data pengujian pada Tabel 4.21 dapat dilihat bahwa pada ketiga percobaan tersebut diambil rata-rata sehingga diperoleh tegangan korona sebesar 48,69 kV dan tegangan *flashover* sebesar 97,05 kV. Peristiwa *flashover* yang terjadi pada isolator Tipe C1 ini sangat kecil, yaitu lompatan api tidak terlihat dengan jelas dan tidak terdengar suara ledakan.

Kemudian pengujian dilakukan pada isolator C3 dengan posisi lengkungan di bawah (dekat dengan elektroda sisi *ground*) dan jarak rambat 15,5 cm. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali kemudian diambil rata-ratanya. Dari pengujian yang telah dilakukan, diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 4.21 dibawah ini.

Tabel 4.22 Data Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* Isolator Polietilen Tipe C3

Percobaan ke-	Tegangan Korona (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
1	46,43	96,18
2	49,14	95,98
3	44,78	96,40
Rata-rata	46,78	96,19

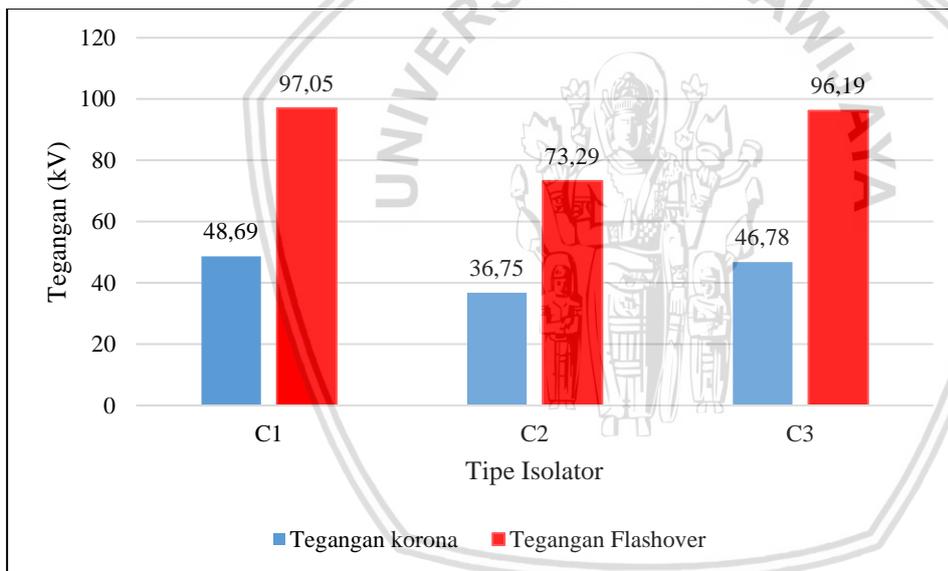
Dari data hasil pengujian yang ditunjukkan pada Tabel 4.22 dapat diambil rata-ratanya, sehingga diperoleh tegangan korona sebesar 46,78 kV dan tegangan *flashover* sebesar 96,19 kV. Peristiwa *flashover* yang terjadi pada isolator Tipe C3 ini juga sangat kecil, yaitu lompatan api tidak terlihat dengan jelas dan tidak terdengar suara ledakan.

Dari data hasil pengujian pada isolator Tipe C1, Tipe C2 dan Tipe C3 dapat dibuat tabel agar dapat diketahui perbedaannya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.23 dibawah ini.

Tabel 4.23 Data Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip

Tipe Isolator	Tegangan Korona (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
C1 (sirip di atas)	48,69	97,05
C2 (sirip di tengah)	36,75	73,29
C3 (sirip di bawah)	46,78	96,19

Berdasarkan hasil pengujian tegangan *flashover* yang ditampilkan pada Tabel 4.23 maka dibuat grafik agar dapat lebih mudah untuk diamati perbedaan tegangan korona dan tegangan *flashover* dari masing-masing tipe isolator seperti pada Gambar 4.29 di bawah ini.



Gambar 4.29 Grafik tegangan korona dan tegangan *flashover* pada isolator polietilen variasi posisi sirip

Pada Gambar 4.29 ditunjukkan grafik tegangan korona dan tegangan *flashover* dari tiap tipe isolator variasi posisi sirip. Isolator Tipe C1 memiliki tingkat tegangan korona dan tegangan *flashover* lebih tinggi dibanding isolator Tipe C3. Sedangkan isolator tipe C2 memiliki tingkat tegangan korona dan tegangan *flashover* yang paling rendah dibanding isolator Tipe C1 dan Tipe C3.

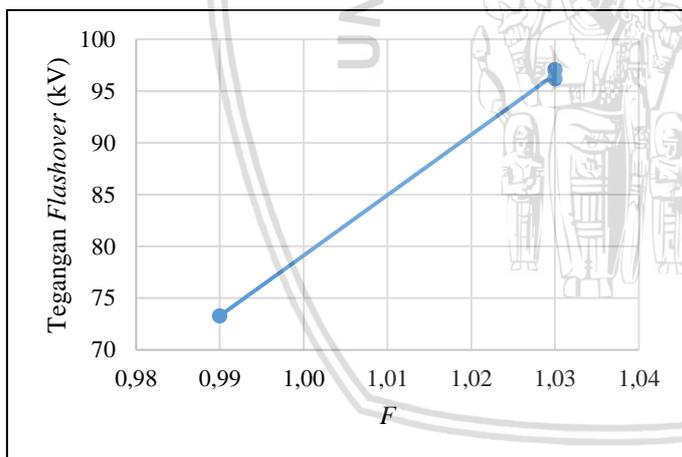
4.6.2 Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Tegangan *Flashover* pada Isolator Polietilen Variasi Posisi Sirip

Tegangan *flashover* pada masing-masing tipe isolator variasi posisi sirip juga dipengaruhi oleh bentuk isolator, dimana masing-masing tipe tersebut memiliki nilai faktor bentuk yang berbeda-beda. Namun faktor bentuk untuk isolator Tipe C1 yang memiliki lengkungan di bagian atas dan Tipe C3 yang memiliki lengkungan di bagian bawah adalah sama yaitu sebesar 1,03. Data faktor bentuk dan tegangan *flashover* masing-masing tipe isolator variasi posisi sirip dapat dilihat pada Tabel 4.24 dibawah ini.

Tabel 4.24 Pengaruh Faktor Bentuk terhadap Tegangan *Flashover*

Tipe Isolator	F	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
C1 (sirip di atas)	1,03	97,05
C2 (sirip di tengah)	0,99	73,29
C3 (sirip di bawah)	1,03	96,19

Dari data pada Tabel 4.24 dapat dibuat grafik untuk mengetahui hubungan nilai faktor bentuk (F) dengan tegangan *flashover*.



Gambar 4.30 Grafik hubungan faktor bentuk terhadap tegangan *flashover* pada isolator polietilen variasi panjang sirip

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.30 dapat disimpulkan bahwa pada isolator variasi posisi sirip dengan jarak rambat yang sama, semakin besar nilai faktor bentuk (F) maka semakin besar pula tegangan *flashover* pada isolator.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Distribusi medan listrik pada isolator polietilen tidak merata, dimana kuat medan tinggi terletak pada bagian isolator yang runcing. Dari hasil simulasi, untuk variasi panjang sirip Tipe C memiliki kuat medan maksimum terendah yaitu sebesar 4,191 kV/cm dan tingkat homogenitas sebesar 0,154. Untuk variasi posisi sirip Tipe C1 memiliki kuat medan maksimum terendah yaitu sebesar 2,827 kV/cm dan tingkat homogenitas sebesar 0,228.
2. Pada pengujian variasi panjang sirip, pada jarak rambat yang sama, diperoleh hasil bahwa semakin besar jarak vertikal maka semakin kecil tingkat arus bocor. Semakin besar jarak horizontal maka semakin besar pula tingkat arus bocor. Semakin besar perbandingan jarak vertikal dengan jarak horizontal maka semakin kecil tingkat arus bocor. Pada pengujian variasi posisi sirip, tingkat arus bocor tertinggi terjadi pada isolator dengan posisi sirip di tengah, sedangkan tingkat arus bocor terendah terjadi pada isolator dengan posisi sirip di atas. Tiap tipe isolator memiliki nilai faktor bentuk, dimana semakin besar nilai faktor bentuk maka semakin kecil tingkat arus bocor.
3. Pada pengujian variasi panjang sirip, dengan jarak rambat yang sama, diperoleh hasil bahwa semakin besar jarak vertikal maka semakin besar tingkat tegangan *flashover*. Semakin besar jarak horizontal maka semakin kecil tingkat tegangan *flashover*. Semakin besar perbandingan jarak vertikal dengan jarak horizontal maka semakin besar tingkat tegangan *flashover*. Pada pengujian variasi posisi sirip, tingkat tegangan *flashover* tertinggi terjadi pada isolator dengan posisi sirip di atas, sedangkan tingkat tegangan *flashover* terendah terjadi pada isolator dengan posisi sirip di tengah. Tiap tipe isolator memiliki nilai faktor bentuk, dimana semakin besar nilai faktor bentuk maka semakin besar tingkat tegangan *flashover*.

5.2 Saran

Saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu pengujian dilakukan dengan material, bentuk kontur permukaan yang lebih bervariasi, serta mempertimbangkan aspek kekuatan mekanis isolator ketika diberi beban mekanis, agar dapat diketahui karakteristik elektrik dan mekanis isolator yang diuji.



DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A. (1983). *Teknik Tegangan Tinggi Suplemen*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Arismunandar, A. (1994). *Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Dr JP Holtzhausen, D. W. (2011). *High Voltage Engineering Practice and Theory*. United States: Dr JP Holtzhausen.
- Harper, C. A. (2000). *Modern Plastics Handbook*. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Harry Soekotjo Dachlan, M. D. (2008). Pengaruh Sudut Keruncingan dan Diameter Finial Franklin terhadap Distribusi Medan Listrik dan Tingkat Tegangan Tembus. *EECCIS Vol. II No. 1*, 1-10.
- Hussein, A. A., Kalif, T. M., & Salah, S. S. (2009). An Investigation of Leakage Current and Partial Discharge For Various Overhead Insulators. *Tikrit Journal of Eng. Sciences*, 1-10.
- Kind, D. (1993). *Pengantar Teknik Eksperimental Tegangan Tinggi*. Bandung: ITB.
- Kuffel, E., Zaengl, W., & Kuffel, J. (2000). *High Voltage Engineering Fundamentals*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Sulistyanto, D. A. (2012). Analisis Arus Bocor dan Tegangan Flashover pada Isolator Suspensi 20 kV 3 Sirip dengan 4 Tipe Sirip Berbahan Polimer Resin Epoksi Silane Silika. *Transient* , 226-232.
- Tobing, B. L. (2012). *Dasar-dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Jakarta: Erlangga.
- Warno, A. (2003). *Pengaruh Bentuk Kurvatur Isolator Padat Terhadap Tingkat Tegangan Flashover*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- X. Wang, M. H. (2004). Experimental Study on Surface Flashover Behavior in Vacuum. *Conference Record of the Twenty-Sixth International* , 462-465.

