



**ANALISIS PENGARUH POLUTAN MENGGUNAKAN
SLOW RATE OF RISE TEST TERHADAP *FLASHOVER*
ISOLATOR KERAMIK JENIS TARIK DAN POST-PIN
DI DAERAH PUGER**

SKRIPSI

Oleh

**Wisnu Wisudawan Mahalli
NIM 121910201080**

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**



**ANALISIS PENGARUH POLUTAN MENGGUNAKAN
SLOW RATE OF RISE TEST TERHADAP *FLASHOVER*
ISOLATOR KERAMIK JENIS TARIK DAN POST-PIN
DI DAERAH PUGER**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

oleh

Firdaus Wisudawan Mahalli
NIM 121910201080

**PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2018**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Allah SWT yang telah memberikan limpahan berkah dan nikmat yang luar biasa kepadaku baik kesempatan dan kekuatan lahir batin untuk menuntut ilmu dan menyelesaikan tahap ini beserta Nabi Muhammad SAW yang selalu menjadi panutan dalam setiap langkah;
2. Orang tua tercinta, Zainal Arifin dan Meineni yang telah memberikan doa, bimbingan, kasih sayang, dukungan, kerja keras, perjuangan dan pengorbanan kepada saya dalam meraih segala impian dan cita-cita;
3. Adikku Oka Nur Oktavianda dan Andini Kurniasih atas doa, semangat, dan dukungan yang diberikan kepadaku;
4. Semua guru dan dosen sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah ikhlas mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan dengan penuh kasih sayang dan kesabaran kepada penulis;
5. Almamater tercinta, Fakultas Teknik Universitas Jember yang saya banggakan sebagai tempat bagi saya untuk menimba ilmu khususnya dibidang teknik elektro.

MOTTO

Dan Allah tidak menjadikan pemberian bala bantuan itu melainkan sebagai kabar gembira bagi (kemenangan) mu, dan agar tentram hatimu karenanya. Dan kemenanganmu itu hanyalah dari Allah Yang Maha Perkasa lagi Maha Bijaksana. (terjemahan Q.S. Ali Imran ayat 126)¹

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain. (terjemahan Q.S. Al-Insyirah ayat 6 - 7)¹



¹ Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Qur'an dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumodasmoro Grafindo

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wisnu Wisudawan M

Nim : 121910201080

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul: “Analisis Pengaruh Polutan Menggunakan *Slow Rate Of Rise Test* Terhadap *Flashover* Isolator Keramik Jenis Tarik Dan Post-Pin Di Daerah Puger” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 30 Januari 2018

Yang Menyatakan,

Wisnu Wisudawan M

NIM 121910201080

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH POLUTAN MENGGUNAKAN
SLOW RATE OF RISE TEST TERHADAP *FLASHOVER*
ISOLATOR KERAMIK JENIS TARIK DAN POST-PIN
DI DAERAH PUGER**

Oleh

Wisnu Wisudawan M

NIM 121910201080

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Prof. Dr. Ir Bambang Sujanarko, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Pengaruh Polutan Menggunakan *Slow Rate Of Rise Test* Terhadap *Flashover* Isolator Keramik Jenis Tarik Dan Post-Pin Di Daerah Puger” karya Wisnu Wisudawan M telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal : , 2016
tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Ketua,

Anggota I,

Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.
NIP. 19710402 200312 1 001

Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.
NIP. 19631201 199402 1 002

Anggota II,

Anggota III,

Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T.
NIP. 19700404 199601 1 001

Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 19700826 199702 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M. U. M.
NIP 196612151995032001

Analisis Pengaruh Polutan Menggunakan *Slow Rate Of Rise Test* Terhadap
flashover Isolator Keramik Jenis Tarik Dan Post-Pin Di Daerah Puger

Wisnu Wisudawan M

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Tegangan *flashover* merupakan kegagalan isolasi yang disebabkan karena pembebanan medan listrik pada permukaan isolator melebihi kapasitas ketahanan elektriknya. *Flashover* ini dapat menimbulkan pemanasan dan dapat merusak isolator. Penyebab terjadinya *flashover* di antaranya yaitu karena pengotoran pada permukaan isolator tersebut. Pada daerah pantai polutan yang paling umum yaitu garam, dikarenakan bahan polutan yang sering dijumpai pada lokasi pinggiran pantai. Isolator yang diuji berupa isolator keramik jenis tarik dan post-pin menggunakan metode yang sesuai dengan standar *American Standard Test Method*, ASTM-D149, yakni metode *Slow Rate of Rise Test* di mana metode ini dijalankan dengan menaikkan tegangan spesimen secara bertahap dengan laju tegangan konstan, mulai dari tegangan uji awal hingga spesimen mengalami tegangan tembus listrik. Terjadinya tembus listrik ini harus pada waktu lebih dari 120 detik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tegangan *flashover* akan semakin turun, seiring dengan bertambah besarnya nilai ESDD. Kemudian hasil data yang diperoleh pada isolator tarik saat ESDD sebesar 0,025 mg /cm², dengan tegangan *flashover* sebesar 66 kV isolator mengalami penurunan kinerja terbanyak, yakni sebesar 13,157 %, dan pada isolator post-pin saat ESDD sebesar 0,024 mg /cm², dengan tegangan *flashover* sebesar 46 kV isolator mengalami penurunan kinerja terbanyak, yakni sebesar 24,176 %.

Kata kunci: ESDD, garam, isolator tarik dan post-pin, *Slow Rate Of Rise Test*, tegangan *flashover*.

Analysis of the influence of Pollutants using the Slow Rate Of Rise Against Ceramic Insulator flashover Test type of Pull and Post-Pin in the area Puger
Wisnu Wisudawan M

*Departement of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of
Jember*

ABSTRACT

Flashover voltage insulation failure is caused because the imposition of the electric field at the surface of the insulating resistance capacity exceeds elektriknya. This can cause Flashover warming and can damage the insulator. The cause of the occurrence of flashover of which namely because of doping on the surface of the insulator. In coastal areas the most common pollutants that is salt, because the pollutant materials are often found on the site of the shore. Insulating ceramic insulator be tested types of pull and post-pin using methods that comply with the standard American Standard Test Method, ASTM D149-method, i.e. the Slow Rate of Rise Test in which this method is run by raising the voltage to specimens gradually with the rate of constant voltage, ranging from the initial test voltage up to the specimen undergoes electrical breakdown voltage. The occurrence of this power should be translucent at the time more than 120 seconds. The results showed that the value of the voltage flashover will progressively go down, along with the increased magnitude of the ESDD value. Then the results of data obtained at the moment of the ESDD of insulator pull 0.025 mg/cm², with 66 kV voltage flashover of insulator has decreased the most, i.e. the performance of 13.157%, and in the post-pin insulator when ESDD of 0.024 mg/cm², with 46 kV voltage flashover of insulator has decreased the most, the performance of 24.176%.

Keywords: *ESDD, Salt, Insulator Ceramic and Post-Pin, Slow Rate Of Rise Test, Flashover Voltage.*

RINGKASAN

Analisis Pengaruh Polutan Menggunakan *Slow Rate Of Rise Test* Terhadap *Flashover* Isolator Keramik Jenis Tarik Dan Post-Pin Di Daerah Puger; Wisnu Wisudawan M, 121910201080; 2018; 62 halaman; Fakultas Teknik Universitas Jember.

Isolator merupakan salah satu peralatan yang sangat penting dalam sistem penyaluran energi listrik. Karena pentingnya isolator dalam sistem penyaluran energi listrik, maka perlu dijaga keandalannya. Salah satu bentuk penjagaan keandalannya yaitu dengan menguji tegangan *flashover* pada isolator. Tegangan *flashover* merupakan kegagalan isolasi yang disebabkan karena pembebanan medan listrik pada permukaan isolator melebihi kapasitas ketahanan elektriknya. *Flashover* ini dapat menimbulkan pemanasan dan dapat merusak isolator. Penyebab terjadinya *flashover* di antaranya yaitu karena pengotoran permukaan isolator. Pada kasus pengotoran permukaan isolator, umumnya disebabkan karena adanya bahan polutan yang menempel pada permukaan isolator seperti bahan polutan garam. Garam merupakan bahan polutan yang sering dijumpai pada pinggiran pantai. Biasanya Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berlokasi di pinggiran pantai. Sehingga pada jaringan listriknya terutama komponen berupa isolator dapat terpengaruh adanya bahan polutan garam. Untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh bahan polutan garam terhadap isolator berbahan keramik dan polimer.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh bahan polutan garam terhadap tegangan *flashover* pada isolator keramik jenis tarik dan post-pin menggunakan metode *Slow Rate of Rise Test*, serta untuk mengetahui hasil perbandingan antara isolator berbahan keramik dan polimer pada hasil pengujian dalam kondisi kering dan basah, serta dalam kondisi isolator tanpa polutan garam dan dalam kondisi isolator berpolutan garam dengan variasi sudut penyemprotan 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, dan 180° serta dengan tiga buah sudut tersebut secara langsung.

Isolator diuji menggunakan metode yang sesuai dengan standar *American Standard Test Method*, ASTM-D149. Standar pengujian ASTM-D149, yakni metode *Slow Rate of Rise Test*, yang mana metode ini dijalankan dengan menaikkan tegangan spesimen secara bertahap dengan laju tegangan konstan, mulai dari tegangan uji *start* V_s hingga spesimen mengalami tegangan tembus listrik. Hal ini ditandai dengan terjadinya suara letupan dan percikan api di permukaan isolator seiring dengan terjadinya *flashover* pada isolator. Terjadinya tembus listrik ini harus pada waktu lebih dari 120 detik sejak tegangan pengujian dikenakan pada spesimennya. Apabila dalam pengujian sekelompok spesimen, lebih dari satu spesimen yang mengalami tembus listrik pada waktu kurang dari 120 detik, perlu dilakukan tindakan sebagai berikut : tegangan uji *start* V_s dikurangi, atau laju tegangan ($\Delta V/\Delta t$) diturunkan, atau mengurangi tegangan uji *start* V_s dan laju tegangan secara bersamaan. Jika lebih dari satu spesimen mengalami tembus listrik pada tegangan yang kurang dari $1,5V_s$ maka nilai tegangan uji *start* V_s dikurangi. Jika tembus listrik terjadi pada tegangan $2,5V_s$ dan waktu terjadinya tembus listrik lebih dari 120 detik, nilai V_s dinaikkan. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengulangan sebanyak tiga kali, kemudian diambil rata-ratanya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tegangan *flashover* akan semakin turun, seiring dengan bertambah besarnya nilai ESDD. Pada isolator tarik saat ESDD sebesar $0,025 \text{ mg/cm}^2$, dengan tegangan *flashover* sebesar 66 kV isolator mengalami penurunan kinerja terbanyak, yakni sebesar 13,157 %, dan pada isolator post-pin saat ESDD sebesar $0,024 \text{ mg/cm}^2$, dengan tegangan *flashover* sebesar 46 kV isolator mengalami penurunan kinerja terbanyak, yakni sebesar 24,176 %.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Pengaruh Polutan Menggunakan *Slow Rate Of Rise Test* Terhadap *flashover* Isolator Keramik Jenis Tarik Dan Post-Pin Di Daerah Puger”. Skripsi ini disusun guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi strata satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan, bantuan serta motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas semua karunia yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir untuk mencapai gelar Sarjana Teknik;
2. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah M.U.M selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Prof. Dr. Ir Bambang Sujanarko, M.M. Selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak membantu, meluangkan waktu, pikiran, dan perhatiannya untuk membimbing penulis untuk menyelesaikan penelitian dan skripsi ini;
4. Bapak Suprihadi Prasetyono, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I dan Bapak Dr. Triwahju Hardianto, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu untuk menguji, mengevaluasi, memberikan saran dan penilaian terhadap skripsi ini;
5. Bapak Sumardi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik atas segala bimbingan dan kesabarannya dalam membimbing penulis selama masa studi sampai tugas akhir;
6. Bapak dan Ibu Dosen Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah mengamalkan ilmunya dan memperluas ilmu pengetahuan serta wawasan penulis selama menempuh masa kuliah;

7. Ayahanda Zainal Arifin dan Ibunda Meinei serta adikku Oka Nur Oktavianda dan Andini Kurniasih tercinta yang sejak aku lahir sampai dengan sekarang dan kelak akan senantiasa memberikan dukungan, doa dan pengorbanan serta menjadi sumber motivasi dan inspirasi;
8. Teman-teman seperjuangan Angkatan 2012 Teknik Elektro Universitas Jember “SATE UJ” semuanya atas kebaikan dan bantuan selama kuliah ini;
9. Teman-teman anggota KKN 30 desa Jorongon yang te
10. Dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas bantuan, perhatian, dan inspirasi bagi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini dan mendoakan kesuksesan ujian skripsi ini.

Penulis menerima saran dan kritik yang membangun dari pembaca sekalian demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis juga berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Jember, 30 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
RINGKASAN	ix
PRAKATA	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Hasil Penelitian Sebelumnya	7
2.2 Konsep Dasar Isolasi	7
2.2.1 Bahan-bahan Isolasi	7
2.2.2 Bahan Porselin (keramik)	7
2.2.3 Klasifikasi Isolator Saluran Udara	8
2.3 Karakteristik Isolator	8

2.3.1 Karakteristik Elektrik	8
2.3.2 Karakteristik Mekanis	9
2.4 Kegagalan Isolator	10
2.4.1 Kegagalan Isolator dalam Melaksanakan Fungsinya	11
2.5 Flashover Pada Isolator	11
2.6 Isolator Berpolutan	13
2.6.1 Sifat Polutan	13
2.6.1.1 Polutan Yang Bersifat Konduktif	13
2.6.1.2 Polutan Yang Bersifat Inert	13
2.6.2 Pembentukan Polutan Pada Isolator	14
2.7 Metode <i>Slow Rate Of Rise Test</i> (Pengujian dengan	
Kenaikan Tegangan Perlahan)	15
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	17
3.1.1 Tempat Penelitian	17
3.1.2 Waktu Penelitian	17
3.2 Alat dan Bahan	18
3.3 Metode Penelitian	18
3.4.1 Studi Literatur	18
3.4.2 Praktek Langsung	18
3.4.3 Pengambilan Data	20
3.4.4 Analisis Data	22
3.4 Desain Penelitian	23
BAB 4. ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Perhitungan <i>Equivalent Salt Deposit Density</i> (ESDD)	
Pada Pengujian Isolator Berbahan Keramik Jenis Tarik	
dan Post-Pin	24
4.2 Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator	
Keramik Jenis Tarik dan Post-Pin	32
4.2.1 Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator	

Berbahan Keramik	33
4.2.2 Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator	
Berbahan Polimer	37
4.3 Perbandingan Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada	
Isolator Keramik Jenis Tarik dan Post-Pin	40
4.3.1 Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator	
Berbahan Keramik Jenis Tarik Saat Kondisi Kering	
dan Basah.....	40
4.3.2 Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator	
Berbahan Keramik Jenis Post-Pin Saat Kondisi	
Kering dan Basah.....	43
4.3.3 Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator	
Berbahan Keramik Jenis Tarik dan Post-Pin Kondisi Kering ...	46
4.3.4 Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator	
Berbahan Keramik Jenis Tarik dan Post-Pin Kondisi Basah ...	49
BAB 5. PENUTUP	52
5.1 Kesimpulan	52
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN-LAMPIRAN	
A. PERHITUNGAN	55
B. DATA HASIL PENGUJIAN	66
C. DOKUMENTASI FOTO DAN ALAT.....	74

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Hasil Penelitian Sebelumnya	6
2.1 Penggolongan Tingkat Pengotoran	15
2.2 Penggolongan Tingkat Pengotoran Berdasarkan Kondisi Geografis.....	15
3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian	19
4.1 Hasil Pengukuran Konduktivitas, ESDD, dan Tingkat Pengotoran Pada Isolator Keramik Jenis Tarik Kondisi Kering	26
4.2 Hasil Pengukuran Konduktivitas, ESDD, dan Tingkat Pengotoran Pada Isolator Keramik Jenis Tarik Kondisi Basah	27
4.3 Hasil Pengukuran Konduktivitas, ESDD, dan Tingkat Pengotoran Pada Isolator Keramik Jenis Post-Pin Kondisi Kering	29
4.4 Hasil Pengukuran Konduktivitas, ESDD, dan Tingkat Pengotoran Pada Isolator Keramik Jenis Post-Pin Kondisi Basah.....	31
4.5 Hasil Pengujian Isolator Keramik Jenis Tarik Kondisi Kering	33
4.6 Hasil Pengujian Isolator Keramik Jenis Tarik Kondisi Basah	35
4.7 Hasil Pengujian Isolator Keramik Jenis Post-Pin Kondisi Kering	37
4.8 Hasil Pengujian Isolator Keramik Jenis Post-Pin Kondisi Basah	39
4.9 Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Keramik Jenis Tarik Kondisi Kering dan Basah	41
4.10 Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Keramik Jenis Post-Pin Kondisi Kering dan Basah	44
4.11 Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Jenis Tarik dan Post-Pin Kondisi Kering	46
4.12 Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Jenis Tarik dan Post-Pin Kondisi Basah	49
4.13 Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Keramik Kondisi Tanpa Polutan	67

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Kegagalan Isolator	13
2.2 Profil Pengujian dengan Kenaikan Tegangan Perlahan	16
3.1 Rangkaian Pengujian Tegangan <i>Flashover</i>	20
3.2 Gelas Ukur dan Multimeter Untuk Pengukuran Resistansi Polutan	23
3.3 Flowchart Penelitian	26
4.1 Grafik Hubungan Antara ESDD dengan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Keramik Jenis Tarik Kondisi Kering	35
4.2 Grafik Hubungan Antara ESDD dengan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Keramik Jenis Tarik Kondisi Basah	36
4.3 Grafik Hubungan Antara ESDD dengan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Keramik Jenis Post-Pin Kondisi Kering	39
4.4 Grafik Hubungan Antara ESDD dengan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Keramik Jenis Post-Pin Kondisi Basah	40
4.5 Grafik Hasil Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Keramik Jenis Tarik Kondisi Kering dan Basah	43
4.6 Grafik Hasil Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Keramik Jenis Post-Pin Kondisi Kering dan Basah	45
4.7 Grafik Hasil Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Keramik Jenis Tarik dan Post-Pin Kondisi Kering	48
4.8 Grafik Hasil Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Pada Isolator Keramik Jenis Tarik dan Post-Pin Kondisi Basah	51

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tenaga listrik merupakan sarana produksi maupun sarana kehidupan sehari-hari dan memegang peranan yang sangat penting dalam upaya mencapai sasaran masyarakat modern. Oleh karena itu suatu sistem pada ketenagalistrikan yang handal, merupakan suatu jaringan listrik yang terpadu meliputi pusat pembangkit tenaga listrik, jaringan transmisi dan jaringan distribusi. Mengingat perusahaan ketenagalistrikan seperti PLN (Pembangkit Listrik Negara) yang berdaya besar cenderung berada di pantai, dengan tujuan untuk memudahkan sarana transportasi dalam pengangkutan peralatan maupun bahan bakarnya, sehingga untuk menstransformasikan energi listrik sampai ke konsumen maka diperlukan suatu saluran transmisi dan distribusi sebagai sarana penyaluran (Suyanto, 2011).

Masalah utama dalam pendistribusian energi listrik sering terjadinya kegagalan dalam saluran transmisi maupun distribusi yang diakibatkan oleh *flashover* yang terjadi dikarenakan pengotoran permukaan isolator ataupun keretakan mekanis pada isolator (Irfangi, 2016).

Isolator memiliki sifat untuk memisahkan dua buah penghantar atau lebih sehingga tidak terjadi kebocoran diantaranya. Apabila isolator tersebut gagal menjalankan fungsinya maka akan terjadi *flashover* dan hal yang tidak diinginkan.

Material dari isolator yang umum dan banyak digunakan di Indonesia adalah porselen, polimer dan gelas, dengan beberapa kekurangan dan kelebihan. Kekurangannya isolator porselin memiliki harga yang mahal dan mudah pecah, sedangkan kelebihannya memiliki kualitas yang lebih baik dan tegangan tembusnya lebih besar.

Karena itu isolator merupakan bagian yang sangat penting dalam sistem penyaluran energi listrik, maka dari itu perlu dijaga keandalannya. Salah satu cara untuk menjaga keandalannya yaitu dengan cara menguji tegangan *flashover* pada isolator. Material dari isolator yang umum dan banyak digunakan di Indonesia

adalah porselen, polimer dan gelas, dengan beberapa kekurangan dan kelebihan. Kekurangannya isolator porselin memiliki harga yang mahal dan mudah pecah, sedangkan kelebihannya memiliki kualitas yang lebih baik dan tegangan tembusnya lebih besar (Yosafat, 2014). Pada isolator keramik dan gelas memiliki kekurangan seperti mudah menyerap air, sehingga lebih mudah terjadi arus bocor pada permukaan, yang akhirnya dapat menyebabkan terjadinya tegangan *flashover*. Dengan adanya kekurangan tersebut menyebabkan terjadinya kegagalan isolasi yang disebabkan adanya pengaruh bahan polutan.

Flashover sendiri merupakan suatu kegagalan isolasi yang terjadi karena adanya pembebanan medan listrik pada permukaan isolator melebihi kapasitas ketahanan elektriknya. *Flashover* ini dapat menimbulkan pemanasan dan dapat merusak isolator. Penyebab terjadinya *flashover* diantaranya yaitu karena pengotoran permukaan isolator, surja hubung, dan surja petir (Wardhani, 2011). Pada kasus pengotoran permukaan isolator, umumnya disebabkan karena adanya bahan polutan yang menempel pada permukaan isolator seperti bahan polutan debu, abu terbang, asap kendaraan, pasir, garam dan lumut. Biasanya pada jaringan distribusi 20 kV yang berlokasi di daerah pantai memiliki peluang terjadi *flashover* yang besar dikarenakan dekat dengan pantai. Pada daerah puger yang merupakan daerah pinggiran pantai memiliki peluang terjadinya *Flashover* yang besar. Sehingga pada jaringan listriknya terutama komponen berupa isolator sering terlihat kotor dikarenakan penumpukan garam, pasir pantai, debu kendaraan dan lain-lain. Hal ini dapat berpengaruh terhadap sistem kelistrikan. Untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh bahan polutan pantai pada isolator berbahan keramik.

Pada penelitian ini, isolator tersebut akan diuji menggunakan metode yang sesuai dengan standar *American Standard Test Method*, ASTM-D149. Standar pengujian ASTM-D149 sendiri terdiri dari tiga buah metode, yaitu metode *Short Time*, *Step by Step Test*, dan *Slow Rate of Rise Test* (Tobing, 2012). Metode *Short Time Test* adalah pengujian yang paling umum digunakan untuk menguji kontrol kualitas. Sedangkan metode *Step by Step Test* dan *Slow Rate of Rise Test* biasanya akan menghasilkan pengujian yang kurang baik, namun akan memberikan hasil

yang lebih baik jika menggunakan perbedaan bahan uji dan kemudian dibandingkan satu sama lain (Irfangi,2016).

Dalam hal ini pada saat pengujian, peneliti menggunakan metode *Slow Rate of Rise Test* untuk mengetahui besarnya tegangan tembus sampai terjadinya tegangan *flashover*. Hal ini bertujuan agar dapat membandingkan dengan penelitian sebelumnya. Sehingga peneliti berharap dengan adanya penelitian ini bisa melengkapi analisis tentang tegangan *flashover* pada isolator berbahan keramik dengan variasi bahan polutan dan metode yang diterapkan.

1.2 Rumusan Masalah

Sebagaimana latar belakang yang telah dipaparkan, maka dalam penelitian ini dapat dirumuskan beberapa masalah yaitu :

1. Bagaimana pengaruh polutan buatan pantai puger terhadap isolator jenis tarik dan post-pin dengan penyemprotan menggunakan sudut penyemprotan yang berbeda terhadap tegangan *flashover* isolator berbahan keramik menggunakan metode *Slow Rate of Rise Test*?
2. Bagaimana hasil perbandingan antara hasil uji penelitian dalam kondisi kering dan basah, serta dalam kondisi permukaan isolator bersih dan permukaan isolator diselimuti bahan polutan buatan pantai puger?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai oleh peneliti sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh bahan polutan buatan pantai puger dengan sudut penyemprotan yang berbeda terhadap tegangan *flashover* pada isolator berbahan keramik menggunakan metode *Slow Rite of Rise Test*.
2. Mengetahui hasil perbandingan antara hasil uji penelitian dalam kondisi kering dan basah, serta dalam kondisi permukaan isolator bersih dan permukaan isolator diselimuti bahan polutan garam.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang ingin dicapai oleh peneliti sebagai berikut :

1. Untuk melengkapi analisis tentang tegangan *flashover* pada isolator berbahan keramik dengan variasi sudut penyemprotan, bahan polutan dan metode yang diterapkan.
2. Sebagai referensi dalam upaya perbaikan keandalan kinerja isolator pada daerah pantai puger..

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan di atas maka pembahasan dibatasi pada :

1. Isolator yang digunakan pada penelitian ini yaitu isolator yang digunakan pada jaringan distribusi SUTM 20 kV.
2. Selama proses pengujian, tekanan udara, kelembapan, suhu, dan temperatur udara dalam laboratorium diasumsikan sudah mewakili kondisi secara umum.
3. Isolator yang digunakan isolator keramik jenis tarik dan post-pin.
4. Sudut penyemprotan yang digunakan yaitu 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , dan 180° .
5. Diasumsikan saat proses pengujian pada permukaan isolator hanya menggunakan polutan buatan yang menyerupai polutan pantai puger.
6. Jarak penyemprotan polutan diasumsikan sama yaitu 30 cm.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara garis besar penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

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

BAB 2. TINJUAN PUSTAKA

Berisi penjelasan tentang teori yang berhubungan dengan isolator, pengaruh bahan polutan terhadap tegangan *flashover* menggunakan metode *Slow Rate of Rise Test*.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

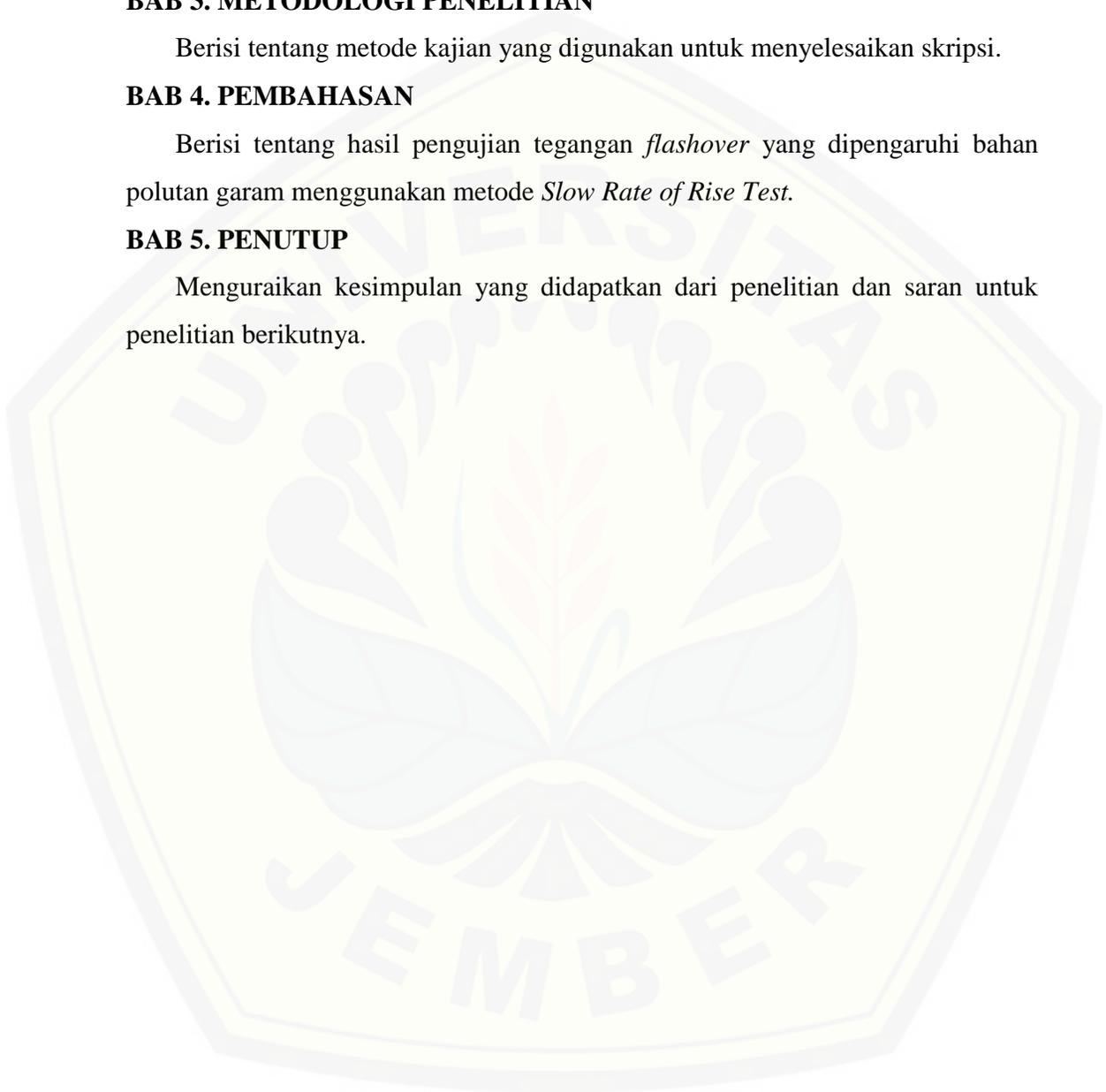
Berisi tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan skripsi.

BAB 4. PEMBAHASAN

Berisi tentang hasil pengujian tegangan *flashover* yang dipengaruhi bahan polutan garam menggunakan metode *Slow Rate of Rise Test*.

BAB 5. PENUTUP

Menguraikan kesimpulan yang didapatkan dari penelitian dan saran untuk penelitian berikutnya.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka sebagai daftar acuan dalam melakukan penelitian tugas akhir yang saat ini dikerjakan. Tinjauan pustaka berguna dapat memperdalam wawasan dan mengembangkan ilmu pengetahuan yang telah ada, sehingga bidang keilmuan penelitian yang diteliti akan mengalami perkembangan dan peningkatan.

2.1 Hasil Penelitian Sebelumnya

Matriks Permasalahan ini dapat memberikan wacana bagi peneliti agar dapat mengulas lebih dalam tentang topik yang diteliti serta dapat memberikan masukan lebih berarti bagi permasalahan yang diteliti. Informasi selengkapnya mengenai pustaka penelitian peneliti lain serta pembahasan terkait solusi, saran terhadap kesamaan konsep dengan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hasil Penelitian Sebelumnya

No	Pustaka	Solusi	Metode	Hasil	Pesan/Saran
1.	Penggunaan Metode <i>Step-By-Step</i> Untuk Membandingkan <i>Flashover</i> Pada Isolator Berbahan Keramik dan Polimer Terhadap Polutan Abu Terbang(Fery Indra Yosafat, 2014)	Melakukan pengujian pada isolator keramik dan polimer untuk mengetahui pengaruhnya jika terpapar abu terbang	Menggunakan metode <i>Step-By-Step</i> yaitu menaikkan taggan secara bertangga hingga terjadi <i>flashover</i>	Semakin banyak jumlah polutan membuat tegangan semakin kecil, terlihat saat polutan 1 gram tegangan 50 KV dan saat polutan 2 gram tegangan menjadi 40 KV.	Melakukan pengujian dengan variasi polutan yang berbeda dan isolator yang berbeda.
2.	Akibat Penumpukan Kontaminasi Udara Di Permukaan Isolator Pada Saluran Distribusi 20	Melakukan pengujian pada isolator post-pin dengan polutan yang unsur kimianya mendekati polutan berdasarkan	Dalam penelitian isolator diberikan pengotor berupa polusi garam, dengan cara melalui penyemprotan	Diperoleh hasil bahwa semakin besar ESDD maka tegangan akan semakin kecil.	Pengujian pada lemari uji perlu dikembangkan dengan kondisi kelembapan yang bervariasi dan

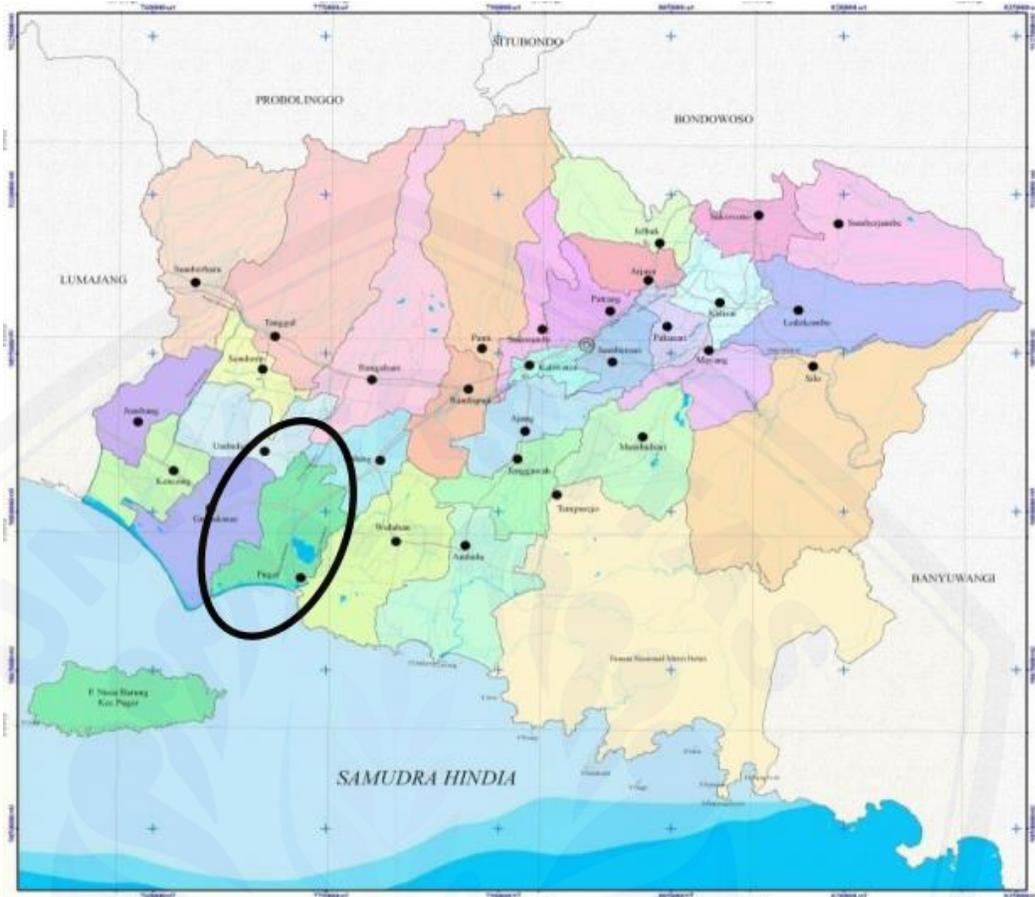
	KV(Muhammad Suyanto, 2011)	data analisis kimia hasil penelitian PLN dan FT.UGM	dengan diputar kemudian dilakukan pengujian di lemari uji		polutan yang berbeda.
3.	Pengaruh Polutan Garam Terhadap Tegangan Flashover Pada Isolator Berbahan Keramik dan Polimer Menggunakan Metode Slow Rate Of Rise Test (Mokhamad Irfangi, 2016)	Melakukan pengujian pada isolator keramik dan polimer dengan polutan garam yang disemprotkan dengan sudut semprot 45 ⁰ , 90 ⁰ , dan 135 ⁰	Menggunakan metode slow rate of rise test yang merupakan pengujian dengan menaikkan tegangan specimen secara perlahan dan waktu terjadi flashover harus lebih dari 120 detik	Diperoleh hasil ketika tegangan ESDD semakin meningkat maka tegangan flashover akan mengalami penurunan.	Melakukan pengujian dengan isolator yang berbeda dan polutan yang berbeda.

2.2 Kondisi Umum Wilayah Studi

Pantai puger terletak di desa puger kulon, kecamatan puger yang berjarak ± 40 km dari Kota Jember memiliki luas wilayah 148,99 km². Kemudian kecamatan puger terletak di wilayah dengan batas-batas sebagai berikut:

- a. Sebelah Utara : Kecamatan Balung
- b. Sebelah Timur : Kecamatan Wuluhan
- c. Sebelah Selatan : Laut Jawa dan Samudra Pasifik
- d. Sebelah Barat : Kecamatan Gumuk Mas

Uraian tentang letak dan batas Kecamatan Puger dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.1 Peta Kabupaten Jember

2.3 Konsep Dasar Isolasi

Isolasi merupakan sifat atau bahan yang memisahkan dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan, sehingga tidak terjadi kebocoran arus atau *flashover*. Sistem isolasi merupakan penggabungan dari bahan isolasi yang dibuat untuk memisahkan bagian – bagian peralatan listrik.

Isolator memiliki kemampuan agar dapat memisahkan secara elektrik dua penghantar atau lebih, sehingga arus tidak mengalir dari konduktor jaringan ke tanah. Sehingga konstruksi isolator harus diperhatikan dan bahan isolasi harus memiliki kekuatan dielektrik yang baik sehingga sifat hantarnya berkurang.

2.3.1 Bahan Isolasi

Bahan isolasi yang dipakai pada isolator saluran udara pada tegangan tinggi adalah bahan keramik (porselin), bahan gelas dan polimer (Yosafat, 2014).

2.3.2 Isolator Porselin (keramik)

Isolator porselin dibuat dari bahan campuran tanah porselin yang bagian luarnya dilapisi dengan bahan *glazuur* agar bahan isolator tidak berpori-pori. Dengan lapisan *glazuur* permukaan isolator menjadi licin dan berkilat, sehingga tidak menghisap air. Oleh sebab itu isolator porselin dapat dipakai di tempat lembab maupun di udara terbuka.

Untuk mendapatkan sifat-sifat listrik dan sifat mekanis yang baik, harus dipilih suhu pemrosesan bahan isolasi yang sesuai, karena jika bahan isolasi diproses pada suhu yang agak rendah, sifat mekanisnya baik, tetapi bahan tetap berlubang-lubang. Sedangkan jika diproses pada suhu tinggi, lubang-lubangnya berkurang tetapi bahan menjadi rapuh. Isolator porselin yang baik secara mekanis harus memiliki kuat dielektrik sekitar 60kV/cm, kuat tekan dan kuat tariknya masing-masing 70.000 kg/cm³ dan 500 kg/cm³.

Beberapa kelebihan isolator porselin / keramik yaitu stabil, mempunyai kekuatan mekanik yang baik, harganya relatif murah, dan tahan lama. Disamping kelebihan-kelebihan di atas, isolator porselin juga mempunyai beberapa kekurangan, yaitu mudah pecah, berat, berlubang akibat pembuatan kurang sempurna, bentuk geometri kompleks, dan mudah terpolusi hal ini yang dapat menyebabkan kegagalan isolasi yaitu *flashover*.

2.3.3 Jenis Isolator Jaringan Distribusi

Isolator yang digunakan untuk saluran distribusi tenaga listrik berdasarkan fungsi dan konstruksinya dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis sebagai berikut:

2.3.3.1 Isolator Jenis Pasak (*Post-Pin Insulator*)

Isolator jenis pasak (*pin type insulator*), digunakan pada tiang-tiang lurus (*tangent pole*) dan tiang sudut (*angle pole*) untuk sudut 5° sampai 30°.

Banyak terbuat dari bahan porselin maupun bahan gelas yang dibentuk dalam bentuk kepingan dan bagian bawahnya diberi suatu pasak (*pin*) yang terbuat dari bahan besi atau baja tempaan. Tiap kepingan diikatkan oleh suatu bahan semen yang berkualitas baik. Bentuk kepingan dibuat mengembang ke bawah seperti payung, untuk menghindarkan air hujan yang menimpa permukaan kepingan

secara mudah. Banyaknya kepingan tergantung pada kekuatan listrik bahan kepingan. Biasanya jumlah kepingan ini maksimum lima buah.

Isolator pasak yang mempunyai satu keping, biasanya digunakan untuk jaringan distribusi sekunder pada tegangan 6 kV ke bawah yang terbuat dari bahan gelas atau porselin. Untuk jaringan distribusi primer biasanya terdiri dari dua keping yang terbuat dari bahan porselin.

Isolator jenis pasak ini banyak digunakan pada tiang-tiang lurus (*tangent pole*) dengan kekuatan tarikan sudut (*angle tensile strenght*) hingga 10° . Kawat penghantar jaringan diletakkan di bagian atas untuk posisi jaringan lurus, sedangkan untuk jaringan dengan sudut di bawah 10° kawat penghantarnya diikatkan pada bagian samping agar dapat memikul tarikan kawat. Dapat dilihat seperti pada gambar 2.2 Isolator Jenis Post-pin.



Gambar 2.2 Isolator Keramik Jenis Post-Pin

Kekuatan tarik isolator jenis pasak ini lebih rendah bila dibandingkan dengan isolator jenis gantung, karena kekuatan isolator jenis pasak ini ditentukan oleh kekuatan pasaknya terhadap gaya tarikan kawat penghantar.

Pemasangan isolator jenis pasak ini direncanakan pada puncak tiang maupun pada palang kayu (*cross-arm*) yang disekrupkan pada isolator tersebut.

Pemasangan isolator jenis pasak pada tiang kayu saluran satu fasa yang memiliki sudut : 0° sampai 5° , dan sudut 5° sampai 30° , serta untuk saluran tiga fasa dengan sudut 0° sampai 5° , dan untuk sudut 5° sampai 30° .

Isolator jenis pasak banyak digunakan karena :

- a. lebih banyak jaringan dibuat lurus
- b. sudut saluran dibuat kurang dari 15°
- c. isolator jenis gantung lebih mahal dari isolator jenis pasak
- d. konstruksi tiang dibuat dengan cross-arm (travers) lebih menonjolkan ke laur sudut.

2.3.3.2 Isolator Jenis Tarik/Gantung (*Suspension Type Insulator*)

Isolator jenis gantung (*suspension type insulator*), digunakan pada tiang-tiang sudut (*angle pole*) untuk sudut 30° sampai 90° , tiang belokan tajam, dan tiang ujung (*deadend pole*).

Isolator jenis clevis lebih banyak digunakan karena lebih kokoh dan kuat dalam penggandengannya, serta tidak ada kemungkinan lepas dari gandengannya, karena pada ujungnya digunakan mur baut untuk mengikatnya.

Isolator gantung (*suspension insulator*) terdiri dari sebuah piringan yang terbuat dari bahan porselin, dengan tutup (*cap*) dari bahan besi tempaan (*malleable iron*) dan pasaknya terbuat dari bahan baja yang diikatkan dengan semen yang berkualitas, sehingga membentuk satu unit isolator yang berkualitas tinggi.

Dibandingkan isolator jenis pasak, isolator gantung ini hanya mempunyai satu piringan yang terbuat dari bahan porselin atau bahan gelas biru kelabu (*blue gray glaze*). Dengan menggunakan bahan gelas biru kelabu ini harga isolator dapat ditekan lebih murah dan dapat digunakan untuk beberapa gandengan.

Umumnya isolator gantung dengan bahan gelas ini digunakan untuk jaringan distribusi primer, sedangkan isolator gantung dari bahan porselin banyak digunakan untuk gandengan-gandengan pada jaringan transmisi tegangan tinggi. Dapat dilihat pada gambar 2.3 isolator jenis tarik/gantung.



Gambar 2.3 Isolator Keramik Jenis Tarik/Gantung

Isolator gantung mempunyai kualitas tegangan isolasi tidak begitu tinggi dibandingkan isolator jenis pasak, karena isolator gantung hanya memiliki satu piringan untuk setiap unit isolator. Oleh sebab itu agar memenuhi kebutuhannya maka isolator gantung ini digandeng-gandengkan satu unit dengan unit yang lain agar mendapatkan kualitas tegangan isolasi yang tinggi. Bila digandengkan isolator gantung mempunyai kualitas yang lebih tinggi dari isolator jenis pasak. Makin banyak gandengannya makin tinggi kualitas tegangan isolasinya.

Saluran transmisi banyak sekali menggunakan isolator gantung ini. Karena kekuatan mekanis isolator gantung ini lebih tinggi bila digandengkan, maka banyak digunakan untuk menahan besarnya tarikan atau ketegangan kawat pada tiang-tiang sudut (*angle pole*), tiang belokan tajam, dan tiang ujung (*deadend pole*).

2.3.4 Klasifikasi Isolator Saluran Udara

Menurut penggunaannya dan konstruksinya, isolator pemasangan luar (*outdoor insulator*) atau isolator saluran udara (*overhead insulator*) diklasifikasikan menjadi isolator pasak (*pin type insulator*), isolator piring (*suspension insulator*), isolator batang panjang (*long rod insulator*), isolator pos saluran (*line post insulator*), dan isolator pos pin (*pin post insulator*) (Irfangi, 2016).

2.4 Karakteristik Isolator

2.4.1 Karakteristik Elektrik

Karakteristik elektrik dari isolator yang dimaksud merupakan suatu kemampuan untuk menahan *flashover* dan arus bocor. Isolator yang dipasang pada

jaringan udara sangat mudah untuk terpengaruh oleh perubahan kondisi lingkungan udara sekitar. Perubahan-perubahan tersebut dapat mempengaruhi kinerja dari sebuah isolator, yaitu kemampuan isolator untuk menahan tegangan. Apabila di permukaan isolator terbentuk lapisan polutan akan mempengaruhi kinerja dari isolator tersebut. Kinerja isolator juga akan berbeda apabila permukaan isolator dalam kondisi basah dan dalam kondisi kering (Irfangi, 2016).

Isolator terdiri dari bahan isolasi yang diapit oleh elektroda-elektroda. Dengan demikian, isolator terdiri dari sejumlah kapasitansi, yang menyebabkan tegangan pada isolator menjadi tidak sama. Potensial pada bagian yang terkena tegangan (bagian ujung yang memegang kawat penghantar) adalah yang paling besar (Yosafat, 2014).

Karakteristik elektrik dari suatu isolator dapat dinilai dari tegangan *flashover* yang terdiri dari tegangan-tegangan *flashover* frekuensi rendah, impuls, dan tembus merusak (*puncture*).

- a. Mempunyai kekuatan mekanis yang tinggi agar dapat menahan beban kawat penghantar
- b. Memiliki konstanta dielektrikum (*relative permittivity*) yang tinggi, agar memberikan kekuatan dielektrik (*dielectric strength*) tinggi juga.
- c. Mempunyai tahanan isolasi (*insulation resistance*) yang tinggi agar dapat menghindari kebocoran arus ke tanah
- d. Mempunyai perbandingan (*ratio*) yang tinggi antara kekuatan pecah dengan tegangan loncatan api (*flash over voltage*)
- e. Menggunakan bahan yang tidak berpori-pori dan tidak terpengaruh oleh perubahan temperatur
- f. Bebas dari kotoran dari luar dan tidak retak maupun tergores, agar dapat dilewati oleh air atau gas di atmosfer
- g. Mempunyai kekuatan dielektrik (*dielectric strenght*) dan kekuatan mekanis (*mechanis strenght*) yang tinggi
- h. Bahan yang mampu mengisolir atau menahan tegangan yang mengenainya
- i. Tidak terlalu berat

2.4.2 Karakteristik Mekanis

Karakteristik mekanis suatu dari suatu isolator dapat ditandai dari kekuatan mekanisnya, yaitu beban mekanis terendah yang dapat mengakibatkan isolator tersebut rusak. Kekuatan mekanis ini dapat ditentukan dengan cara membebani isolator dengan beban yang bertambah secara bertahap hingga isolator terlihat rusak.

Isolator harus memiliki kekuatan mekanis untuk memikul beban mekanis penghantar yang diisolasi. Bahan isolasi sebagai bagian utama sebuah isolator, mempunyai sifat sebagai besi cor, dengan kuat tekan (*compressive strength*) yang besar dan kuat tarik (*tensile strength*) yang lebih kecil. Untuk porselin, kuat tariknya 400-900 kg/cm², sedangkan kuat tekannya 10 kali lebih besar.

Gaya tarik pada suatu isolator yang telah dipasang relatif besar, sehingga kekuatan bahan isolasi dan bagian-bagian yang disemenkan padanya harus dibuat lebih besar dari kekuatan bagian-bagian logamnya.

2.5 Kegagalan Isolator

Secara garis besar isolator tegangan tinggi memiliki dua fungsi, yaitu fungsi mekanik dan elektrik. Secara mekanik, isolator untuk mendukung atau menahan konduktor pada tegangan tinggi, sedangkan secara elektrik isolator berfungsi sebagai pemisah, yaitu untuk mencegah mengalirnya arus dari penghantar ke tanah atau ke menara penopang saluran udara. Pada saluran transmisi atau distribusi kegagalan isolasi dapat disebabkan oleh hal-hal sebagai berikut:

- Isolator pecah, disebabkan pemuaihan yang tidak merata dan kontraksi yang terjadi di dalam semen, baja, dan bahan porselin. Kegagalan ini juga bisa bias terjadi dikarenakan pergantian musim yang mencolok dan pemanasan berlebih.
- Ketidakhayuan bahan isolasi. Di tempat yang mengalami ketidakhayuan bahan isolasi pun akan terjadi kebocoran.
- Bahan tidak dapat mengkilap, sehingga air akan tetap tinggal padanya. Dapat menyebabkan penimbunan debu dan kotoran membentuk lapisan yang bersifat menghantar dan memperpendek jarak rayap (*creepage-distance*).

- Tekanan secara mekanis, misalnya karena penumpukkan isolator. Jika bahannya kurang kuat dapat menyebabkan isolator pecah.
- Bahan isolasi berlubang-lubang. Lubang terjadi karena bahan porselin diproses pada suhu rendah hingga mudah menyerap air. Kejadian ini dapat menyebabkan menurunnya kekuatan isolasi dan arus merambat melalui isolator.

Tembus (*puncture*) dan *flashover*. *Flashover* yaitu pelepasan muatan destruktif (bersifat merusak) yang melintasi pada seluruh bagian permukaan isolator. Pelepasan muatan ini disebabkan pembebanan medan listrik pada permukaan isolator melebihi harga ketahanan elektriknya. *Flashover* menimbulkan pemanasan dan ini dapat merusak isolator. Penyebabnya yaitu pengotoran permukaan isolator, surja hubung, dan surja petir. Sedangkan tembus (*puncture*) adalah pelepasan muatan destruktif pada bagian isolasi isolator, khusus terjadi pada isolator padat saja.

2.5.1 Kegagalan Isolator dalam Melaksanakan Fungsinya

Kegagalan-kegagalan isolator dalam melaksanakan fungsinya dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

- Kegagalan tembus (*breakdown*), biasanya disebabkan oleh faktor luar seperti sambaran petir. Persoalan ini dapat ditanggulangi oleh pengaman tanduk sehingga tidak mengenai isolator. Akibat kegagalan tembus (*breakdown*), karakteristik elektrik dari isolator tidak dapat pulih seperti semula dan sebagian isolator mengalami kerusakan mekanik sehingga tidak dapat digunakan kembali.
- Kegagalan *flashover*, umumnya bergantung pada tahanan permukaan dan bentuk isolator. Kegagalan ini biasanya disebabkan oleh kondisi lingkungan. Peristiwa *flashover* menyebabkan terjadinya kerusakan pada permukaan isolator.

2.6 *Flashover* pada Isolator

Flashover adalah gangguan eksternal yang terjadi pada permukaan isolator atau proses *flashover* pada permukaan suatu isolator yang disebabkan oleh berbagai faktor, diantaranya suhu, kelembaban, dan lingkungan sekitarnya (debu, asap pabrik, dan polutan garam). *Flashover* yang terjadi pada permukaan isolator padat disebabkan oleh tegangan yang harus ditahan oleh permukaan isolator melebihi

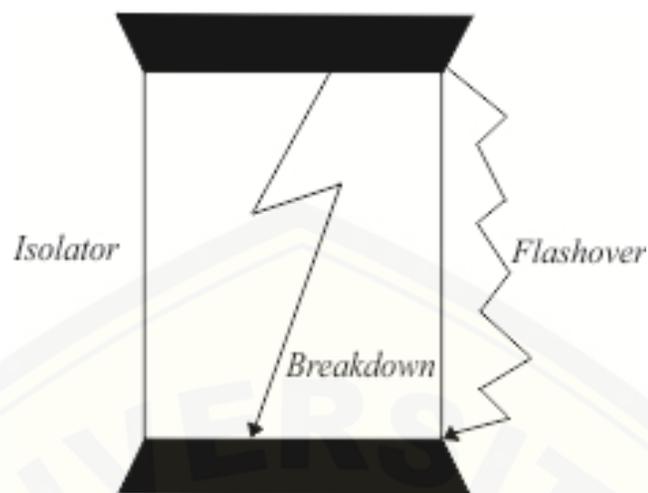
kemampuannya (Setiaji, 2012). Tegangan *flashover* adalah nilai atau ukuran tegangan yang dapat ditahan isolator sampai terjadinya *flashover*.

Tegangan *flashover* disebabkan polusi berbeda-beda terutama tergantung pada material, dapat larut dalam air walaupun jumlah materialnya pada permukaan isolator adalah sama. Hal ini tergantung pada jenis komponen dapat larut (Amali, 2012).

Dalam keadaan bersih, nilai tahanan isolator sangat besar. Apabila terbentuk lapisan pengotor pada permukaan akan menyebabkan turunnya nilai tahanan isolator. Ketika lapisan pengotor mengalami pembasahan, nilai tahanan menjadi semakin turun. Penurunan tahanan ini akan memperbesar arus bocor yang mengalir melalui permukaan isolator. Meningkatnya arus bocor dapat menimbulkan terjadinya proses penguapan. Pada tempat yang mendapatkan rapat arus terbesar akan terbentuk pita kering karena lapisan pengotor pada daerah ini lebih cepat kering. Daerah pita kering mempunyai tahanan yang lebih besar jika dibandingkan daerah terkotori lainnya. Keadaan ini menyebabkan terjadinya peluahan muatan (*discharge*) melintasi pita kering. Bila busur api memanjang melintasi seluruh permukaan isolator maka akan terjadi *flashover* (Amalia, 2012).

Di Indonesia pada musim kemarau terjadi penumpukan partikel-partikel kontaminan pada permukaan isolator dengan jenis dan tingkat kontaminan yang berbeda-beda. Sesuai dengan kondisi sekitar isolator itu dipasang, semakin jauh dari pantai, semakin kecil *Equivalent Salt Deposit Density* (ESDD) nya. Tegangan *flashover* pada permukaan isolator kering lebih tinggi dari pada tegangan *flashover* pada udara lembab, sehingga dalam keadaan basah atau lembab isolator mudah terjadi *flashover*.

Kegagalan tegangan pada isolator dapat dibedakan dalam dua kejadian, yaitu kegagalan tegangan tembus (*puncture voltage*) dan kegagalan permukaan yang berupa *flashover*. Tegangan gagal *flashover* lebih rendah dari tegangan gagal tembus. Apabila isolator mengalami tegangan tembus, maka isolator dapat mengalami kerusakan total (hancur) (Rahman, 2012).



Gambar 2.4 Kegagalan Isolator

Sumber: Irfangi, 2016

Kegagalan *flashover* berawal dari terbentuknya pita kering (*dry band*). Terbentuknya lapisan konduktif di permukaan isolator diakibatkan oleh adanya polutan yang menempel. Lapisan ini yang menyebabkan mengalirnya arus bocor (*leakage current*). Dengan mengalirnya arus bocor, terjadi pemanasan di lapisan tersebut. Lapisan ini dapat membentuk pita kering akibat dialiri arus bocor secara terus menerus. Pada tegangan tertentu, kondisi ini dapat menyebabkan pelepasan muatan melintasi pita kering. Pelepasan muatan dapat memanjang sehingga terbentuk busur listrik (*arc*) dan terjadi *flashover* yang melalui seluruh permukaan isolator (Yosafat, 2014).

2.7 Isolator Berpolutan

2.7.1 Sifat Polutan

Polutan yang mempengaruhi tahanan permukaan isolator dibagi menjadi dua jenis, polutan yang bersifat konduktif dan polutan yang bersifat inert.

2.7.1.1 Polutan Yang Bersifat Konduktif

Polutan yang bersifat konduktif yaitu polutan yang mampu menghantarkan arus listrik. Terdiri dari garam-garam yang mampu terurai menjadi ion-ion misalnya NaCl, MgCl₂, Na₂SO₄, Carbon dan lain sebagainya. Dalam suatu larutan garam-garam tersebut mudah terurai dan dapat mempengaruhi tahanan permukaan

pada isolator, karena garam-garam tersebut akan membentuk suatu lapisan konduktif pada permukaan isolator.

2.7.1.2 Polutan Yang Bersifat Inert

Polutan yang bersifat lembam merupakan bagian dari zat padat yang tidak terurai menjadi ion-ion dalam larutan, namun komponen ini dapat menyebabkan ketahanan permukaan isolator. Zat-zat seperti SiO_2 , tanah liat (kaolin) dapat membentuk suatu ikatan mekanis untuk mengikat komponen-komponen konduktif. Ikatan mekanis yang terbentuk akan mempersulit proses pencucian isolator. Perbedaan tingkat pengotoran antara permukaan atas dengan permukaan bawah akan terlihat pada isolator yang banyak mengandung komponen yang bersifat lembam.

2.7.2 Pembentukan Polutan pada Isolator

Sebagian besar zat pengotor, baik yang bersifat konduktif maupun bersifat *inert* dibawa oleh angin ke permukaan isolator. Hal ini berarti bahwa arah angin sangat mempengaruhi pola pembentukan endapan pada permukaan isolator. Pada daerah yang mempunyai arah angin relatif tetap, maka tumpukan zat pengotor biasanya lebih banyak terdapat di daerah permukaan isolator yang terbentuknya tidak beraturan.

2.8 Menghitung ESDD dan Konduktivitas

Pengukuran ini dilakukan untuk mengamati besarnya nilai ESDD, hubungannya dengan komposisi polutan yang diberikan, besarnya konduktivitas, yang berhubungan dengan tegangan *flashover*, serta pengaruh yang berhubungan dengan ketebalan polutan. Sebelum melakukan pengukuran konduktivitas semua peralatan yang digunakan dibersihkan terlebih dahulu, agar terhindar dari polutan lain. Setelah itu dilaksanakan pekerjaannya.

Pengukuran konduktivitas air menggunakan EC (*Electrical Conductivity*) meter, baik yang mengandung polutan (σ_2) maupun yang tidak (σ_1), pada suhu tertentu.

Sesudah didapat konduktivitas pada suhu 20⁰ C, selanjutnya dihitung konduktivitas garam dalam persen, menggunakan persamaan 2.1

$$D = \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times \sigma_{20})^{1,03}}{10} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana : D = konsentrasi garam NaCl (%)

σ_{20} = konduktivitas garam pada suhu 20⁰ C (μ S/cm)

Setelah diperoleh konduktivitas pada suhu 20⁰ C dan konsentrasi garam, kemudian dihitung nilai ESDD nya menggunakan persamaan 2.2

$$ESDD = 10 \times V \times \frac{(D_2 - D_1)}{S} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana : ESDD = *Equivalent Salt Deposit Density* (mg/cm²)

V = volume air pencuci (ml)

D₁ = ekuivalen konsentrasi garam dan air sebelum ada polutan (%)

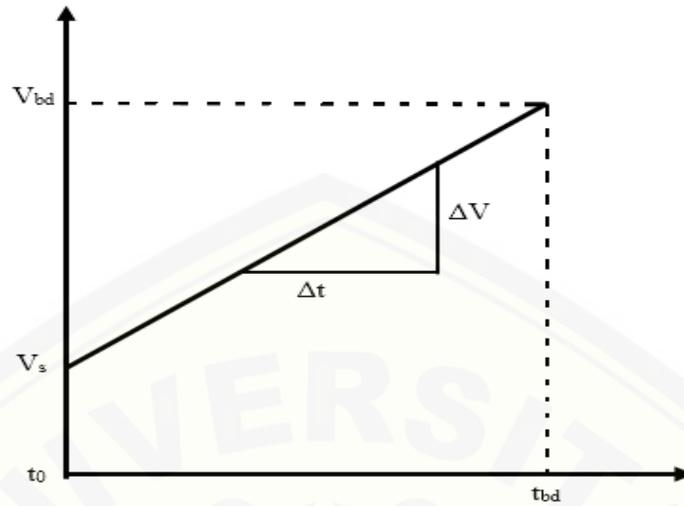
D₂ = ekuivalen konsentrasi garam dan air sesudah ada polutan (%)

S = luas permukaan isolator (cm²)

2.9 Metode *Slow Rate Of Rise Test*

Metode *slow rate of rise test* atau dapat disebut juga metode pengujian dengan kenaikan tegangan perlahan merupakan metode dengan cara pengujian dengan cara menaikkan tegangan specimen secara bertahap dengan laju tegangan yang konstan, mulai dari tegangan *start* V_s hingga specimen mengalami tembus listrik. Terjadinya tembus listrik harus pada t_{bd} > 120 detik sejak tegangan pengujian dikenakan pada spesimennya.

Apabila dalam pengujian sekelompok specimen, lebih dari satu specimen yang mengalami tembus listrik pada waktu kurang dari 120 detik, perlu dilakukan tindakan sebagai berikut : tegangan uji *start* V_s dikurangi, atau laju tegangan ($\Delta V/\Delta t$) diturunkan, atau mengurangi tegangan *start* dan laju tegangan secara bersamaan. Jika lebih dari satu specimen mengalami tembus listrik pada tegangan yang kurang dari 1,5V_s maka nilai tegangan *start* V_s dikurangi. Jika tembus listrik terjadi pada tegangan 2,5V_s dan waktu terjadinya tembus listrik lebih dari 120 detik, nilai V_s dinaikkan.



Gambar 2.5 Profil Pengujian dengan Kenaikan Tegangan Perlahan

Laju Tegangan $\Delta V / \Delta t$ (V/s)
1
2
5
10
12,5
20
25
50
100

Pembatasan

$t_{bd} > 120$ detik

$V_{bd} \geq 1,5 V_s$

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Empat metode yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi dua, yaitu:

3.1.1 Studi Literatur

Metode studi literatur dilakukan agar dapat lebih memahami tentang permasalahan dan teori dasar mengenai proses terjadinya *flashover* yang terjadi pada bahan isolasi yang dipakai dalam pengujian yakni isolator keramik jenis tarik dan post-pin. Selain itu studi literatur ini dilakukan untuk memahami katakteristik isolator berbahan keramik dan polimer yang terpengaruhi oleh keadaan lingkungan di daerah pantai, khususnya daerah puger.

3.1.2 Praktek Langsung

Praktek langsung dilakukan untuk mendapatkan data-data dari hasil uji di laboratorium tentang tegangan *flashover* isolator keramik jenis tarik dan post-pin dengan adanya pengaruh bahan polutan. Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan sebelum melakukan pengujian di laboratorium untuk pengambilan data, diantaranya yaitu:

a. Pembuatan Polutan

Bahan polutan yang digunakan sebagai polutan buatan didapatkan dengan cara melakukan pengambilan sampel air hujan di daerah puger dan pembersihan tiang-tiang saluran listrik seperti pada gambar 3.1 dibawah untuk mendapatkan sampel kandungan polutan yang ada. Kemudian mengujinya di laboratorium untuk mendapatkan kandungan yang terkandung dalam polutan tersebut.



Gambar 3.1 Lokasi Tempat Pengambilan Sampel Polutan

b. Pembersihan Bahan Uji

Isolator yang akan di uji harus benar-benar dalam kondisi kering dan bersih sebelum dipakai dalam proses pengujian. Isolator harus dicuci sampai bersih dan dikeringkan, supaya isolator yang akan di uji benar-benar bebas dari kotoran atau polutan lain yang menempel.

c. Perlakuan Terhadap Isolator Keramik Jenis Tarik dan Post-Pin

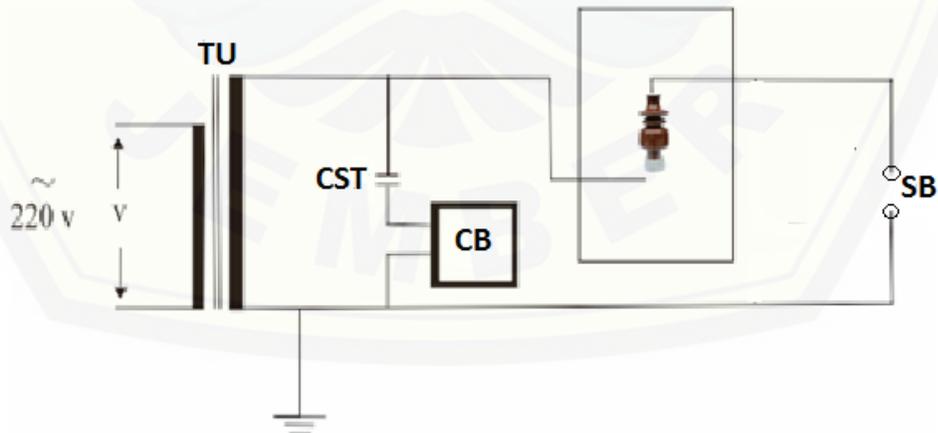
Sebelum dilakukan pengujian, isolator keramik jenis tarik dan post-pin terlebih dahulu mengalami beberapa perlakuan, yaitu harus dibersihkan, kemudian isolator disemprotkan dengan polutan buatan menggunakan alat penyemprot polutan pada salah satu sisi permukaan isolatornya, dengan variasi sudut penyemprotan 0° , 30° , 60° , 90° , 120° , 150° , dan 180° . Dapat dilihat pada gambar 3.2 untuk proses penyemprotan isolator.



Gambar 3.2 Proses Penyemprotan Isolator Tarik

d. Pengujian Tegangan *Flashover*

Isolator keramik jenis tarik dan post-pin sebagai bahan pengujian akan di uji kekuatan dielektriknya dengan menguji tegangan *flashover*-nya terhadap perubahan konsentrasi polutan dalam kondisi isolator kering dan basah. Pengujian dilakukan dengan menggunakan gelombang sinus tegangan tinggi AC, hingga terjadi tegangan *flashover* pada bahan yang diuji.



Gambar 3.3 Rangkaian Pengujian Tegangan *Flashover*

(Irfangi,2016)

Keterangan :

- TU = Transformator uji tegangan tinggi 220 V / 100 kV
CST = Kapasitor
CB = Kotak kontrol
SB = Sela bola

e. Penentuan Konduktivitas dari Polutan Yang Menempel pada Isolator

Penentuan konduktivitas dilakukan dengan membersihkan seluruh polutan yang menempel pada isolator dan dilarutkan ke dalam air aquades sebanyak 200 cc sehingga menjadi larutan yang homogen. Kemudian dimasukkan ke suatu gelas ukur yang telah tersedia di Laboratorium yang berdimensi $l = 13,3$ cm dan $d = 7,6$ cm, selanjutnya dilakukan pengukuran konduktivitas menggunakan alat EC (*Electrical Conductivity*) meter, dapat dilihat pada gambar 3.4 dibawah.



Gambar 3.4 Pengukuran Konduktivitas Menggunakan EC Meter

f. Pembangkitan Tegangan Tinggi AC

Untuk membangkitkan tegangan tinggi AC, dapat digunakan transformator *step-up* dengan sisi primer 220 V dari jala-jalan PLN dan sisi sekundernya bisa menaikkan sampai tegangan 100 kV.

3.4.3 Pengambilan Data

Untuk pengambilan data pengujian meliputi tahap-tahap sebagai berikut:

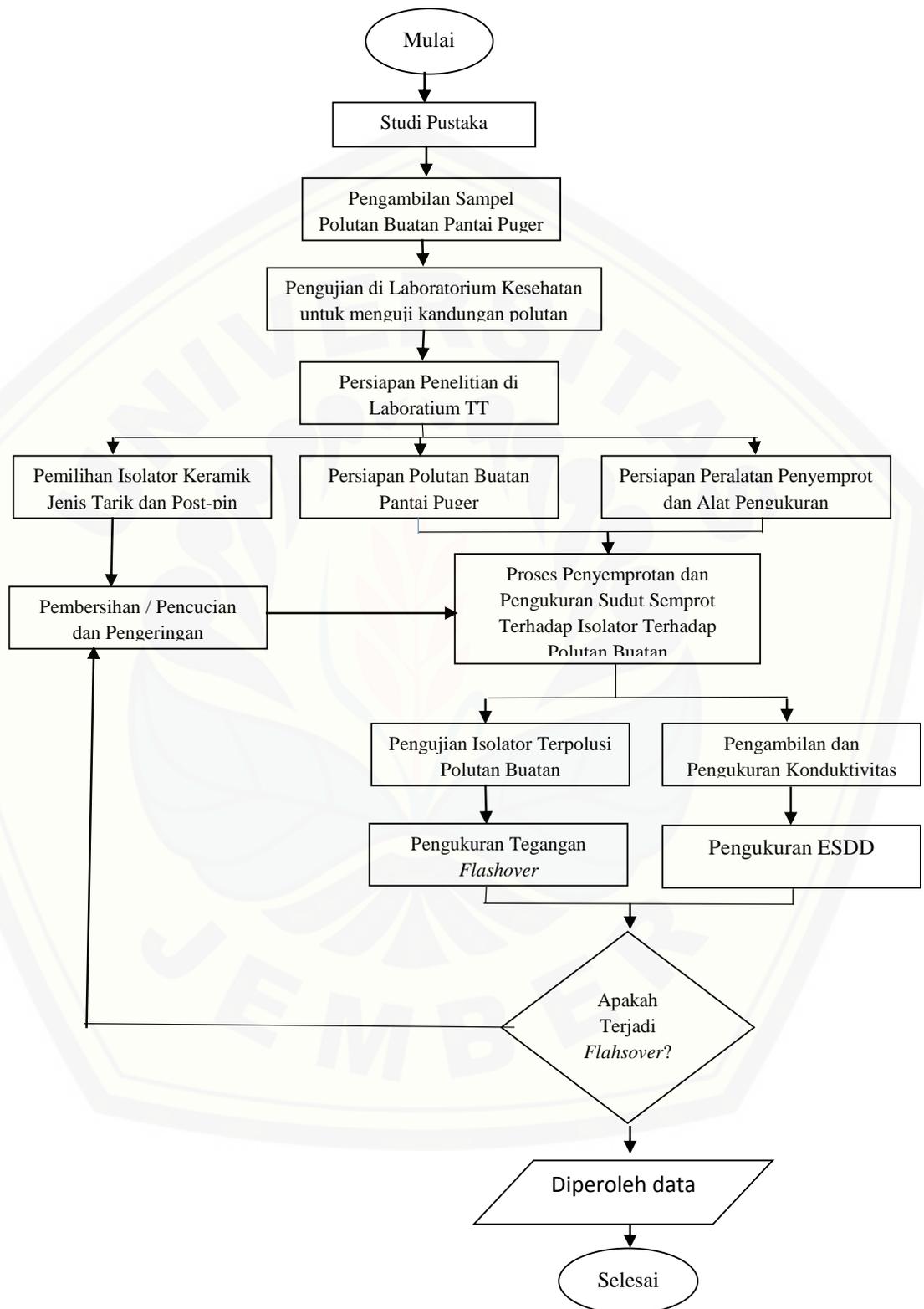
1. Untuk melakukan pengujian ketahanan pada isolator menggunakan metode *Slow Rate Of Rise Test* dilakukan dengan menaikkan tegangan spesimen secara bertahap dengan laju tegangan yang konstan, mulai dari tegangan *start* V_s hingga spesimen mengalami tegangan tembus listrik pada kondisi kering maupun basah. Hal ini dapat ditandai dengan terjadinya suara letupan dan terjadinya percikan api pada permukaan isolator seiring dengan terjadinya *flashover* pada isolator. Terjadinya tembus listrik ini harus pada $t_{\text{flashover}} > 120$ detik sejak tegangan pengujian dikenakan pada spesimennya.
2. Pengambilan data diawali dengan menetapkan tegangan tembus spesimen, menurut pengujian waktu singkat ($V_{\text{flashover}}$) atau menurut pengalaman dalam pengujian-pengujian yang sudah pernah dilakukan, kemudian dihitung perkiraan tegangan uji *start* $V_s = 0,5 V_{\text{flashover}}$.
3. Apabila dalam pengujian sekelompok spesimen, lebih dari satu spesimen yang mengalami tembus listrik pada waktu kurang dari 120 detik, perlu dilakukan tindakan sebagai berikut:
 - a. Tegangan uji *start* V_s dikurangi, atau laju tegangan ($\Delta V/\Delta t$) diturunkan, atau mengurangi tegangan *start* dan laju tegangan secara bersamaan.
 - b. Jika lebih dari satu spesimen mengalami tembus listrik pada tegangan yang kurang dari $1,5V_s$ maka nilai tegangan *start* V_s dikurangi.
 - c. Jika tembus listrik terjadi pada tegangan $2,5V_s$ dan waktu terjadinya tembus listrik lebih dari 120 detik, nilai V_s dinaikkan.
4. Kemudian mencatat besarnya tegangan dan waktu tembus listrik yang terjadi pada saat pengujian.
5. Setelah di uji isolatornya, kemudian isolator di cuci menggunakan air pencuci (air aquades) sebanyak 200 ml. Untuk cara pencuciannya yaitu :
 - a. Isolator dicuci dengan menggunakan satu buah kapas dengan. Sebelumnya terlebih dahulu air pencuci di ukur nilai konduktivitasnya.
 - b. Proses pencucian isolator dilakukan di sebuah baskom yang sudah dibersihkan dengan air aquades.

- c. Air pencuci dipakai setengahnya untuk mencuci tahap awal dengan menggunakan kapas, dan setengahnya digunakan untuk pencucian tahap akhir.
 - d. Setelah isolator dicuci, air cucian, kapas diletakkan pada baskom, kemudian di ukur nilai konduktivitasnya.
6. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengulangan sebanyak tiga kali, kemudian diambil rata-ratanya.

3.4.4 Analisis Data

Analisis data penelitian dari pengaruh polutan garam terhadap tegangan *flashover* pada isolator berbahan keramik dan polimer dengan menggunakan metode *Slow Rate Of Rise Test* dilakukan dengan melihat hasil data pengujian yang selanjutnya disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Berdasarkan analisis ini akan diperoleh kesimpulan mengenai kelayakan isolator berbahan keramik dan polimer yang terkontaminasi oleh polutan garam dalam kondisi kering dan basah.

3.3 Desain Penelitian



Gambar 3.5 Flowchart penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diperoleh beberapa kesimpulan antara lain :

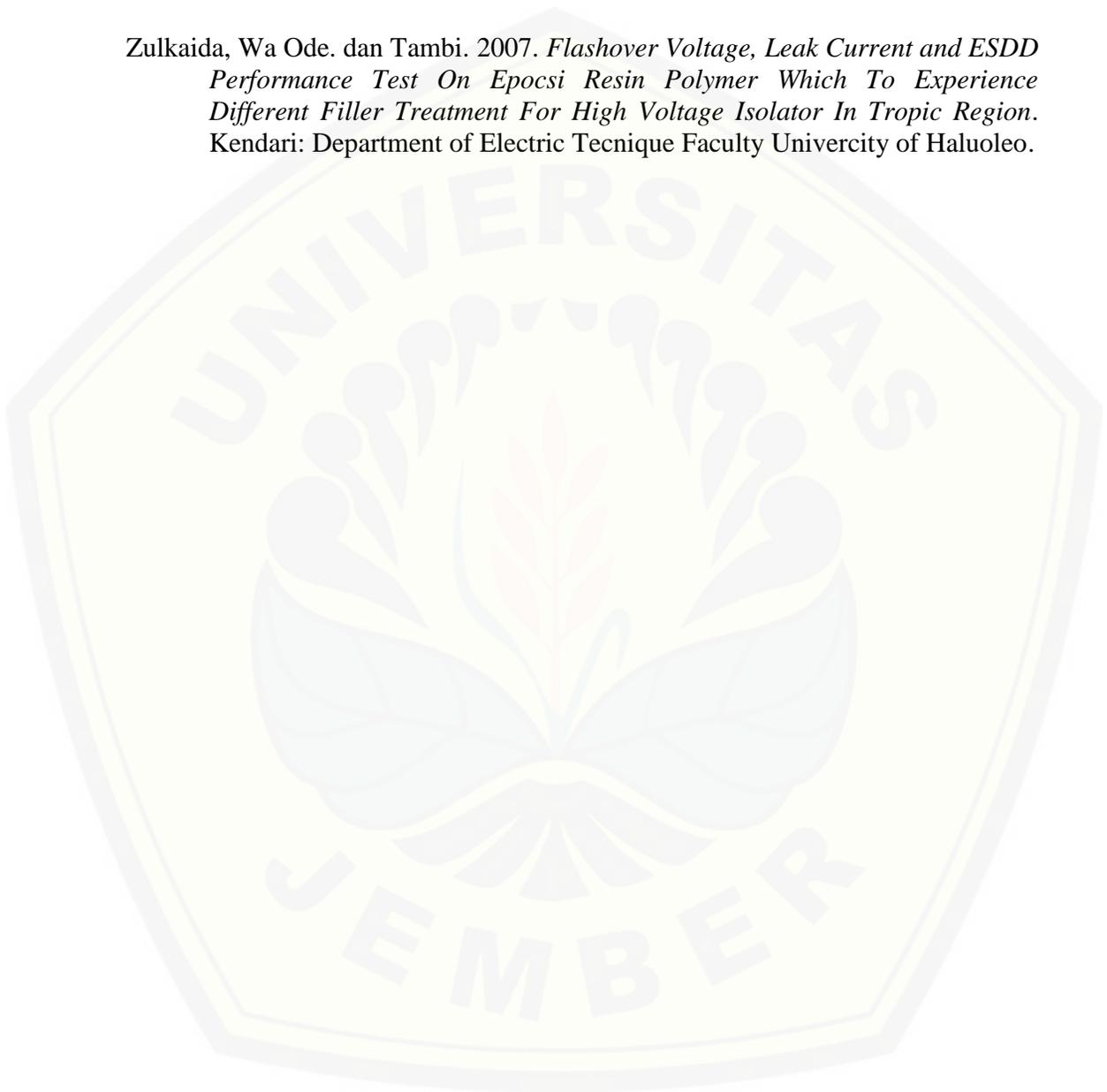
1. Penggunaan metode *slow rate of rise test* untuk pengujian tegangan *flashover* pada isolator keramik jenis tarik dan pin-post dengan adanya pengaruh polutan telah memberikan hasil bahwa nilai tegangan *flashover* akan semakin turun, seiring dengan bertambah besarnya nilai ESDD. Pada isolator keramik jenis tarik penurunan kinerja isolator paling besar terjadi pada saat sudut 120^0 dengan tegangan sebesar 43,333kV saat ESDD sebesar 0,031 mengalami penurunan sebesar 24,418% dan pada isolator post-pin penurunan kinerja isolator paling besar terjadi pada saat sudut 900 dengan tegangan sebesar 34,667kV saat ESDD sebesar 0,026 mengalami penurunan sebesar 34,993%.
2. Hasil perbandingan berupa besarnya tegangan *flashover* antara isolator berbahan keramik Jenis Tarik dan post-pin dalam kondisi kering dan basah, serta kondisi tanpa polutan dan berpolutan, telah memberikan hasil bahwa isolator berbahan Tarik lebih baik daripada isolator berbahan Post-pin dari segi besarnya nilai ketahanan tegangan *flashover* – nya. Hal ini menyebabkan isolator tarik lebih kuat dengan kondisi polutan yang terdapat di pantai puger daripada isolator post-pin.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2009. *Standard Test Method for Dielectric Breakdown Voltage and Dielectric Strength of Solid Electrical Insulating Materials at Commercial Power Frequencies*. USA: ASTM International.
- Amali, Lanto, M. L. 2012. *Analisis Pengujian Arus Bocor Line Post Insulator 70 kV yang Terkontaminasi Polutan Industri*. Gorontalo: Teknik Elektro Fak. Teknik Universitas Negeri Gorontalo.
- Irfangi, Muhammad, 2016. *Pengaruh Polutan Garam Terhadap Tegangan Flashover Pada Isolator Berbahan Keramik Dan Polimer Menggunakan Metode Slow Rise Of Rise Test*. Jember: Teknik Elektro Fak. Teknik Universitas Jember.
- Setiaji, Muhammad, E. D., Yuningtyastuti., Syakur, Abdul. 2012. *Pengujian Tegangan Flashover dan Arus Bocor pada Isolator 20 kV Berbahan Resin Epoksi Silane Silika Kondisi Basah dan Kering*. Semarang: Teknik Elektro Fak. Teknik Universitas Diponegoro.
- Steven, Rudy, Simon. 2008. *Pengaruh Polutan Terhadap Tahanan Permukaan Isolator Epoxy Resin*. Depok: Fakultas Teknik Departemen Teknik Universitas Indonesia.
- Suyanto, Muhammad. 2010. *Pengujian Isolator Pin-Post 20 kV Terkontaminasi Garam Mengakibatkan Arus Bocor Flashover Pada Permukaan*. Jogjakarta: Jurusan Teknik Elektro IST AKPRIND Jogjakarta.
- Tobing, Bonggas, L. 2012. *Dasar-dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT. Gelora Aksara Pratama.
- Tobing, Bonggas, L. dan Lubis, Mustafriend. 2007. *Hubungan Intensitas Polusi Isolator Jaringan Distribusi di Sumatra Utara dengan Jarak Lokasi Isolator di Pantai*. Medan: Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik USU.
- Wardhani, Arfianti Kusuma. 2011. *Analisis Perbandingan Pengaruh Debu Semen Antara Isolator Pos Pin dan Isolator Gantung Terhadap Flashover Menggunakan Metode Short Time Test*. Jember: Teknik Elektro Fak. Teknik Universitas Jember.
- Wasiluddin, Muhammad. 2010. *Analisa Pengaruh Polutan Garam Terhadap Arus Bocor pada Isolator Gantung*. Jember: Teknik Elektro Fak. Teknik Universitas Jember.

Yosafat, Fery Indra. 2014. *Penggunaan Metode Step By Step Test Untuk Membandingkan Flashover Pada Isolator Berbahan Keramik dan Polimer Terhadap Polutan Abu Terbang*. Jember: Teknik Elektro Fak. Teknik Universitas Jember.

Zulkaida, Wa Ode. dan Tambi. 2007. *Flashover Voltage, Leak Current and ESDD Performance Test On Epoksi Resin Polymer Which To Experience Different Filler Treatment For High Voltage Isolator In Tropic Region*. Kendari: Department of Electric Technique Faculty University of Haluoleo.



LAMPIRAN - LAMPIRAN

LAMPIRAN A. PERHITUNGAN

Diketahui :

$$S_{\text{tarik}} = 2300,25 \text{ cm}^2 \qquad v = 200 \text{ cc}$$

$$S_{\text{post-pin}} = 2735,725 \text{ cm}^2 \qquad \theta = 28^\circ \text{ C}$$

1. Perhitungan pada isolator berbahan keramik jenis tarik

Pertama setelah mendapatkan nilai konduktivitas pada saat pengujian di lab. Tegangan Tinggi ITS kita menghitung nilai konduktivitas pada keadaan standar yakni pada saat suhu 20^0

Pada saat pengujian di ITS didapatkan konduktivitas pada saat tidak ada polutan sebesar $2 \mu\text{S}/\text{cm}$ dan pada saat ada polutan buatan pada isolator tarik dengan sudut 0^0 dengan 1 kali penyemprotan sebesar $322 \mu\text{S}/\text{cm}$

$$\sigma_{20} = \sigma_{\theta} [1 - 0,02277 (\theta - 20)]$$

$$\begin{aligned} \sigma_{20 \text{ air tanpa polutan}} &= 2 [1 - 0,02277 (28 - 20)] \\ &= 1,635 \mu\text{S}/\text{cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{20 \text{ air berpolutan}} &= 322 [1 - 0,02277 (28 - 20)] \\ &= 263,344 \mu\text{S}/\text{cm} \end{aligned}$$

Setelah itu menghitung konsentrasi garam dalam persen

$$D = \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times \sigma_{20})^{1,03}}{10}$$

$$\begin{aligned} D_1 \text{ (air tanpa polutan)} &= \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times 1,635)^{1,03}}{10} \\ &= 0,0000755 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_2 \text{ (air berpolutan)} &= \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times 263,344)^{1,03}}{10} \\ &= 0,014 \% \end{aligned}$$

Setelah itu menghitung nilai ESDD

$$ESDD = 10 \times V \times \frac{(D_2 - D_1)}{S}$$

$$\begin{aligned}
 ESDD &= 10 \times 200 \times \frac{(0,014 - 0,000075)}{2300,25} \\
 &= 0,012 \text{ mg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Dari hasil nilai ESDD yang diperoleh yakni sebesar 0,012 mg/cm² maka ESDD tersebut masuk dalam kategori pengotoran sangat ringan.

2. Perhitungan pada isolator berbahan keramik jenis post-pin

Sama seperti pada diatas, setelah mendapatkan nilai konduktivitas pada saat pengujian di lab. Tegangan Tinggi ITS kita menghitung nilai konduktivitas pada keadaan standar yakni pada saat suhu 20⁰

Pada saat pengujian di ITS didapatkan konduktivitas pada saat tidak ada polutan sebesar 2 $\mu\text{S/cm}$ dan pada saat ada polutan buatan pada isolator post-pin dengan sudut 0⁰ dengan 1 kali penyemprotan sebesar 527 $\mu\text{S/cm}$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{20} &= \sigma_{\theta} [1 - 0,02277 (\theta - 20)] \\
 \sigma_{20 \text{ air tanpa polutan}} &= 2 [1 - 0,02277 (28 - 20)] \\
 &= 1,635 \mu\text{S/cm} \\
 \sigma_{20 \text{ air berpolutan}} &= 527 [1 - 0,02277 (28 - 20)] \\
 &= 431,001 \mu\text{S/cm}
 \end{aligned}$$

Setelah itu menghitung konsentrasi garam dalam persen

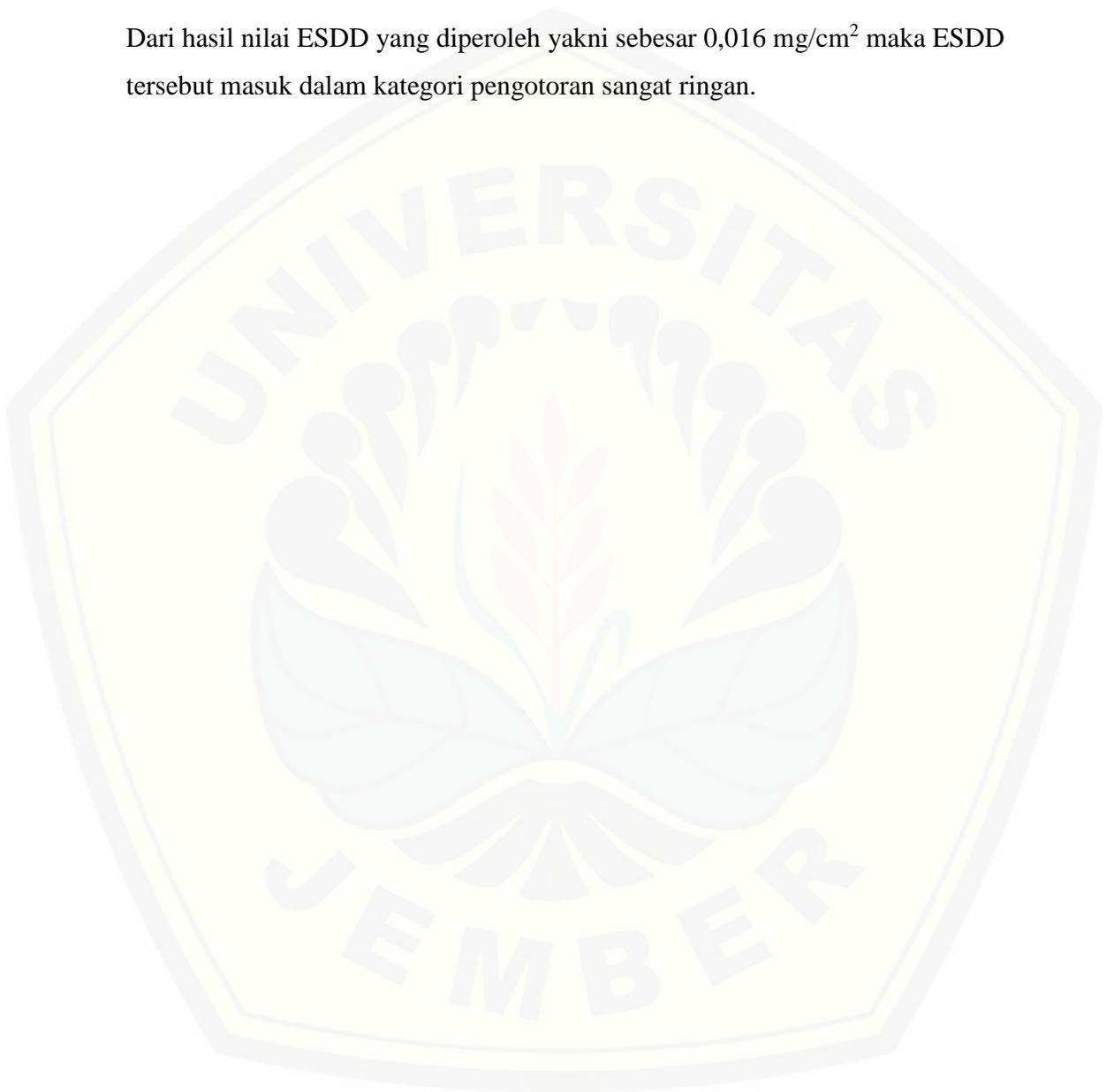
$$\begin{aligned}
 D &= \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times \sigma_{20})^{1,03}}{10} \\
 D_1 \text{ (air tanpa polutan)} &= \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times 1,635)^{1,03}}{10} \\
 &= 0,0000755 \% \\
 D_2 \text{ (air berpolutan)} &= \frac{(5,7 \times 10^{-4} \times 431,001)^{1,03}}{10} \\
 &= 0,023 \%
 \end{aligned}$$

Setelah itu menghitung nilai ESDD

$$ESDD = 10 \times V \times \frac{(D_2 - D_1)}{S}$$

$$\begin{aligned} ESDD &= 10 \times 200 \times \frac{(0,023 - 0,000075)}{2735,725} \\ &= 0,016 \text{ mg/cm}^2 \end{aligned}$$

Dari hasil nilai ESDD yang diperoleh yakni sebesar 0,016 mg/cm² maka ESDD tersebut masuk dalam kategori pengotoran sangat ringan.



3. Perhitungan Persentase Penurunan Kinerja Isolator

Persentase penurunan kinerja isolator keramik dan polimer, saat kondisi isolator bersih tanpa polutan dan kondisi isolator terkena polutan, menggunakan rumus :

$$\text{Persentase penurunan} = \frac{T_{tp} - T_p}{T_{tp}} \times 100 \%$$

Keterangan : T_{tp} = Tegangan *flashover* tanpa polutan

T_p = Tegangan *flashover* berpolutan

3.1 Isolator berbahan keramik jenis tarik kondisi kering

1. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$0^0 = \frac{76 - 73,333}{76} \times 100 \% = 3,509 \%$$

2. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$0^0 = \frac{76 - 71,333}{76} \times 100 \% = 6,140 \%$$

3. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$0^0 = \frac{76 - 68,333}{76} \times 100 \% = 10,088 \%$$

4. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$30^0 = \frac{76 - 74}{76} \times 100 \% = 2,631 \%$$

5. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$30^0 = \frac{76 - 70,667}{76} \times 100 \% = 7,017 \%$$

6. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$30^0 = \frac{76 - 68}{76} \times 100 \% = 10,526 \%$$

7. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$60^0 = \frac{76 - 70,667}{76} \times 100 \% = 7,017 \%$$

8. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$60^0 = \frac{76 - 68}{76} \times 100 \% = 10,526 \%$$

9. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$60^0 = \frac{76 - 66}{76} \times 100 \% = 13,157 \%$$

10. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$90^0 = \frac{76-72,667}{76} \times 100 \% = 4,385 \%$$

11. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$90^0 = \frac{76-71,333}{76} \times 100 \% = 6,140 \%$$

12. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$90^0 = \frac{76-68}{76} \times 100 \% = 10,526 \%$$

13. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$120^0 = \frac{76-73,333}{76} \times 100 \% = 3,509 \%$$

14. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$120^0 = \frac{76-72}{76} \times 100 \% = 5,263 \%$$

15. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$120^0 = \frac{76-71,667}{76} \times 100 \% = 5,701 \%$$

16. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$150^0 = \frac{76-72,667}{76} \times 100 \% = 4,385 \%$$

17. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$150^0 = \frac{76-69,333}{76} \times 100 \% = 8,772 \%$$

18. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$150^0 = \frac{76-68}{76} \times 100 \% = 10,526 \%$$

19. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$180^0 = \frac{76-74}{76} \times 100 \% = 2,631 \%$$

20. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$180^0 = \frac{76-72}{76} \times 100 \% = 5,263 \%$$

21. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$180^0 = \frac{76-67,333}{76} \times 100 \% = 11,403 \%$$

3.2 Isolator berbahan keramik jenis tarik kondisi basah

1. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$0^0 = \frac{57,333-54}{57,333} \times 100 \% = 5,813 \%$$

2. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$0^0 = \frac{57,333-51,333}{57,333} \times 100 \% = 10,465 \%$$

3. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$0^0 = \frac{57,333-50}{57,333} \times 100 \% = 12,790 \%$$

4. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$30^0 = \frac{57,333-50,667}{57,333} \times 100 \% = 11,626 \%$$

5. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$30^0 = \frac{57,333-48}{57,333} \times 100 \% = 16,278 \%$$

6. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$30^0 = \frac{57,333-45,333}{57,333} \times 100 \% = 20,930 \%$$

7. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$60^0 = \frac{57,333-48}{57,333} \times 100 \% = 16,278 \%$$

8. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$60^0 = \frac{57,333-46,667}{57,333} \times 100 \% = 18,603 \%$$

9. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$60^0 = \frac{57,333-45,333}{57,333} \times 100 \% = 20,930 \%$$

10. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$90^0 = \frac{57,333-48}{57,333} \times 100 \% = 16,278 \%$$

11. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$90^0 = \frac{57,333-46}{57,333} \times 100 \% = 19,769 \%$$

12. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$90^0 = \frac{57,333-43,333}{57,333} \times 100 \% = 24,418 \%$$

13. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$120^0 = \frac{57,333-47,333}{57,333} \times 100 \% = 17,441 \%$$

14. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$120^0 = \frac{57,333-46}{57,333} \times 100 \% = 19,766 \%$$

15. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$120^0 = \frac{57,333-43,333}{57,333} \times 100 \% = 24,418 \%$$

16. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$150^0 = \frac{57,333-50,667}{57,333} \times 100 \% = 11,626 \%$$

17. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$150^0 = \frac{57,333-49,333}{57,333} \times 100 \% = 13,953 \%$$

18. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$150^0 = \frac{57,333-47,333}{57,333} \times 100 \% = 17,441 \%$$

19. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$180^0 = \frac{57,333-50,667}{57,333} \times 100 \% = 11,667 \%$$

20. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$180^0 = \frac{57,333-50}{57,333} \times 100 \% = 12,790 \%$$

21. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$180^0 = \frac{57,333-48}{57,333} \times 100 \% = 16,278 \%$$

3.3 Isolator berbahan keramik jenis post-pin kondisi kering

1. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$0^0 = \frac{60,667-55,333}{60,667} \times 100 \% = 8,792 \%$$

2. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$0^0 = \frac{60,667-54}{60,667} \times 100 \% = 10,989 \%$$

3. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$0^0 = \frac{60,667-51,333}{60,667} \times 100 \% = 15,385 \%$$

4. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$30^0 = \frac{60,667-54}{60,667} \times 100 \% = 10,989 \%$$

5. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$30^0 = \frac{60,667-51,333}{60,667} \times 100 \% = 15,385 \%$$

6. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$30^0 = \frac{60,667-49,333}{60,667} \times 100 \% = 18,682 \%$$

7. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$60^0 = \frac{60,667-52,667}{60,667} \times 100 \% = 13,186 \%$$

8. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$60^0 = \frac{60,667-48}{60,667} \times 100 \% = 20,879 \%$$

9. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$60^0 = \frac{60,667-46}{60,667} \times 100 \% = 24,176 \%$$

10. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$90^0 = \frac{60,667-52,667}{60,667} \times 100 \% = 13,186 \%$$

11. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$90^0 = \frac{60,667-52}{60,667} \times 100 \% = 14,286 \%$$

12. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$90^0 = \frac{60,667-49,333}{60,667} \times 100 \% = 18,682 \%$$

13. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$120^0 = \frac{60,667-50}{60,667} \times 100 \% = 17,582 \%$$

14. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$120^0 = \frac{60,667-48}{60,667} \times 100 \% = 20,879 \%$$

15. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$120^0 = \frac{60,667-44,667}{60,667} \times 100 \% = 26,373 \%$$

16. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$150^0 = \frac{60,667-50,667}{60,667} \times 100 \% = 16,483 \%$$

17. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$150^0 = \frac{60,667-48}{60,667} \times 100 \% = 20,879 \%$$

18. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$150^0 = \frac{60,667-45,333}{60,667} \times 100 \% = 25,275 \%$$

19. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$180^0 = \frac{60,667-55,333}{60,667} \times 100 \% = 8,792 \%$$

20. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$180^0 = \frac{60,667-54}{60,667} \times 100 \% = 10,989 \%$$

21. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$180^0 = \frac{60,667-52,667}{60,667} \times 100 \% = 13,186 \%$$

3.4 Isolator berbahan keramik jenis post-pin kondisi basah

1. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$0^0 = \frac{53,333-48}{88} \times 100 \% = 9,999 \%$$

2. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$0^0 = \frac{53,333-45,667}{53,333} \times 100 \% = 14,373 \%$$

3. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$0^0 = \frac{53,333-44}{53,333} \times 100 \% = 17,499 \%$$

4. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$30^0 = \frac{53,333-48}{88} \times 100 \% = 9,999 \%$$

5. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$30^0 = \frac{53,333-45,333}{53,333} \times 100 \% = 15 \%$$

6. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$30^0 = \frac{53,333-42,667}{53,333} \times 100 \% = 19,998 \%$$

7. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$60^0 = \frac{53,333-45,333}{88} \times 100 \% = 15 \%$$

8. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$60^0 = \frac{53,333-42}{53,333} \times 100 \% = 21,249 \%$$

9. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$60^0 = \frac{53,333-38,667}{53,333} \times 100 \% = 27,498 \%$$

10. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$90^0 = \frac{53,333-42,333}{88} \times 100 \% = 20,625 \%$$

11. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$90^0 = \frac{53,333-39,667}{53,333} \times 100 \% = 25,623 \%$$

12. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$90^0 = \frac{53,333-34,667}{53,333} \times 100 \% = 34,993 \%$$

13. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$120^0 = \frac{53,333-46}{88} \times 100 \% = 13,749 \%$$

14. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$120^0 = \frac{53,333-42,667}{53,333} \times 100 \% = 19,998 \%$$

15. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$120^0 = \frac{53,333-40}{53,333} \times 100 \% = 24,999 \%$$

16. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$150^0 = \frac{53,333-47,333}{88} \times 100 \% = 11,250 \%$$

17. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$150^0 = \frac{53,333-45,333}{53,333} \times 100 \% = 14,667 \%$$

18. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$150^0 = \frac{53,333-44}{53,333} \times 100 \% = 17,499 \%$$

19. Isolator keramik satu kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$180^0 = \frac{53,333-50}{88} \times 100 \% = 6,249 \%$$

20. Isolator keramik dua kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$180^0 = \frac{53,333-49,333}{53,333} \times 100 \% = 7,5 \%$$

21. Isolator keramik tiga kali penyemprotan dengan sudut penyemprotan

$$180^0 = \frac{53,333-48}{53,333} \times 100 \% = 9,999 \%$$



LAMPIRAN B. DATA HASIL PENGUJIAN

Tanggal Pengujian : 03-05 April 2017

Suhu Ruang Laboratorium : 28° C

**A. Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* pada Isolator Tarik Berbahan Keramik
Kondisi Kering**

No.	Kondisi	Variabel	V _s (kV)	ΔV/Δt (V/s)	t _{flashover} r (s)	Pengulangan			V _{flashover} rata-rata
						V _{flashover} I (kV)	V _{flashover} II (kV)	V _{flashover} III (kV)	
1	Tanpa polutan	-	40	100	310	76	76	76	76
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 0°	I	40	100	290	74	72	74	73,333
		II	40	100	270	72	70	72	71,333
		III	40	100	240	68	69	68	68,333
3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	40	100	290	74	74	74	74
		II	40	100	260	72	70	70	70,667
		III	40	100	230	68	68	68	68
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	40	100	260	72	70	70	70,667
		II	40	100	230	68	68	68	68
		III	40	100	210	66	66	66	66
5	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	40	100	280	74	72	72	72,667
		II	40	100	270	72	70	72	71,333
		III	40	100	270	68	68	68	68
6	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 120°	I	40	100	270	74	74	72	73,333
		II	40	100	240	72	72	72	72
		III	40	100	200	72	72	70	71,333
7	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 150°	I	40	100	280	72	72	74	72,667
		II	40	100	230	70	70	68	69,333
		III	40	100	220	66	68	68	68
8	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 180°	I	40	100	290	74	74	74	74
		II	40	100	270	72	72	72	72
		III	40	100	230	68	68	66	67,333

Keterangan :

I : penyemprotan pertama (satu kali semprotan)

II : penyemprotan kedua (dua kali semprotan)

III : penyemprotan ketiga (tiga kali semprotan)

**B. Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* pada Isolator Tarik Berbahan Keramik
Kondisi Basah**

No.	Kondisi	Variabel	V_s (kV)	$\Delta V/\Delta t$ (V/s)	$t_{\text{flashover}}$ (s)	Pengulangan			$V_{\text{flashover}}$ rata-rata
						$V_{\text{flashover I}}$ (kV)	$V_{\text{flashover II}}$ (kV)	$V_{\text{flashover III}}$ (kV)	
1	Tanpa polutan	-	30	100	170	58	58	56	57,333
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 0°	I	30	100	220	54	54	54	54
		II	30	100	190	52	52	50	51,333
		III	30	100	170	50	50	50	50
3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	30	100	190	52	50	50	50,667
		II	30	100	190	48	48	48	48
		III	30	100	170	46	46	44	45,333
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	30	100	180	48	48	46	47,333
		II	30	100	180	46	48	46	46,667
		III	30	100	170	46	46	44	45,333
5	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	30	100	190	48	48	48	48
		II	30	100	160	46	46	46	46
		III	30	100	130	44	44	42	43,333
6	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 120°	I	30	100	180	48	48	46	47,333
		II	30	100	180	46	46	46	46
		III	30	100	170	44	44	42	43,333
7	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 150°	I	30	100	190	52	50	50	50,667
		II	30	100	190	50	50	48	49,333
		III	30	100	170	48	48	46	47,333
8	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 180°	I	30	100	190	52	50	50	50,667
		II	30	100	180	52	50	48	50
		III	30	100	150	48	48	48	48

Keterangan :

I : penyemprotan pertama (satu kali semprotan)

II : penyemprotan kedua (dua kali semprotan)

III : penyemprotan ketiga (tiga kali semprotan)

Tanggal Pengujian : 03-05 April 2016
 Suhu Ruang Laboratorium : 28° C
 Luas Permukaan Isolator : 2300,25 cm²
 Volume Air Pencuci : 200 cc

C. Hasil Pengukuran Konduktivitas, Perhitungan ESDD, dan Tingkat Pengotoran pada Isolator Tarik Berbahan Keramik Kondisi Kering

No	Kondisi	Variabel	σ	ESDD	Tingkat Pengotoran
1	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 0°	I	322	0.012	Sangat ringan
		II	431	0.016	Sangat ringan
		III	563	0.021	Sangat ringan
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	382	0.013	Sangat ringan
		II	500	0.019	Sangat ringan
		III	587	0.022	Sangat ringan
3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	446	0.016	Sangat ringan
		II	582	0.022	Sangat ringan
		III	650	0.025	Sangat ringan
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	532	0.019	Sangat ringan
		II	621	0.023	Sangat ringan
		III	709	0.026	Sangat ringan
5	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 120°	I	458	0.017	Sangat ringan
		II	576	0.021	Sangat ringan
		III	684	0.022	Sangat ringan
6	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 150°	I	362	0.013	Sangat ringan
		II	478	0.018	Sangat ringan
		III	560	0.021	Sangat ringan
7	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 180°	I	286	0.010	Sangat ringan
		II	407	0.015	Sangat ringan
		III	500	0.019	Sangat ringan

Keterangan :

- I : penyemprotan pertama (satu kali semprotan)
- II : penyemprotan kedua (dua kali semprotan)
- III : penyemprotan ketiga (tiga kali semprotan)

D. Hasil Pengukuran Konduktivitas, Perhitungan ESDD, dan Tingkat Pengotoran pada Isolator Tarik Berbahan Keramik Kondisi Basah

No	Kondisi	Variabel	σ	ESDD	Tingkat Pengotoran
1	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 0°	I	428	0.016	Sangat ringan
		II	509	0.019	Sangat ringan
		III	628	0.024	Sangat ringan
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	461	0.017	Sangat ringan
		II	528	0.019	Sangat ringan
		III	681	0.026	Sangat ringan
3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	581	0.022	Sangat ringan
		II	674	0.026	Sangat ringan
		III	743	0.028	Sangat ringan
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	562	0.021	Sangat ringan
		II	638	0.024	Sangat ringan
		III	725	0.027	Sangat ringan
5	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 120°	I	602	0.023	Sangat ringan
		II	725	0.027	Sangat ringan
		III	796	0.031	Sangat ringan
6	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 150°	I	543	0.020	Sangat ringan
		II	628	0.024	Sangat ringan
		III	694	0.026	Sangat ringan
7	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 180°	I	417	0.015	Sangat ringan
		II	495	0.019	Sangat ringan
		III	583	0.022	Sangat ringan

Keterangan :

I : penyemprotan pertama (satu kali semprotan)

II : penyemprotan kedua (dua kali semprotan)

III : penyemprotan ketiga (tiga kali semprotan)

Tanggal Pengujian : 03-05 April 2017
 Suhu Ruang Laboratorium : 28° C

**E. Hasil Pengujian Tegangan Flashover pada Isolator Post-Pin Berbahan Keramik
 Kondisi Kering**

No.	Kondisi	Variabel	V _s (kV)	ΔV/Δt (V/s)	t _{flashover} (s)	Pengulangan			V _{flashover} rata-rata
						V _{flashover I} (kV)	V _{flashover II} (kV)	V _{flashover III} (kV)	
1	Tanpa polutan	-	30	100	300	62	60	60	60,667
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 0°	I	30	100	280	56	56	54	55,333
		II	30	100	270	54	54	54	54
		III	30	100	250	52	52	50	51,333
3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	30	100	270	54	54	54	54
		II	30	100	250	52	52	50	51,333
		III	30	100	230	50	50	48	49,333
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	30	100	240	52	50	50	50,667
		II	30	100	220	48	48	48	48
		III	30	100	210	46	46	46	46
5	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	30	100	250	54	52	52	52,667
		II	30	100	260	52	52	52	52
		III	30	100	230	50	48	50	49,333
6	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 120°	I	30	100	230	50	50	50	50
		II	30	100	220	48	48	48	48
		III	30	100	190	46	44	44	44,667
7	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 150°	I	30	100	240	52	50	50	50,667
		II	30	100	220	48	48	48	48
		III	30	100	200	46	46	44	45,333
8	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 180°	I	30	100	280	56	56	54	55,333
		II	30	100	270	54	54	54	54
		III	30	100	260	52	52	54	52,667

Keterangan :

- I : penyemprotan pertama (satu kali semprotan)
- II : penyemprotan kedua (dua kali semprotan)
- III : penyemprotan ketiga (tiga kali semprotan)

**F. Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* pada Isolator Post-Pin Berbahan Keramik
Kondisi Basah**

No.	Kondisi	Variabel	V _s (kV)	ΔV/Δt (V/s)	t _{flashover} (s)	Pengulangan			V _{flashover} rata-rata
						V _{flashover} I (kV)	V _{flashover} II (kV)	V _{flashover} III (kV)	
1	Tanpa polutan	-	30	100	140	54	54	52	53,333
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 0°	I	30	100	200	48	48	48	48
		II	30	100	100	46	46	44	45,667
		III	30	100	100	44	44	44	44
3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	30	100	170	48	48	48	48
		II	30	100	160	46	46	44	45,333
		III	30	100	130	44	42	42	42,667
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	30	100	210	46	46	44	45,333
		II	30	100	180	42	42	42	42
		III	30	100	170	40	38	38	38,667
5	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	30	100	160	46	46	44	42,333
		II	30	100	160	44	42	42	39,333
		III	30	100	160	40	40	38	34,667
6	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 120°	I	30	100	160	46	46	46	46
		II	30	100	170	44	42	42	42,667
		III	30	100	100	40	40	40	40
7	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 150°	I	30	100	180	48	48	46	47,333
		II	30	100	160	46	46	44	45,333
		III	30	100	140	44	44	44	44
8	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 180°	I	30	100	190	50	50	50	50
		II	30	100	120	48	48	46	49,333
		III	30	100	120	46	44	44	44,667

Keterangan :

I : penyemprotan pertama (satu kali semprotan)

II : penyemprotan kedua (dua kali semprotan)

III : penyemprotan ketiga (tiga kali semprotan)

Tanggal Pengujian : 03-05 April 2017
 Suhu Ruang Laboratorium : 28° C
 Luas Permukaan Isolator : 2735,725 cm²
 Volume Air Pencuci : 200 cc

G. Hasil Pengukuran Konduktivitas, Perhitungan ESDD, dan Tingkat Pengotoran pada Isolator Post-Pin Berbahan Keramik Kondisi Kering

No	Kondisi	Variabel	σ	ESDD	Tingkat Pengotoran
1	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 0°	I	527	0.016	Sangat ringan
		II	641	0.020	Sangat ringan
		III	728	0.023	Sangat ringan
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	459	0.014	Sangat ringan
		II	568	0.018	Sangat ringan
		III	682	0.021	Sangat ringan
3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	536	0.016	Sangat ringan
		II	628	0.020	Sangat ringan
		III	746	0.024	Sangat ringan
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	563	0.018	Sangat ringan
		II	692	0.022	Sangat ringan
		III	799	0.026	Sangat ringan
5	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 120°	I	527	0.016	Sangat ringan
		II	603	0.019	Sangat ringan
		III	691	0.022	Sangat ringan
6	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 150°	I	437	0.013	Sangat ringan
		II	521	0.016	Sangat ringan
		III	596	0.019	Sangat ringan
7	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 180°	I	417	0.013	Sangat ringan
		II	511	0.016	Sangat ringan
		III	567	0.018	Sangat ringan

Keterangan :

I : penyemprotan pertama (satu kali semprotan)

II : penyemprotan kedua (dua kali semprotan)

III : penyemprotan ketiga (tiga kali semprotan)

A. Hasil Pengukuran Konduktivitas, Perhitungan ESDD, dan Tingkat Pengotoran pada Isolator Post-Pin Berbahan Keramik Kondisi Kering

No	Kondisi	Variabel	σ	ESDD	Tingkat Pengotoran
1	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 0°	I	627	0.020	Sangat ringan
		II	738	0.024	Sangat ringan
		III	841	0.027	Sangat ringan
2	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 30°	I	560	0.018	Sangat ringan
		II	632	0.020	Sangat ringan
		III	721	0.023	Sangat ringan
3	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 60°	I	621	0.019	Sangat ringan
		II	710	0.020	Sangat ringan
		III	813	0.023	Sangat ringan
4	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 90°	I	628	0.020	Sangat ringan
		II	705	0.022	Sangat ringan
		III	802	0.026	Sangat ringan
5	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 120°	I	634	0.020	Sangat ringan
		II	769	0.024	Sangat ringan
		III	807	0.026	Sangat ringan
6	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 150°	I	528	0.016	Sangat ringan
		II	623	0.019	Sangat ringan
		III	696	0.022	Sangat ringan
7	Berpolutan dengan penyemprotan sudut 180°	I	503	0.016	Sangat ringan
		II	617	0.019	Sangat ringan
		III	672	0.021	Sangat ringan

Keterangan :

I : penyemprotan pertama (satu kali semprotan)

II : penyemprotan kedua (dua kali semprotan)

III : penyemprotan ketiga (tiga kali semprotan)

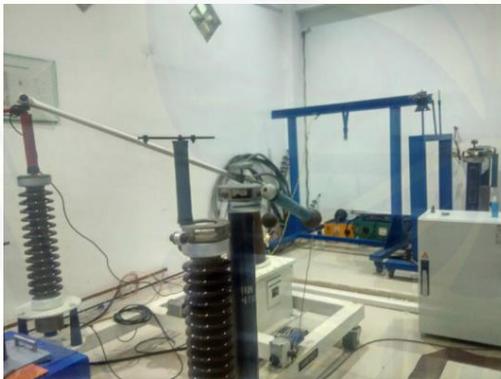
LAMPIRAN C. DOKUMENTASI FOTO DAN ALAT



Isolator Keramik Jenis Tarik



Isolator Keramik Jenis Post-Pin



Peralatan Pembangkit Tegangan Tinggi



Kontrol Box Tipe 27



Isolator Tarik Diuji



Isolator Post-Pin Diuji



Isolator Tarik Dikeringkan



Isolator Post-Pin Dikeringkan



Peneliti Sedang Mengatur Kontrol Box



Pengukuran Jarak Sudut Semprot



Pemasangan Isolator Tarik



Pemasangan Isolator Post-Pin

A. Isolator Keramik Jenis Tarik Kondisi Kering

No.	Kondisi	Variabel	Dokumentasi
1	Tanpa polutan	-	
2	Polutan dengan sudut penyemprotan 0°	I	

		II	
		III	
3	Polutan dengan sudut penyemprotan 30°	I	

		<p>II</p>	
		<p>III</p>	
<p>4</p>	<p>Polutan dengan sudut penyemprotan 60°</p>	<p>I</p>	

		<p>II</p>	
		<p>III</p>	
<p>5</p>	<p>Polutan dengan sudut penyemprotan 90°</p>	<p>I</p>	

		<p>II</p>	
		<p>III</p>	
<p>6</p>	<p>Polutan dengan sudut penyemprotan 120°</p>	<p>I</p>	

		<p>II</p>	
		<p>III</p>	
<p>7</p>	<p>Polutan dengan sudut penyemprotan 150°</p>	<p>I</p>	

		II	
		III	
8	Polutan dengan sudut penyemprotan 180°	I	

		II	
		III	

B. Isolator Keramik Jenis Tarik Kondisi Basah

No.	Kondisi	Variabel	Dokumentasi
1	Tanpa polutan	-	
2	Polutan dengan sudut penyemprotan 0°	I	

		<p>II</p>	
		<p>III</p>	
<p>3</p>	<p>Polutan dengan sudut penyemprotan 30°</p>	<p>I</p>	

		<p>II</p>	
		<p>III</p>	
<p>4</p>	<p>Polutan dengan sudut penyemprotan 60°</p>	<p>I</p>	

		II	
		III	

<p>5</p>	<p>Polutan dengan sudut penyemprotan 90°</p>	<p>I</p>	
		<p>II</p>	
		<p>III</p>	

<p>6</p>	<p>Polutan dengan sudut penyemprotan 120°</p>	<p>I</p>	
		<p>II</p>	
		<p>III</p>	

7	Polutan dengan sudut penyemprotan 150°	I	
		II	
		III	

8	Polutan dengan sudut penyemprotan 180°	I	
		II	

		III	
--	--	-----	--

C. Isolator Keramik Jenis Post-Pin Kondisi Kering

No.	Kondisi	Variabel	Dokumentasi
1	Tanpa polutan	-	

		I	
2	Polutan dengan sudut penyemprotan 0°	II	
		III	

		I	
3	Polutan dengan sudut penyemprotan 30°	II	
		III	

4	Polutan dengan sudut penyemprotan 60°	I	
		II	
		III	

<p>5</p>	<p>Polutan dengan sudut penyemprotan 90°</p>	<p>I</p>	
		<p>II</p>	
		<p>III</p>	

6	Polutan dengan sudut penyemprotan 120°	I	
		II	
		III	

<p>7</p>	<p>Polutan dengan sudut penyemprotan 150°</p>	<p>I</p>	
		<p>II</p>	
		<p>III</p>	

8	Polutan dengan sudut penyemprotan 180°	I	
		II	

		III	
--	--	-----	--

D. Isolator Keramik Jenis Post-Pin Kondisi Basah

No.	Kondisi	Variabel	Dokumentasi
1	Tanpa polutan	-	

<p>2</p>	<p>Polutan dengan sudut penyemprotan 0°</p>	<p>I</p>	
		<p>II</p>	
		<p>III</p>	

3	Polutan dengan sudut penyemprotan 30°	I	
		II	
		III	

		I	
4	Polutan dengan sudut penyemprotan 60°	II	
		III	

<p>5</p>	<p>Polutan dengan sudut penyemprotan 90°</p>	<p>I</p>	
		<p>II</p>	
		<p>III</p>	

6	Polutan dengan sudut penyemprotan 120°	I	
		II	
		III	

7	Polutan dengan sudut penyemprotan 150°	I	
		II	
		III	

8	Polutan dengan sudut penyemprotan 180°	I	
		II	

		III	
--	--	-----	--

