



**TUGAS AKHIR - EE184801**

**KARAKTERISTIK ELEKTRIK INSULATOR TEGANGAN  
MENENGAH TERHADAP KONTAMINAN DI PLN ULP  
GIRI, GRESIK**

Hega Andhika Sadewo  
NRP 07111540000154

Dosen Pembimbing  
I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT.  
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

DEPARTMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019









FINAL PROJECT - EE184801

***ELECTRIC CHARACTERISTICS OF MEDIUM VOLTAGE  
INSULATORS DUE TO CONTAMINANTS AT PLN ULP  
GIRI, GRESIK***

Hega Andhika Sadewo  
NRP 07111540000154

Advisor  
I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT.  
Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2019

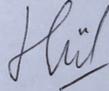


## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan tugas akhir saya dengan judul "**Karakteristik Elektrik Insulator Tegangan Menengah terhadap Kontaminan di PLN ULP Giri, Gresik**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 24 Mei 2019



**Hega Andhika Sadewo**  
NRP. 07111540000154



**KARAKTERISTIK ELEKTRIK INSULATOR TEGANGAN  
MENENGAH TERHADAP KONTAMINAN DI PLN ULP  
GIRI, GRESIK**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagai Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada

Bidang Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
IGN Satriyadi H., ST., MT.  
NIP. 19730123 200212 1001

  
Dr. Eng. I Made Yulistya N., ST., M.Sc.  
NIP. 19700712 199802 1001





# KARAKTERISTIK ELEKTRIK INSULATOR TEGANGAN MENENGAH TERHADAP KONTAMINAN DI PLN ULP GIRI, GRESIK

Nama : Hega Andhika Sadewo  
NRP : 0711154000154  
Pembimbing I : IGN Satriyadi Hernanda, ST., MT.  
Pembimbing II : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

## ABSTRAK

Komponen saluran distribusi sangat diperhatikan salah satunya insulator. Insulator berfungsi sebagai penyangga Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) serta mengisolasi SUTM dengan menara (tiang). Faktor lingkungan akan mempengaruhi kinerja dari insulator dan setiap daerah memiliki karakteristik masing-masing sehingga karakteristik elektrik setiap insulator akan berbeda. Maka dari itu, dilakukan penelitian mengenai karakteristik elektrik insulator tegangan 20 kV tiap penyulang yang diampu oleh PLN ULP Giri dengan mewakili seluruh daerah di Gresik. Gresik sendiri memiliki 4 macam daerah yaitu daerah industri, rumah tangga, perkotaan, dan pedesaan. Pada pengujian arus bocor, daerah industri mendapatkan predikat paling tinggi dengan nilai arus bocor sebesar 1.22 mA sedangkan arus bocor terendah berada pada daerah rumah tangga sebesar 0.44 mA. Hal tersebut juga dikuatkan dengan nilai NSDD daerah industri paling tinggi sebesar 0.2412 mg/cm<sup>2</sup> serta NSDD daerah rumah tangga paling rendah sebesar 0.0228 mg/cm<sup>2</sup>. Untuk tegangan *flashover* dan tahanan isolasi tertinggi berada di daerah pedesaan sebesar 53.4 kV dan 261.33 GΩ serta *flashover* terendah berada di daerah rumah tangga sebesar 39.34 kV dan 118.83 GΩ.

**Kata kunci :** Arus Bocor, Tegangan *Flashover*, Tahanan Isolasi, NSDD, Daerah Gresik

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

# **ELECTRIC CHARACTERISTICS OF MEDIUM VOLTAGE INSULATORS DUE TO CONTAMINANTS AT PLN ULP GIRI, GRESIK**

**Name** : Hega Andhika Sadewo  
**NRP** : 0711154000154  
**Advisor I** : IGN Satriyadi Hernanda, ST., MT.  
**Advisor II** : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

## **ABSTRACT**

Components of the distribution overhead line are considered one of the insulators. The insulator functions as a buffer for the Medium Voltage Overhead Line and isolates the distribution overhead line with the tower (pole). Environmental factors will affect the performance of the insulator and each region has its own characteristics so that the electric characteristics of each insulator will be different. Therefore, a study of the electric characteristics of a 20 kV voltage insulator is carried out on each feeder managed by PLN ULP Giri by represented all regions in Gresik. Gresik itself has 4 types of regions, there are industrial, household, urban and rural areas. In testing leakage currents, industrial areas get the highest predicate with a leakage current value of 1.22 mA while the lowest leakage current is in the household area of 0.44 mA. This is also corroborated by the highest NSDD value of industrial areas of 0.2412 mg/cm<sup>2</sup> and the lowest NSDD of household areas of 0.0228 mg/cm<sup>2</sup>. The highest flashover and isolation stresses were in rural areas of 53.4 kV and 261.33 GΩ and the lowest flashover was in the household area of 39.34 kV and 118.83 GΩ.

**Keywords :** Leakage Current, Flashover Voltage, Insulation Resistance, NSDD, Gresik Areas.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan tepat waktu. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang berjudul:

### **KARAKTERISTIK ELEKTRIK INSULATOR TEGANGAN MENENGAH TERHADAP KONTAMINAN DI PLN ULP GIRI, GRESIK**

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya.
2. Hermanto selaku ayah saya, Astri Sugiarti selaku ibu saya, Helvira Agita Safitri dan Herlangga Abyan Shah selaku adik-adik saya atas doa dan dukungannya dalam mendampingi saya hingga menjadi seorang sarjana.
3. Bapak I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT. dan Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu dan berbagi ilmu selama penelitian tugas akhir ini.
4. Bapak Dr.Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng. selaku Ketua Departemen serta seluruh dosen dan karyawan yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuannya selama proses perkuliahan di Teknik Elektro ITS.
5. Bagas Kuntala Aji, I Gede Arka P P, dan Mas M. Syah Rheza yang senantiasa membantu memberikan masukan dalam penulisan tugas akhir ini.
6. Teman-teman asisten Laboratorium Tegangan Tinggi yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
7. Bernardus Rio H, Aldo Ilham, I.B Yudistira Anggradana, Putu Diah Nitya K, Danis Rizki P, serta Rizka P selaku teman - teman yang telah banyak membantu menghibur dikala sedang pusing TA.

8. Seluruh keluarga besar e-55 atas semangat dan motivasi selama 4 tahun di departemen teknik elektro.
9. Pihak-pihak lain yang belum bisa penulis sebutkan satu per satu yang ikut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat pada umumnya.

Surabaya, 27 Mei 2019

Penulis

# DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Sistematika Penulisan.....</b>	<b>4</b>
<b>BAB II INSULATOR DAN KARAKTERISTIKNYA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 Kajian Penelitian terkait.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 Teori Dasar.....</b>	<b>6</b>
2.2.1 Insulator Jaringan .....	6
2.2.2 Bahan Dasar Insulator .....	6
2.2.3 Jenis-Jenis Insulator.....	8
2.2.4 Karakteristik Insulator .....	10
2.2.5 Kegagalan Insulator.....	13
2.2.6 <i>Flashover</i> pada Insulator .....	15
2.2.7 Polutan pada Insulator .....	15
2.2.8 Insulator Terpolusi dan Penggolongan Tingkat Polusi Permukaan Insulator .....	16
2.2.9 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC untuk Pengujian Isolasi Peralatan Tegangan Tinggi .....	19
2.2.10 Trafo Uji Tegangan Tinggi.....	19
2.2.11 Rangkaian Resonansi.....	21
<b>BAB III RANCANGAN PENGUJIAN KARAKTERISTIK INSULATOR DAN METODE PENGUKURAN TINGKAT POLUTAN.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1 Klasifikasi Sampel Insulator.....</b>	<b>24</b>

3.2	<b>Persiapan Bahan dan Alat.....</b>	<b>24</b>
3.3	<b>Perangkaian Modul Pengujian Insulator .....</b>	<b>27</b>
3.4	<b>Pengujian Arus Bocor.....</b>	<b>29</b>
3.5	<b>Pengujian Tegangan Flashover.....</b>	<b>29</b>
3.6	<b>Pengujian Tahanan Isolasi.....</b>	<b>30</b>
3.7	<b>Pengukuran Nilai NSDD .....</b>	<b>31</b>
<b>BAB IV ANALISA PENGUJIAN KARAKTERISTIK</b>		
<b>INSULATOR DAN PERHITUNGAN TINGKAT</b>		
<b>POLUTAN.....</b>		
4.1	<b>Klasifikasi Insulator.....</b>	<b>33</b>
4.2	<b>Pengujian Arus Bocor.....</b>	<b>36</b>
4.2.1	Hasil dan Analisa Arus Bocor Daerah Industri .....	36
4.2.2	Hasil dan Analisa Arus Bocor Daerah Rumah Tangga.....	38
4.2.3	Hasil dan Analisa Arus Bocor Daerah Perkotaan .....	40
4.2.4	Hasil dan Analisa Arus Bocor Daerah Pedesaan.....	42
4.2.5	Perbandingan Arus Bocor Seluruh Daerah....	44
4.3	<b>Pengujian Tegangan <i>Flashover</i>.....</b>	<b>45</b>
4.3.1	Hasil dan Analisa Tegangan <i>Flashover</i> Daerah Industri .....	45
4.3.2	Hasil dan Analisa Tegangan <i>Flashover</i> Daerah Rumah Tangga .....	47
4.3.3	Hasil dan Analisa Tegangan <i>Flashover</i> Daerah Perkotaan .....	48
4.3.4	Hasil dan Analisa Tegangan <i>Flashover</i> Daerah Pedesaan .....	50
4.3.5	Perbandingan Tegangan <i>Flashover</i> Seluruh Daerah .....	51
4.4	<b>Pengujian Tahanan Isolasi.....</b>	<b>53</b>
4.4.1	Hasil dan Analisa Tahanan Isolasi Daerah Industri .....	53
4.4.2	Hasil dan Analisa Tahanan Isolasi Daerah Rumah Tangga.....	55
4.4.3	Hasil dan Analisa Tahanan Isolasi Daerah Perkotaan .....	57

4.4.4	Hasil dan Analisa Tahanan Isolasi Daerah Pedesaan .....	59
4.4.5	Perbandingan Tahanan Isolasi Seluruh Daerah.....	61
<b>4.5</b>	<b>Perhitungan Nilai NSDD .....</b>	<b>62</b>
4.5.1	Hasil dan Analisa Pengaruh NSDD terhadap Arus Bocor Setiap Daerah .....	64
<b>4.6</b>	<b>Perbandingan Keseluruhan Skala.....</b>	<b>65</b>
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>71</b>
<b>5.1</b>	<b>Kesimpulan.....</b>	<b>71</b>
<b>5.2</b>	<b>Saran .....</b>	<b>72</b>
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>73</b>
	<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>75</b>
	<b>RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>79</b>

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b>	Insulator : (a) Gelas, (b) Porselen, (c) Polimer .....	8
<b>Gambar 2.2.</b>	Insulator : (a) Pin, (b) Post, (c) Pinpost, (d) Piring, (e) Batang Tonggak.....	10
<b>Gambar 2.3.</b>	Konstruksi Trafo Uji (a) dengan Bushing, (b) tanpa bushing .....	21
<b>Gambar 2.4.</b>	Rangkaian Trafo Uji (a) Satu Tingkat, (b) Bertingkat .....	21
<b>Gambar 3.1.</b>	Diagram Alur .....	23
<b>Gambar 3.2.</b>	(a) (b) Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi, (c) Megger, (d) Insulator, (e) Alat <i>Stopwatch</i> dan Dokumentasi, (f) CT 50/5, (g) <i>Multimeter</i> .....	26
<b>Gambar 3.2.</b>	(Lanjutan). (a) (b) Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi, (c) Megger, (d) Insulator, (e) Alat <i>Stopwatch</i> dan Dokumentasi, (f) CT 50/5, (g) <i>Multimeter</i> .....	27
<b>Gambar 3.3.</b>	Model Rangkaian Pembangkitan Tegangan Tinggi AC .....	28
<b>Gambar 3.4.</b>	Langkah Perhitungan NSDD .....	32
<b>Gambar 4.1.</b>	Kota Gresik .....	35
<b>Gambar 4.2.</b>	Pemetaan berdasarkan jenis daerah : (a) Industri, (b) Rumah Tangga, (c) Perkotaan, (d) Pedesaan .....	35
<b>Gambar 4.2.</b>	(Lanjutan). Pemetaan berdasarkan jenis daerah : (a) Industri, (b) Rumah Tangga, (c) Perkotaan, (d) Pedesaan.....	36
<b>Gambar 4.3.</b>	Grafik Arus Bocor Insulator Daerah Industri Berdasarkan Tingkat Tegangan .....	37
<b>Gambar 4.4.</b>	Grafik Arus Bocor Insulator Daerah Rumah Tangga Berdasarkan Tingkat Tegangan .....	39
<b>Gambar 4.5.</b>	Grafik Arus Bocor Insulator Daerah Perkotaan Berdasarkan Tingkat Tegangan .....	41

<b>Gambar 4.6.</b>	Grafik Arus Bocor Insulator Daerah Pedesaan Berdasarkan Tingkat Tegangan.....	43
<b>Gambar 4.7.</b>	Grafik Arus Bocor Rata-Rata Seluruh Daerah .....	44
<b>Gambar 4.8.</b>	Grafik Tegangan <i>Flashover</i> Berdasarkan Penyulang yang Mewakili Daerah Industri.....	46
<b>Gambar 4.9.</b>	Grafik Tegangan <i>Flashover</i> Berdasarkan Penyulang yang Mewakili Daerah Rumah Tangga.....	48
<b>Gambar 4.10.</b>	Grafik Tegangan <i>Flashover</i> Berdasarkan Penyulang yang Mewakili Daerah Perkotaan .....	49
<b>Gambar 4.11.</b>	Grafik Tegangan <i>Flashover</i> Berdasarkan Penyulang yang Mewakili Daerah Pedesaan .....	51
<b>Gambar 4.12.</b>	Grafik Tegangan <i>Flashover</i> Rata-Rata dan Tegangan <i>Pre-Breakdown</i> Rata-Rata Seluruh Daerah.....	52
<b>Gambar 4.13.</b>	Kurva Trend Isolasi Insulator Penyulang Daerah Industri.....	54
<b>Gambar 4.14.</b>	Kurva Trend Isolasi Insulator Penyulang Daerah Rumah Tangga .....	56
<b>Gambar 4.15.</b>	Kurva Trend Isolasi Insulator Penyulang Daerah Perkotaan .....	58
<b>Gambar 4.16.</b>	Kurva Trend Isolasi Insulator Penyulang Daerah Pedesaan .....	60
<b>Gambar 4.17.</b>	Grafik Tahanan Isolasi Rata-Rata Seluruh Daerah	62
<b>Gambar 4.18.</b>	Pemetaan daerah di Gresik .....	65
<b>Gambar 4.19.</b>	Pemetaan daerah Gresik serta pemeringkatan keseluruhan skala .....	65
<b>Gambar 4.20.</b>	Grafik Arus Bocor dan NSDD Rata-Rata Seluruh Daerah.....	67
<b>Gambar 4.21.</b>	Grafik Tegangan Pre-Breakdown, Tegangan <i>Flashover</i> , dan Tahanan Isolasi Rata-Rata Seluruh Daerah .....	68

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1.</b>	Tingkat polusi berdasarkan kondisi lingkungan menurut standar IEC 815 .....	16
<b>Tabel 2.1.</b>	(Lanjutan) Tingkat polusi berdasarkan kondisi lingkungan menurut standar IEC 815.....	17
<b>Tabel 2.2.</b>	Penggolongan tingkat polusi berdasarkan ESDD.....	18
<b>Tabel 2.3.</b>	Penggolongan tingkat polusi berdasarkan NSDD .....	19
<b>Tabel 3.1.</b>	Spesifikasi Pembangkit Tegangan Tinggi AC.....	28
<b>Tabel 4.1.</b>	Hasil Pengujian Arus Bocor Berdasarkan Penyulang Daerah Industri .....	36
<b>Tabel 4.2.</b>	Hasil Pengujian Arus Bocor Berdasarkan Penyulang Daerah Rumah Tangga .....	38
<b>Tabel 4.3.</b>	Hasil Pengujian Arus Bocor Berdasarkan Penyulang Daerah Perkotaan.....	40
<b>Tabel 4.4.</b>	Hasil Pengujian Arus Bocor Berdasarkan Penyulang Daerah Pedesaan .....	42
<b>Tabel 4.5.</b>	Pemeringkatan Daerah terhadap Arus Bocor Rata-Rata .....	44
<b>Tabel 4.6.</b>	Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Penyulang Daerah Industri .....	45
<b>Tabel 4.7.</b>	Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Penyulang Daerah Rumah Tangga .....	47
<b>Tabel 4.8.</b>	Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Penyulang Daerah Perkotaan.....	49
<b>Tabel 4.9.</b>	Hasil Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> Penyulang Daerah Pedesaan.....	50
<b>Tabel 4.10.</b>	Pemeringkatan Daerah terhadap Tegangan <i>Flashover</i> Rata-Rata .....	52

<b>Tabel 4.11.</b> Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Penyulang Daerah Industri .....	53
<b>Tabel 4.12.</b> Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Penyulang Daerah Rumah Tangga .....	55
<b>Tabel 4.13.</b> Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Penyulang Daerah Perkotaan.....	57
<b>Tabel 4.14.</b> Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Penyulang Daerah Pedesaan.....	59
<b>Tabel 4.15.</b> Pemingkatan Daerah terhadap Tahanan Isolasi Rata-Rata .....	61
<b>Tabel 4.16.</b> Hasil Perhitungan NSDD terhadap Daerah dan Dikategorikan.....	64
<b>Tabel 4.17.</b> Nilai rata-rata seluruh parameter di seluruh daerah Gresik .....	67

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan salah satu kebutuhan primer yang sangat penting untuk para pelanggan (*consumen*). Sistem distribusi merupakan salah satu sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan para pelanggan. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) merupakan saluran pada sistem distribusi tenaga listrik yang memiliki peran yang cukup vital sehingga baik peralatan utama maupun peralatan penunjang listrik yang tergabung dalam sistem distribusi SUTM dituntut untuk selalu bekerja optimal agar listrik dapat selalu tersalurkan dengan baik kepada para pelanggan. Salah satu peralatan penunjang listrik dalam sistem distribusi adalah Insulator. Insulator merupakan salah satu komponen sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengisolasi konduktor jaringan bertegangan dengan tiang penyangga atau menara [1]. Insulator mencegah terjadinya kebocoran arus (*Leakage current*) atau tegangan lewat denyar (*flashover*) sehingga tidak akan terjadi gangguan pada sistem distribusi tenaga listrik.

Setiap tiang penyangga Jaringan Tegangan Menengah (JTM) pasti terdapat insulator dengan jumlah sesuai dengan standar konstruksi tiang. Karena insulator letaknya di luar ruangan (*outdoor*) sehingga insulator akan rentan terkena berbagai macam polutan mulai dari debu industri, garam, asap kendaraan bermotor maupun air hujan [2]. Polutan yang menempel pada permukaan insulator akan mempengaruhi kinerja insulator tersebut. Rendahnya kemampuan hidrofobik suatu insulator akan menyebabkan insulator semakin rentan tertempel polutan. Seiring dengan berjalannya waktu, polutan yang menempel akan membentuk suatu lapisan polutan yang sifatnya dapat menghantarkan listrik. Sehingga akan mengurangi kemampuan tahanan isolasi dari insulator dan suatu saat akan mengalami *flashover* hingga kemungkinan terburuk insulator akan pecah atau rusak [3]. Jenis insulator porselen (keramik) sangat banyak digunakan pada sistem transmisi maupun sistem distribusi, namun akhir-akhir ini insulator polimer cukup direkomendasikan karena kekuatan isolasinya yang tinggi dan bahannya yang cukup ringan jika dibandingkan dengan insulator porselen [4].

Di daerah Gresik ini banyak sekali terdapat industri besar sehingga salah satu kontaminan yang menempel pada insulatornya adalah polusi industri. Dengan bermacam-macam industri yang ada maka jenis polutan yang menempel perlu diteliti lebih lanjut. Terdapat polutan yang rendah larut dalam air dan juga terdapat polutan yang tinggi larut dalam air. Contoh polutan yang rendah larut dalam air adalah *Bassanite* ( $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ) dan polutan yang tinggi larut dalam air adalah Garam ( $\text{NaCl}$ ) [5]. Selain itu industri juga dapat menyebabkan hujan asam dimana tentu saja akan berdampak buruk pada komponen yang terkena hujan asam salah satunya insulator. Hujan asam akan menyebabkan permukaan insulator menjadi keras dan terkikis sehingga kemampuan hidrofobik insulator akan berkurang. Akibatnya insulator akan mudah *flashover* dan arus bocor (*leakage current*) akan semakin tinggi [6].

Dengan berbagai macam kontaminan yang ada di daerah Gresik maka diperlukan studi karakteristik elektrik insulator berdasarkan jenis kontaminan dengan sampel yang diambil langsung dari penyulang-penyulang di PLN ULP Giri, Gresik. Insulator tersebut akan diuji di Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro ITS untuk mengetahui karakteristik insulatornya. Sampel insulator yang diuji merupakan insulator tegangan menengah yang digunakan jaringan distribusi SUTM 20 kV dengan jenisnya yakni insulator post dan insulator pinpost. Dimana seluruh insulator yang dikumpulkan tersebut harus sudah mewakili karakteristik suatu penyulang yang dinaungi oleh PLN ULP Giri UP3 Gresik. Pada saat pengujian, suhu, kelembaban udara, dan tekanan udara pada ruangan Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro ITS sudah mewakili kondisi udara secara umum.

Pengujian yang akan dilakukan antara lain pengujian arus bocor dan pengujian tegangan *flashover*. Pada pengujian arus bocor akan dilakukan dengan cara memberikan tegangan pada level yang berbeda-beda. Maka akan didapat nilai arus bocor yang berbeda sehingga dapat diketahui karakteristiknya. Lalu, arus bocor akan dibandingkan dengan pengukuran NSDD untuk mengetahui hubungan diantaranya. Sedangkan pada pengujian tegangan *flashover* akan dilakukan dengan cara memberikan tegangan secara terus menerus dan meningkat hingga insulator mengalami *flashover*. Pada level tegangan itulah data dapat digunakan untuk mengetahui karakteristiknya [1]. Lalu, Pada pengujian tahanan isolasi

menggunakan alat megger untuk memberikan tegangan tinggi DC sebesar 5000 VDC sehingga akan didapat nilai tahanan isolasinya. Melalui hasil analisa insulator tersebut dapat dilakukan penyikapan yang lebih baik dalam hal pemeliharaan insulator seperti dilakukannya pencucian insulator apabila di daerah industri mengalami hujan yang berkemungkinan hujan asam. Selain itu, apabila insulator akan dipasang pada daerah yang cukup panas maka dapat direkomendasikan insulator silikon karena kemampuan hidrofilik yang cukup tinggi [7].

Tujuan penyusunan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui karakteristik elektrik insulator tegangan menengah yang dipengaruhi berdasarkan tingkat kontaminan yang menempel pada insulator tegangan menengah sistem distribusi 20 kV berbahan dasar *porcelain* pada daerah-daerah tertentu sesuai dengan pemasangan insulator tersebut. Penelitian ini suatu saat dapat dijadikan referensi apabila terdapat penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh kontaminan pada insulator. Serta dapat dijadikan relevansi kepada pihak PLN ULP Giri UP3 Gresik untuk mengetahui tingkat polutan yang menempel pada masing-masing insulator yang mewakili suatu daerah di Gresik.

Kegiatan yang akan dilaksanakan penulis dalam serangkaian kegiatan tugas akhir ini diantaranya yang pertama adalah studi literatur. Dilakukan studi terlebih dahulu dari referensi berupa jurnal, penelitian, maupun buku yang berhubungan dengan pengujian insulator mulai dari pengetahuan jenis-jenis kontaminan, jenis-jenis insulator, hingga metode yang digunakan dalam pengujian insulator. Bersamaan dengan terlaksananya studi literatur, dilakukan juga kegiatan pengumpulan sampel insulator. Insulator yang dikumpulkan berasal dari tempat magang penulis yakni penyulang yang ada di kota Gresik yang dinaungi oleh PLN ULP Giri UP3 Gresik. Lalu, pada minggu ke-4 akan dilaksanakan kegiatan mempersiapkan alat uji sebelum dilaksanakan pengujian insulator agar pada saat dilaksanakan pengujian, alat uji tidak mengalami masalah dan siap untuk dioperasikan. Setelah itu, pada minggu ke-7 akan dilaksanakan pengujian insulator menggunakan sampel insulator yang telah dikumpulkan. Lalu, bersamaan dengan terlaksananya pengujian dilaksanakan juga pengambilan dan pengolahan data dari hasil pengujian insulator. Apabila data telah diolah maka tahap akhir dilaksanakan penyusunan laporan guna

menganalisis dan menyimpulkan hasil data yang diperoleh dari pengujian insulator.

## 1.2 Sistematika Penulisan

Berikut sistematika penulisan dalam penyusunan tugas akhir ini yang terdiri dari lima bab diantaranya :

Bab 1 : Pendahuluan

Pada bab ini akan menjelaskan beberapa penjelasan diantaranya mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi.

Bab 2 : Insulator dan Karakteristiknya

Pada bab ini akan dijelaskan dasar teori dari insulator mulai dari pengertian, bahan dasar, jenis-jenis, karakteristiknya dan sebagainya. Selain itu, akan dibahas pula mengenai karakteristik arus bocor dan tegangan flashover pada polutan yang berbeda, serta metode pengujiannya.

Bab 3 : Rancangan Pengujian Karakteristik Insulator dan Metode Pengukuran Tingkat Polutan

Pada bab ini akan menjelaskan metode-metode apa saja yang digunakan selama penyusunan penelitian tugas akhir ini.

Bab 4 : Analisa Pengujian Karakteristik Insulator dan Perhitungan Tingkat Polutan

Pada bab ini akan membahas hasil pengujian arus bocor, tegangan *flashover*, dan tahanan isolasi serta perhitungan NSDD tiap sampel insulator berdasarkan jenis polutan yang mewakili daerah pemasangannya sehingga akan diketahui jenis polutan yang menempel pada tiap sampel insulator tersebut.

Bab 5 : Penutup

Pada bab ini akan menjelaskan kesimpulan dan saran dari hasil pembahasan pengujian insulator yang dilakukan pada tugas akhir ini.

## **BAB II**

### **INSULATOR DAN KARAKTERISTIKNYA**

#### **2.1 Kajian Penelitian terkait**

Penelitian tentang karakteristik elektrik terhadap insulator tegangan menengah sudah pernah dilakukan sebelumnya. Berbagai macam penelitian terdahulu yang pernah dilakukan yang berkaitan dengan karakteristik elektrik dan insulator tegangan menengah yakni salah satunya penelitian mengenai pengaruh polutan fly ash terhadap tegangan *flashover* pada isolator berbahan dasar keramik. Pada penelitian tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin tinggi tingkat konsentrasi polutan *fly ash* maka arus bocor akan semakin meningkat. Namun berbeda dengan tegangan *flashover* dimana semakin tinggi tingkat konsentrasi polutan *fly ash* maka nilai tegangan *flashover* akan semakin menurun [3].

Pada penelitian sebelumnya tentang pengaruh *fly ash* terhadap tegangan *flashover* pada isolator berbahan keramik menggunakan metode *short time test*, dimana metode tersebut digunakan berdasarkan standar *American Standart Test Method* (ASTM-D149). Pada metode tersebut isolator yang diuji diberikan tegangan dari 0 V dinaikkan secara bertahap dengan kecepatan tertentu hingga isolator mengalami tembus listrik (*breakdown*) pada nilai tegangan tertentu. Sedangkan pada pengujian arus bocor, dilakukan dengan memberikan tegangan AC dengan variasi tegangan yang berbeda-beda. Nilai arus bocor akan terbaca pada kabel grounding yang dihubungkan dengan CT 50/5. Lalu dengan menggunakan NI 9426 dan *software Labview* besar arus bocor akan terbaca. Data ini diperlukan untuk mendukung analisis mengenai pengaruh polutan *fly ash* terhadap tegangan *flashover* pada isolator berbahan keramik. Dari penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tingkat konsentrasi polutan *fly ash* pada isolator *porcelain* maka semakin tinggi nilai arus bocor yang didapat serta semakin rendah nilai tegangan *flashover* isolator tersebut sehingga isolator akan mengalami penurunan kualitas [3].

## **2.2 Teori Dasar**

### **2.2.1 Insulator Jaringan**

Insulator merupakan salah satu komponen sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengisolasi konduktor jaringan bertegangan dengan tiang penyangga atau menara [1]. Jenis insulator porselen (keramik) sangat banyak digunakan pada sistem transmisi maupun sistem distribusi, namun akhir-akhir ini insulator polimer cukup direkomendasikan karena kekuatan isolasinya yang kuat dan bahannya yang cukup ringan jika dibandingkan dengan insulator porselen serta dari sisi harga yang lebih murah [4].

Setiap tiang penyangga Jaringan Tegangan Menengah (JTM) pasti terdapat insulator dengan jumlah sesuai dengan standar konstruksi tiang. Karena insulator letaknya di luar ruangan (*outdoor*) sehingga insulator akan rentan terkena berbagai macam polutan mulai dari debu industri, garam, asap kendaraan bermotor maupun air hujan [2]. Maka dari itu, bahan dasar insulator harus memiliki kekuatan dielektrik yang baik serta sifat hidrofobik yang baik agar mengurangi sifat hantarnya [8].

### **2.2.2 Bahan Dasar Insulator**

Berdasarkan bahan dasarnya insulator memiliki tiga macam jenis bahan dasar. Pada gambar 2.1 merupakan insulator yang umumnya digunakan pada jaringan distribusi tenaga listrik tegangan menengah. Berikut merupakan macam-macam bahan dasar insulator tegangan menengah :

#### **1. Insulator Gelas**

Insulator gelas memiliki harga yang lebih murah jika dibandingkan dengan insulator porselen. Memiliki karakteristik elektrik maupun mekanik yang tidak jauh berbeda dengan insulator porselen. Komposisi kimiawi pada insulator gelas memiliki kandungan alkali. Dimana adanya kandungan alkali ini akan memperkuat sifat higroskopis permukaan insulator sehingga insulator dengan kandungan alkali tinggi akan memiliki tingkat konduktivitas yang tinggi pada permukaannya. Dalam proses pembuatannya insulator gelas memiliki dua tipe pembuatan yakni gelas

yang dikuatkan (*annealed glass*) dan gelas yang dikeraskan (*hardned glass*).

2. Insulator Porselen (Keramik)

Bahan porselen merupakan bahan dielektrik yang paling umum digunakan untuk insulator karena kekuatan dielektriknya tinggi dan tidak terpengaruh oleh kondisi udara dan temperatur di sekitarnya. Setiap bahan dielektrik insulator memiliki karakteristiknya masing-masing. Porselen bekerja dengan baik apabila digunakan untuk memikul beban tumpu atau tekan, tetapi sifat mekanisnya akan memburuk apabila digunakan untuk beban tekuk dan beban tarik. Kekuatan mekanis insulator porselen dipengaruhi oleh luas penampang porselen, konstruksi jepitan, hubungan jepitan dengan porselen tersebut. Dimana kekuatan mekanik insulator porselen akan berkurang apabila dilakukan penambahan luas penampang serta digunakan untuk beban tekuk dan beban tarik. Kelebihan insulator porselen antara lain bahannya yang stabil namun diperlukan suhu pemrosesan yang sesuai, artinya tidak boleh terlalu rendah maupun terlalu tinggi. Selain itu insulator porselen juga tahan lama. Dalam medan elektrik yang seragam, insulator porselen mempunyai kekuatan elektrik sebesar 22-28 kV<sub>rms</sub>/mm. apabila tebal bertambah dari 10 mm hingga 30 mm, kekuatan elektrik akan berkurang dari 80 kV<sub>rms</sub>/mm menjadi 55 kV<sub>rms</sub>/mm [9].

3. Insulator Polimer

Beberapa kelemahan pada insulator jenis gelas dan porselen adalah massanya berat dan mudah pecah, sehingga dikembangkan insulator bahan lain yakni bahan komposit atau polimer. Bahan komposit bervariasi namun yang paling diminati adalah karet silikon. Insulator polimer memiliki beberapa kelebihan diantaranya ringan, lebih mudah dalam pembuatannya, tingkat fleksibilitas yang tinggi karena mudah dibawa dan dipasang, lebih minim rongga udara sehingga meminimalisir ketidaksempurnaan dalam pembuatannya, memiliki tingkat hidrofobisitas yang tinggi sehingga polutan tidak akan mudah menempel. Diantara beberapa kelebihan insulator polimer juga memiliki beberapa kelemahan diantaranya kekuatan mekanis lebih

rendah jika dibandingkan dengan jenis gelas dan porselen, harga pembuatan dan materialnya yang cukup mahal, apabila bahan antar muka yang digunakan kurang cocok maka akan menimbulkan korosi atau keretakan [9].



(a)

(b)

(c)

**Gambar 2.1. Insulator : (a) Gelas, (b) Porselen, (c) Polimer**

### 2.2.3 Jenis-Jenis Insulator

Insulator jaringan tenaga listrik memiliki bentuk yang bermacam-macam serta fungsi yang berbeda-beda. Berdasarkan lokasi pemasangannya, terdapat dua jenis insulator yakni insulator pasang dalam (*indoor*) dan insulator pasang luar (*outdoor*). Pada lokasi outdoor perlu dipertimbangkan kondisi lingkungannya baik itu temperatur, cuaca, tipikal daerah tersebut seperti pesisir, industri, pegunungan dan bermacam-macam. Maka insulator pasang luar dibuat bersirip tujuannya untuk mencegah timbulnya jalur konduktivitas akibat dibasahi air hujan serta semakin luas penampangannya maka semakin tinggi pula tingkan tahanan isolasi permukannya. Berdasarkan fungsinya, insulator dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis yakni insulator pendukung dan insulator gantung (*suspension*). Pada Gambar 2.2 merupakan jenis insulator berdasarkan fungsinya

#### 2.2.3.1 Insulator Pendukung

Berdasarkan fungsinya pada insulator pendukung terbagi lagi menjadi tiga jenis insulator diantaranya :

1. Insulator Pin

Insulator ini banyak digunakan di Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Insulator jenis pin dapat dipasang pada

tiang dengan tipe tiang TM1 atau TM2. Dimana tiang bertipe TM1 digunakan untuk tiang tumpu saja tanpa beban tekuk sedangkan tiang bertipe TM2 selain digunakan untuk beban tumpu juga digunakan untuk beban tekuk dengan dipasang dua insulator di setiap fasanya.

2. Insulator Post

Insulator jenis post banyak digunakan sebagai penyangga busbar daya pada panel tegangan menengah gardu beton artinya insulator digunakan untuk pasang dalam (*indoor*). Namun pada kenyataannya insulator jenis ini juga bisa digunakan untuk pasang luar (*outdoor*) tetapi tidak sebanyak jenis insulator lain.

3. Insulator Pin-Post

Insulator jenis pin-post merupakan jenis yang paling umum dijumpai pada jaringan distribusi tegangan menengah. Dari sisi kegunaan hampir sama dengan insulator jenis lainnya yang dapat digunakan juga sebagai beban tekuk. Pada bagian atas insulator pin-post luas permukaan tempat jaringan konduktor menumpu lebih luas sehingga akan lebih mudah apabila digunakan juga untuk tipe jaringan yang memerlukan gaya tekuk apabila dibandingkan insulator jenis pin.

### 2.2.3.2 Insulator Gantung

Fungsi insulator selain digunakan untuk beban tumpu dan gaya tekuk juga digunakan untuk gaya tarik dimana jenis Insulator gantung dibuat khusus agar memiliki gaya tarik yang baik. Insulator gantung diklasifikasikan menjadi tiga jenis yakni :

1. Insulator Piring

Insulator piring khusus digunakan pada jaringan distribusi dengan tipe tiang penegang (TM5, TM6), tiang penyangga dan tarik (TM7, TM8), tiang sudut (TM9, TM10), dan tiang akhir (TM3, TM4, TM11, TM12, TM13) [14]. Insulator jenis ini sangat sering dijumpai pada jaringan distribusi tegangan menengah dengan bahan dasar porselen karena memiliki kekuatan mekanis yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan insulator gantung jenis lainnya

2. Insulator Rantai

Insulator jenis rantai sebenarnya sama dengan insulator piring yang dirangkai banyak sehingga berbentuk seperti rantai. Insulator jenis ini hanya digunakan pada transmisi tegangan tinggi. Khusus insulator jenis rantai dilengkapi dengan tanduk busur (*arcing horn*) yang berfungsi apabila terjadi tegangan *flashover* maka busur api yang timbul tidak akan melalui permukaan isolator melainkan merambat melewati tanduk busur.

3. Insulator Batang Tonggak

Insulator jenis ini merupakan salah satu insulator modern yang berbahan dasar komposit (karet silikon) sehingga memiliki kelebihan ringan dan fleksibilitas yang tinggi.



**Gambar 2.2. Insulator : (a) Pin, (b) Post, (c) Pinpost, (d) Piring, (e) Batang Tonggak**

**2.2.4 Karakteristik Insulator**

Insulator mempunyai dua jenis karakteristik yakni karakteristik mekanik dan karakteristik elektrik, yakni sebagai berikut :

#### **2.2.4.1 Karakteristik Mekanik**

Setiap jenis insulator memiliki karakteristik mekanik yang berbeda-beda dan perlu dipertimbangkan. Hal tersebut ditandai dengan kekuatan mekanisnya yang dibedakan menjadi tiga jenis pembebanan yakni kekuatan mekanis tumpu, kekuatan mekanis tekuk, dan kekuatan mekanis tarik. Apabila sebuah insulator dipasang di luar (*outdoor*) pada jaringan distribusi tegangan menengah maka hal yang perlu dipertimbangkan adalah berat konduktor dan beban tariknya. Berat konduktor dipengaruhi oleh jenis konduktor, luas penampang, jarak antar gawang (tiang), dan adanya beban lain yang mempengaruhi konduktor tersebut. Sedangkan beban tarik dipengaruhi oleh jenis konduktor, luas penampang, jarak antar gawang, temperatur, dan kecepatan angin. Insulator jenis pin dan pin-post perlu dipertimbangkan beban tumpu dan beban tekuknya, sedangkan insulator gantung yang dipertimbangkan adalah beban tariknya karena menimbulkan regangan. Untuk insulator pasang dalam (*indoor*), biasanya menggunakan insulator post yang dipasang pada panel pembagi daya di gardu beton. Hal yang perlu diperhatikan adalah beban tekuknya akibat gaya mekanik antar konduktor.

#### **2.2.4.2 Karakteristik Elektrik**

Dilihat dari segi kelistrikan, Isolator dan udara merupakan satu kesatuan sistem isolasi dengan kerangka sedemikian rupa yang berfungsi untuk menjaga suatu konduktor yang bertegangan agar tidak ada arus listrik yang mengalir dari konduktor ke tanah [9]. Terdapat suatu kondisi dimana sistem isolasi tersebut akan mengalami kegagalan dalam menjaga agar tidak terjadi tembus listrik sehingga tidak menjalankan fungsinya dengan maksimal. Peristiwa terjadinya tembus listrik pada udara di sekitar permukaan isolator disebut peristiwa lewat denyar (*flashover*). Apabila peristiwa tembus listrik yang terjadi dan menyebabkan isolator menjadi pecah, maka kegagalan tersebut terjadi akibat dari ketidaksempurnaan bahan dielektrik suatu insulator sehingga mengalami *breakdown*. Maka dari itu, suatu insulator perlu dirancang sedemikian rupa agar tegangan tembusnya lebih tinggi dari tegangan *flashover* nya. Dengan cara kekuatan dielektrik suatu insulator dipilih berdasarkan tegangan *flashover* nya. Untuk mendapatkan nilai tegangan tertinggi

insulator sebelum terjadinya *flashover* dapat diperkirakan berdasarkan tiga karakteristik dasar yakni :

1. Tegangan *Flashover* Bolak Balik Kondisi Kering

Karakteristik dasar yang pertama merupakan salah satu contoh insulator yang dipasang pada ruangan tertutup. Dengan kondisi ruangan yang tertutup dapat diasumsikan insulator tersebut kering dan bersih serta dinyatakan pada keadaan standarnya yakni tekanan udara 760 mmHg dan temperatur 20<sup>0</sup>C.

$$V = \partial V_s \quad (2.1)$$

Dimana :

V = Tegangan *flashover* pada kondisi udara tertentu

V<sub>s</sub> = Tegangan *flashover* pada keadaan standar

∂ = Faktor koreksi udara

$$\partial = \frac{0.386 \times P}{273+T}$$

P = Tekanan udara

T = *Temperature* udara

Pada persamaan 2.1 merupakan persamaan untuk menghitung tegangan *flashover* pada kondisi tekanan dan temperatur tertentu berdasarkan perhitungan faktor koreksi udaranya.

$$V = \frac{\partial \times V_s}{K_h} \quad (2.2)$$

Dimana :

K<sub>h</sub> = Kelembaban Udara

Persamaan 2.2 merupakan perhitungan tegangan *flashover* berdasarkan kondisi tekanan, temperatur, dan kelembaban udara tertentu. Dimana kelembaban udara standar adalah sebesar 11 gr/m<sup>3</sup>. Apabila kelembaban udara menjadi salah satu faktor yang dipertimbangkan dalam besarnya tegangan *flashover* maka perhitungan V<sub>s</sub> harus menggunakan besar kelembaban udara standar.

2. Tegangan *Flashover* Bolak-Balik Kondisi Basah

Karakteristik dasar yang kedua merupakan salah satu contoh insulator yang dipasang pada ruangan terbuka. Maka dapat digambarkan insulator tersebut akan basah karena air hujan. Pembasahan insulator akibat air hujan dapat dicirikan

melalu tiga hal yakni intensitas, arah, dan tingkat konduktivitas air tersebut. Maka seperti karakteristik pertama, perlunya standarisasi air hujan yang membasahi insulator tersebut. Menurut standar *IEC*, ciri-ciri insulator yang terkena air pada saat pengujian sebagai berikut :

Intensitas penyiraman = 3 mm/menit  
 Resistivitas air (r) = 10.000 ohm-cm  
 Sudut (arah air) = 45° sumbu tegak insulator

$$V = 0.5 V_s \left( 1 + \frac{P}{760} \right) \quad (2.3)$$

Persamaan 2.3 merupakan perhitungan tegangan *flashover* pada kondisi sembarang tekanan udara. Insulator yang basah akibat air hujan apabila mengalami *flashover*, maka peluahan akan melewati permukaan insulator dan celah udara dan umumnya setengah dari jalur peluahan akan melewati celah udara. Sehingga kenaikan tegangan *flashover* pada insulator yang basah akibat kenaikan tekanan udara akan semakin besar.

### 3. Tegangan Surja

Karakteristik yang terakhir merupakan karakteristik tegangan waktu yang digunakan untuk memperkirakan insulator yang terkena tegangan surja akibat sambaran petir. Penurunan kekuatan dielektrik insulator akibat air hanya 2-3% saja sehingga dapat diabaikan. Sehingga karakteristik ini mempertimbangkan kondisi insulator yang kering dan bersih.

## 2.2.5 Kegagalan Insulator

Terdapat dua jenis kegagalan insulator yakni kegagalan mekanis dan kegagalan listrik sebagai berikut :

### 2.2.5.1 Kegagalan Mekanis

Pada jaringan distribusi, terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan kegagalan mekanis diantaranya sebagai berikut :

1. Isolator pecah dapat disebabkan oleh kontraksi internal yang terjadi didalamnya, pemuaihan yang kurang merata

- selain itu kegagalan ini juga dapat disebabkan oleh pergantian musim yang ekstrim dan temperatur yang tinggi.
2. Isolator berlubang dapat disebabkan oleh kurang sesuai temperatur pemrosesan insulator baik itu terlalu rendah atau terlalu tinggi sehingga insulator akan semakin hidrofilik (mudah menyerap air). Akibat lainnya yakni kekuatan isolasi akan menurun sehingga memungkinkan arus dapat merambat melalui permukaan insulator.
  3. Ketidakmurnian bahan isolasi akan mengakibatkan kebocoran. Sehingga merupakan salah satu karakteristik mekanik yang perlu dipertimbangkan
  4. Insulator yang kurang mengkilap akan mengakibatkan sifat hidrofobik insulator semakin menurun. Selain dapat menyerap air, juga dapat mengakibatkan penimbunan debu dan kotoran yang dapat membuat jalur konduktivitas yang bersifat menghantar dan memperpendek jarak rayap (*creepage distance*).
  5. Tekanan akibat penumpukan insulator pada jaringan. Apabila bahan insulator kurang kuat maka dapat menyebabkan insulator pecah.

#### **2.2.5.2 Kegagalan Listrik**

Beberapa kegagalan listrik yang terjadi pada insulator yakni sebagai berikut :

1. Kegagalan tembus (*breakdown*), kegagalan ini dapat disebabkan oleh polutan yang menempel sehingga membentuk jalur konduktif pada permukaannya. Faktor luar lain seperti sambaran petir juga dapat mengakibatkan insulator mengalami penurunan tegangan tembus. Hal tersebut menyebabkan karakteristik insulator tidak seperti semula. Kemampuan elektrik insulator akan berkurang dan akan semakin parah lagi hingga mengakibatkan kerusakan mekanik sehingga insulator tidak dapat digunakan kembali.
2. Kegagalan lewat denyar (*flashover*), kegagalan ini dipicu oleh terbentuknya pita kering (*dry band*) akibat lapisan kontaminan pada permukaan insulator. Pita kering yang teraliri arus secara terus menerus akan mempercepat penuaan (*aging*) serta mengakibatkan munculnya busur listrik sehingga membentuk jejak erosi (*tracking*).

### 2.2.6 *Flashover* pada Insulator

Lewat denyar atau *flashover* merupakan salah satu kegagalan elektrik yang terjadi karena ketidakmampuan permukaan insulator untuk menahan besarnya tegangan tertentu sehingga dapat muncul busur api atau kerusakan mekanis. *Flashover* pada permukaan insulator disebabkan oleh berbagai faktor seperti temperatur, kelembaban udara, tekanan udara, jenis polutan lingkungan sekitar seperti debu, hujan asam, asap pabrik, fly ash, garam, air hujan dan sebagainya. Tegangan *flashover* merupakan nilai maksimal tegangan yang dapat ditahan oleh insulator sampai dengan terjadinya *flashover* pada permukaan insulator [8].

Pada keadaan normal atau bersih, nilai tahanan insulator cukup tinggi seperti seharusnya, namun apabila terbentuk lapisan polutan pada permukaan insulator akan menyebabkan berkurangnya nilai tahanan pada insulator. Pada kondisi basah juga akan memperburuk nilai tahanan insulator. Dengan menurunnya tahanan pada insulator maka dapat meningkatkan kemungkinan arus mengalir melalui permukaan insulator sehingga arus tersebut dinamakan arus bocor. Pada lokasi tempat rapat arus bocor tertinggi akan menimbulkan pita kering (*dry band*) karena lapisan polutan tersebutlah yang kering. Sehingga pita kering tersebut memiliki nilai tahanan yang lebih besar daripada permukaan sekitarnya. Adanya perbedaan besar tahanan tersebut menimbulkan mengalirnya peluahan muatan yang melintasi pita kering. Sehingga terjadi *flashover* akibat busur api yang melintasi seluruh permukaan insulator.

### 2.2.7 Polutan pada Insulator

Polutan dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yang dapat mempengaruhi tahanan permukaan sebuah insulator diantaranya :

1. Polutan yang bersifat konduktif merupakan polutan yang kemungkinan besar dapat menghantarkan arus listrik. Polutan ini terdiri dari garam-garam yang mampu terurai menjadi ion-ion contohnya adalah  $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  dan sebagainya
2. Polutan yang bersifat *inert* atau lebam, yakni kebalikan dari polutan garam-garam dimana tidak mampu terurai menjadi ion-ion pada larutan. Polutan jenis ini terbagi menjadi dua

jenis yakni polutan hidrofobik dan polutan hidrofilik. Polutan hidrofilik dapat menyebabkan insulator mudah menyerap air pada permukaannya contohnya yaitu semen dan tanah liat. Polutan hidrofobik merupakan kebalikan dari polutan hidrofilik dimana polutan ini menurunkan tingkat kebasahan permukaan insulator, sehingga insulator semakin kedap air sebagai contoh adalah oli dan lemak yang membuat air tidak dapat menempel pada permukaan insulator [3].

### 2.2.8 Insulator Terpolusi dan Penggolongan Tingkat Polusi Permukaan Insulator

Menurut standar IEC 815 ayat 2, terdapat tiga metode untuk menentukan tingkat bobot polusi sebuah insulator berdasarkan lokasinya yakni :

1. Berdasarkan analisa kualitatif kondisi lingkungan
2. Berdasarkan evaluasi terhadap pengalaman lapangan tentang karakteristik insulator yang telah terpasang dan beroperasi di kawasan tersebut
3. Berdasarkan pengukuran polutan insulator yang telah terpasang dan beroperasi

**Tabel 2.1 Tingkat polusi berdasarkan kondisi lingkungan menurut standar IEC 815**

<b>Tingkat Polusi</b>	<b>Contoh Lingkungan</b>
Ringan	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Daerah pertanian dan pegunungan</li> <li>2. Daerah dengan sedikit industri dan rumah penduduk dengan sarana pembakaran rendah (Daerah yang dimaksud terletak <math>\geq 10</math> km dari laut serta tidak ada angin laut yang berhembus)</li> </ol>
Sedang	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Daerah industri yang tidak menghasilkan polusi gas</li> <li>2. Daerah industri atau pemukiman dengan curah hujan tinggi</li> </ol>
Berat	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Daerah industri dan perkotaan dengan sarana pembakaran yang tinggi</li> <li>2. Daerah dekat dengan laut yang terkena hembusan angin laut</li> </ol>

**Tabel 2.1 (Lanjutan). Tingkat polusi berdasarkan kondisi lingkungan menurut standar IEC 815**

Tingkat Polusi	Contoh Lingkungan
Sangat Berat	1. Daerah pantai dan terkena angin laut 2. Daerah gurun atau padang pasir

Pada tabel 2.1 merupakan penggolongan tingkat polutan insulator yang dipengaruhi kondisi geografisnya. Ketebalan lapisan polutan yang menempel pada permukaan insulator dapat diklasifikasikan menjadi empat jenis yaitu ringan, sedang, berat, dan sangat berat. Berdasarkan standar IEC 60815, Terdapat beberapa metode yang umumnya digunakan untuk menghitung tingkat polutan diantaranya adalah metode *Equivalent Salt Density Deposit* (ESDD) serta metode *Non Soluble Density Deposit* (NSDD).

### 2.2.8.1 *Equivalent Salt Density Deposit* (ESDD)

Metode ESDD merupakan sebuah metode yang bertujuan untuk menghitung tingkat kadar garam dalam polutan peralatan, contohnya adalah air laut. Langkah-langkah untuk menghitung nilai ESDD yakni pertama larutkan polutan yang menempel pada insulator di air destilasi sebanyak 500 ml. lalu, air diaduk di ruangan pendingin dengan temperatur mencapai 20°C, apabila temperatur air telah mencapai 20°C, maka ukur konduktivitas air dengan menggunakan alat *conductivitymeter*. Lalu hitung dengan menggunakan persamaan berikut [17] :

$$\theta = \frac{i \cdot t}{v \cdot s} \quad (2.4)$$

$$\theta_{20} = \theta [1 - b(t - 20)] \quad (2.5)$$

Keterangan :

$\theta$	= Konduktivitas larutan	(S/m)
$\theta_{20}$	= Konduktivitas larutan suhu 20°C	(S/m)
$i$	= Arus listrik rata-rata	(A)
$V$	= Tegangan rata-rata	(V)
$l$	= panjang tabung	(m)
$s$	= luas penampang tabung	(m <sup>2</sup> )
$b$	= faktor koreksi suhu t	
$t$	= suhu larutan	(°C)

Menghitung konsentrasi garam dalam larutan bersuhu 20°C dan ESDD menggunakan persamaan :

$$D = (5,7 \times \theta_{20})^{1,03} \quad (2.6)$$

$$ESDD = G \times \frac{D^2 - D_1}{A} \quad (\text{gr/cm}^2) \quad (2.7)$$

Keterangan :

D = Konsentrasi garam

G = Volume air destilasi (cm<sup>3</sup>)

A = Luas permukaan insulator (cm<sup>2</sup>)

Penggolongan tingkat polusi dengan menggunakan metode ESDD dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut :

**Tabel 2.2. Penggolongan tingkat polusi berdasarkan ESDD**

Tingkat Polusi	ESDD (gr/cm <sup>2</sup> )
Ringan	0,06
Sedang	0,2
Berat	0,6
Sangat Berat	>0,6

### 2.2.8.2 *Non Soluble Density Deposit (NSDD)*

Metode NSDD merupakan sebuah metode yang bertujuan untuk menghitung tingkat polutan yang tidak mengandung kadar garam dan tidak larut dalam air, contohnya asap kendaraan bermotor, asap pabrik, debu semen. Langkah-langkah dalam menghitung menggunakan metode NSDD yakni pertama cuci insulator yang telah terpolusi. Lalu, larutan air cucian yang telah terpolusi kemudian disaring menggunakan kain katun lalu dikeringkan. Sebelum dilakukan penyaringan, kain katun terlebih dahulu ditimbang. Kain katun kering yang telah terpolusi ditimbang kembali lalu massa kain setelah penyaringan dikurangi massa kain sebelum penyaringan kemudian dibagi luas permukaan insulator porselen. Dimana luas permukaan insulator pinpost adalah 2197,8 cm<sup>2</sup> sedangkan insulator post adalah 2468.5 cm<sup>2</sup>. Berikut persamaan metode NSDD :

$$NSDD = \frac{m_2 - m_1}{A} (\text{gr/cm}^2)$$

Keterangan :

m1 = massa kain sebelum penyaringan (gr)

m2 = massa kain setelah penyaringan (gr)

A = Luas permukaan insulator (cm<sup>2</sup>)

Penggolongan tingkat polusi dengan menggunakan metode NSDD dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut :

**Tabel 2.3. Penggolongan tingkat polusi berdasarkan NSDD**

Tingkat Polusi	NSDD (gr/cm <sup>3</sup> )
Ringan	0,01 – 0,1
Sedang	0,1 – 1
Berat	1 – 4
Sangat Berat	4 – 10

### **2.2.9 Pembangkitan Tegangan Tinggi AC untuk Pengujian Isolasi Peralatan Tegangan Tinggi**

Pembangkitan tegangan tinggi AC digunakan untuk menguji sistem isolasi peralatan tegangan tinggi, dalam kasus ini adalah insulator. Alat ini hanya untuk membangkitkan tegangan tinggi dan bukan untuk penyaluran energi listrik. Pembangkitan tegangan tinggi AC dapat menggunakan alat trafo uji satu fasa atau dengan menggunakan rangkaian resonansi.

#### **2.2.10 Trafo Uji Tegangan Tinggi**

Pembangkitan tegangan tinggi AC menggunakan trafo uji tegangan tinggi satu fasa. Benda yang dilakukan pengujian umumnya memiliki sifat kapasitif termasuk insulator sehingga rating trafo uji tegangan tinggi harus disesuaikan. Setiap benda yang akan diujikan memiliki tipikal kapasitansinya (Ct) tergantung dari benda uji tersebut. Sedangkan nilai tipikal kapasitansi untuk benda uji insulator umumnya adalah  $\pm 10$  pF.

Pada saat melakukan pengujian isolasi peralatan tegangan tinggi dengan menggunakan alat trafo uji tegangan tinggi akan rawan terjadinya hubung singkat. Hubung singkat yang timbul hanya terjadi pada sisi sekunder trafo uji sehingga tidak menyebabkan kerusakan mekanis pada belitan trafo karena arus yang timbul tidak besar sehingga akan timbul gaya magnet yang kecil [17].

##### **1. Konstruksi Trafo Uji Tegangan Tinggi**

Konstruksi trafo uji tegangan tinggi bergantung pada isolasi belitan karena secara umum trafo uji tidak mengalami masalah dengan pendinginan karena umumnya dioperasikan dalam waktu yang singkat. Dengan mempertimbangkan faktor tingkat kesulitan isolasi dan faktor ekonomi, belitan tegangan tinggi pada umumnya dapat diisolasi sampai

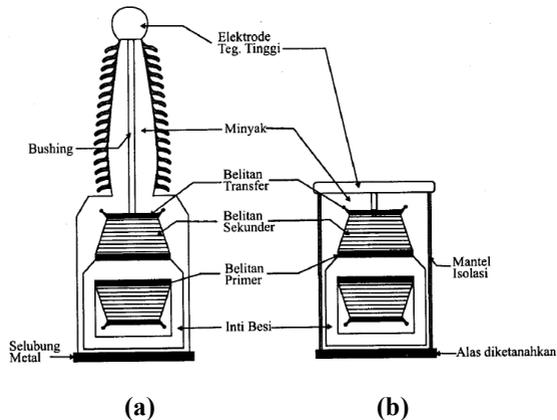
dengan tegangan sekitar 100 kV sehingga untuk tegangan yang lebih tinggi dipergunakan rangkaian trafo bertingkat (*cascade*). Gambar 2.3 merupakan jenis konstruksi trafo uji tegangan tinggi.

2. Rangkaian Satu Tingkat

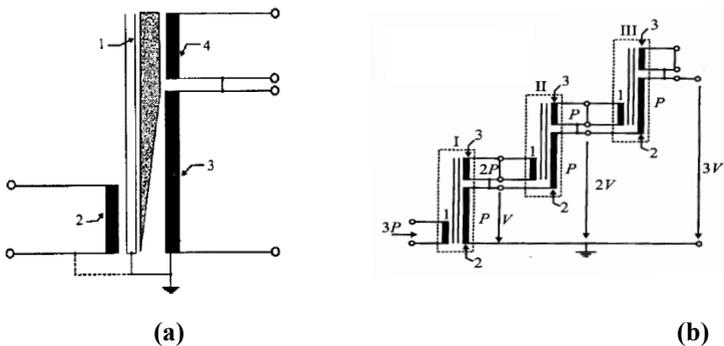
Rangkaian satu tingkat hanya terdiri dari 1 buah inti besi. Pada Gambar 2.4 (a) terlihat bahwa trafo memiliki belitan transfer dengan jumlah belitan yang sama dengan belitan primer. Inti besi di-*grounding* dan belitan primer berada diantara belitan sekunder dan inti besi. Belitan transfer terletak pada potensial sekunder yang tidak diperlukan apabila trafo uji dengan rangkaian satu tingkat, akan tetapi akan digunakan pada trafo uji dengan rangkaian bertingkat.

3. Rangkaian Bertingkat

Rangkaian bertingkat biasa digunakan untuk trafo dengan tegangan *output* diatas 800 kV. Rangkaian bertingkat juga dapat digunakan pada tegangan yang lebih rendah, biasanya karena sulitnya implementasi sistem isolasi dan mahal secara ekonomi. Rangkaian bertingkat memiliki keuntungan yaitu berat satu set peralatan uji terbagi menjadi beberapa bagian sehingga memudahkan dalam hal pemindahan peralatan uji. Gambar 2.4 (b) merupakan rangkaian trafo uji bertingkat. Belitan transfer berfungsi sebagai belitan eksitasi dari tingkat berikutnya. Suplai tegangan rendah dihubungkan dengan belitan primer 1 trafo uji I yang menghasilkan tegangan luaran V, sama seperti dua trafo yang lain. Belitan transfer 3 menyuplai primer unit trafo uji II. Belitan sekunder 2 kedua unit terhubung secara seri, sehingga menghasilkan tegangan 2V. Proses yang sama juga berlaku untuk trafo uji III. Namun, trafo uji bertingkat memiliki kekurangan yaitu belitan primer tingkatan terbawah memiliki pembebanan yang berat. Total daya 3P harus disediakan oleh primer trafo I dimana P merupakan perkalian tegangan dan arus pada tiap belitan.



**Gambar 2.3. Konstruksi Trafo Uji (a) dengan Bushing, (b) tanpa bushing**



**Gambar 2.4. Rangkaian Trafo Uji (a) Satu Tingkat, (b) Bertingkat**

### 2.2.11 Rangkaian Resonansi

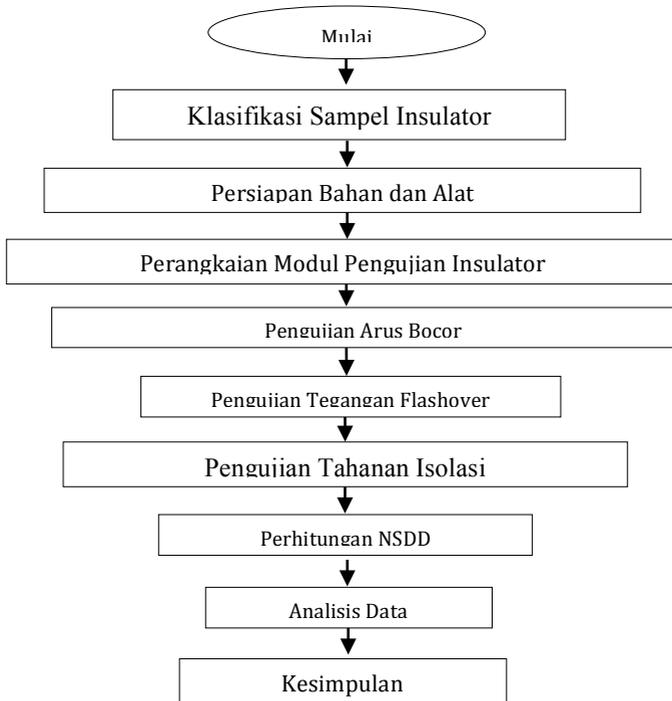
Biaya pembuatan rangkaian resonansi lebih murah apabila dibandingkan dengan trafo uji. Prinsip kerja dari rangkaian resonansi ini adalah menggunakan regulator induktansi yang halus tanpa tingkatan agar memenuhi syarat resonansi untuk berbagai kapasitansi beban. Namun, sulit untuk merealisasikan reaktor dengan menggunakan variabel induktansi. Rangkaian resonansi terbagi

menjadi dua jenis yaitu rangkaian resonansi seri dan rangkaian resonansi paralel.

### BAB III

## RANCANGAN PENGUJIAN KARAKTERISTIK INSULATOR DAN METODE PENGUKURAN TINGKAT POLUTAN

Bab ini akan menjelaskan mengenai metode-metode yang akan dilakukan selama proses penelitian pengujian insulator ini. Pada gambar 3.1 merupakan bentuk diagram alur penelitian yang terdiri dari beberapa tahapan metode-metode pengujian. Diagram alur ini digunakan untuk melakukan pengujian insulator dalam rangka penelitian tugas akhir ini



**Gambar 3.1. Diagram Alur**

Sesuai dengan gambar diagram alur diatas, metode pertama yang perlu dilakukan dalam penelitian ini adalah mengklasifikasi sampel insulator yang telah dikumpulkan. Selanjutnya, sampel insulator yang telah diklasifikasikan kemudian dikumpulkan beserta bahan dan alat yang akan digunakan selama proses pengujian. Selain itu, tidak lupa untuk menyiapkan modul pengujian agar pengujian yang dilakukan sesuai dengan standar sehingga tidak terjadi kecelakaan kerja. Setelah sampel insulator, alat uji, beserta modul pengujian telah disiapkan dan dipahami maka dilakukan perangkaian pembangkitan tegangan tinggi “*Haefely*” sesuai dengan modul pengujian insulator dan jangan lupa untuk menyiapkan tongkat pentanahan sebagai pengaman. Selanjutnya, dapat dilakukan pengujian arus bocor dan tegangan *flashover* untuk tiap insulator menggunakan tegangan AC. Lalu, dapat dilakukan pengujian tahanan isolasi setelahnya menggunakan tegangan DC. Catat seluruh data tiap insulator sehingga metode selanjutnya adalah menganalisis data-data yang telah diperoleh. Terakhir beri kesimpulan dari penelitian pengujian insulator ini.

### **3.1 Klasifikasi Sampel Insulator**

Metode pertama yang perlu dilakukan adalah mengklasifikasi sampel insulator yang telah dikumpulkan. Sampel-sampel insulator yang dikumpulkan merupakan hasil operasi atau bekas pemakaian di jaringan distribusi tenaga listrik. Selama 6 bulan menjalani magang di PLN ULP Giri UP3 Gresik, dikumpulkan insulator-insulator yang nantinya akan dilakukan pengujian. Sebelum dilakukan pengujian, setiap sampel insulator perlu diklasifikasikan terlebih dahulu. Klasifikasi dilakukan berdasarkan studi *literatur* yang telah dibaca dan dipahami. *Literatur* beserta data yang diperoleh dari PT PLN Persero menjadi dasar dilakukannya pengklasifikasian tersebut. Klasifikasi yang dilakukan diantaranya :

1. Klasifikasi Penyulang
2. Klasifikasi Daerah Insulator

### **3.2 Persiapan Bahan dan Alat**

Macam-macam bahan dan alat yang perlu dipersiapkan dalam melaksanakan pengujian insulator ini adalah sebagai berikut :

1. Satu set peralatan pembangkitan tegangan tinggi “*Haefely*” yang terdiri dari trafo 100 kV, resistor 2.4 k $\Omega$ , dan kapasitor

- 100 pF. Seluruh alat dan komponen tersebut nantinya akan digunakan untuk pengujian arus bocor dan tegangan flashover insulator.
2. Satu set peralatan *Mega Ohm Meter* (Megger) beserta probenya. Seluruh alat tersebut berfungsi untuk mengetahui nilai tahanan isolasi pada insulator.
  3. Modul pengujian arus bocor, tegangan *flashover* serta tahanan isolasi untuk memastikan bahwa pengujian telah dilaksanakan sesuai prosedur (SOP) yang berlaku sehingga tidak terjadi kecelakaan kerja
  4. Sticky notes, untuk mencatat hasil klasifikasi yang kemudian di kroscek kembali. Apabila terdapat yang berbeda atau salah nama penyulang, maka langsung diganti catatan *sticky notes* yang baru
  5. Seluruh sampel insulator. Insulator yang akan diuji seluruhnya berbahan dasar porselen diantaranya insulator jenis post dan insulator jenis pin-post.
  6. Konduktor AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) yang dipasang diatas permukaan insulator kemudian diikat (di *bending*) dengan kuat.
  7. Kabel *Line* dan kabel *grounding*. Kabel *line* dihubungkan ke bagian konduktor insulator sedangkan kabel *ground* dihubungkan ke sting insulator kemudian menuju pentanahan.
  8. Tongkat pentanahan fleksibel yang digunakan untuk *grounding* trafo uji apabila telah dilakukan pengujian serta untuk mengamankan peralatan pembangkit tegangan tinggi apabila terjadi *error*.
  9. *Stopwatch* yakni berfungsi untuk mencatat seberapa lama pengujian yang berlangsung atau untuk menghitung aktifitas tertentu yang berkaitan dengan pengujian insulator.
  10. Kamera yang berfungsi untuk mendokumentasikan seluruh alat dan komponen dalam pengujian. Selain itu juga mendokumentasikan proses pengujian tersebut baik sebelum maupun sesudahnya
  11. *Current Transformer 50/5* merupakan trafo arus yang digunakan untuk merubah besar arus dari 50 A menjadi 5 A sehingga dapat terukur oleh alat ukur arus bocor.
  12. *Multimeter* yang digunakan untuk mengukur arus bocor insulator yang diletakkan di kabel *grounding*.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

**Gambar 3.2. (a) (b) Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi, (c) Megger, (d) Insulator, (e) Alat *Stopwatch* dan Dokumentasi, (f) CT 50/5, (g) *Multimeter***



(g)

**Gambar 3.2 (Lanjutan). (a) (b) Rangkaian Pembangkit Tegangan Tinggi, (c) Megger, (d) Insulator, (e) Alat Stopwatch dan Dokumentasi, (f) CT 50/5, (g) Multimeter**

### **3.3 Perangkaian Modul Pengujian Insulator**

Penelitian ini menggunakan sumber yang berasal dari PLN yang kemudian tegangan tersebut dibangkitkan menjadi tegangan tinggi AC. Tegangan tinggi AC digunakan untuk menghitung arus bocor dan tegangan *flashover*. Modul yang digunakan dalam pembangkitan tegangan tinggi AC adalah modul pembangkitan tegangan tinggi AC/DC “*Haefely*” yang terdapat di Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro ITS. Alat yang digunakan untuk membangkitkannya adalah menggunakan trafo uji 100 kV. Rangkaian pembangkitan tegangan tinggi menggunakan rangkaian satu tingkat sesuai yang tertera pada nameplate peralatan pembangkitan tersebut di Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro ITS. Model rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut :



**Gambar 3.3. Model Rangkaian Pembangkitan Tegangan Tinggi AC**

Pada penelitian ini juga menggunakan tegangan tinggi DC untuk mengukur tahanan isolasi insulator. Peralatan yang digunakan untuk membangkitkan tegangan tinggi DC adalah menggunakan “*Megger Sanwa Digital Insulation Tester*” yang terdapat di Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro ITS. Peralatan pembangkit tegangan tinggi DC tersebut membangkitkan tegangan hingga 5000 Vdc.

Pengujian insulator menggunakan tegangan tinggi AC dan tegangan tinggi DC berturut-turut diilustrasikan pada gambar 3.6 dan 3.7. Peralatan yang dibutuhkan pada pembangkitan tegangan tinggi AC antara lain Trafo penaik tegangan, resistor, kapasitor, panel kontrol, control box, dan alat ukur tegangan. Sedangkan peralatan yang dibutuhkan pada pembangkitan tegangan tinggi DC antara lain Insulator, konduktor, megger, *probe line* dan *probe ground*. Dapat dilihat pula spesifikasi modul pembangkitan tegangan tinggi AC dan DC pada tabel 3.1

**Tabel 3.1. Spesifikasi Pembangkit Tegangan Tinggi AC**

Trafo Tegangan Tinggi	100 kV, 5 KVA
Resistor	2,4 k $\Omega$
Kapasitor	100 pF
Control Box	Tipe OT276
Alat Ukur Tegangan	Tipe DM1551
Panel Kontrol	Tipe STL 5

### 3.4 Pengujian Arus Bocor

Terdapat berbagai macam karakteristik elektrik insulator. Salah satu karakteristik elektriknya adalah tingkat arus bocor pada permukaan insulatornya. Jenis-jenis kontaminan akan mempengaruhi tingkat arus bocor tersebut. Sehingga arus bocor merupakan salah satu faktor yang perlu dianalisis untuk mendukung karakteristik elektrik insulator tegangan menengah terhadap kontaminan khususnya di PLN ULP Giri, Gresik. Pada pengujian arus bocor, insulator akan diberikan berbagai variasi tegangan tinggi AC yang dibangkitkan oleh rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC “*Haefely*.” Variasi tegangannya antara lain 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, dan 25 kV. Kabel grounding sebelum dilakukan pengujian harus dihubungkan ke sting insulator terlebih dahulu. Lalu, pada kabel *grounding* dipasang CT 50/5 agar arus yang melewati kabel tersebut dalam artian adalah arus bocor dapat terbaca. Agar arus bocor dapat terbaca, dipasanglah alat ukur multimeter “Hioki” agar arus yang besarnya *mili ampere* dapat terbaca. Langkah-langkah pengujian arus bocor sesuai prosedur adalah sebagai berikut :

1. Siapkan modul pengujian insulator
2. Buat rangkaian pengujian arus bocor terdiri dari rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC sebagai sumber tegangan AC, Insulator porselen, kabel *line* & kabel *grounding*, *multimeter* Hioki
3. Sumber tegangan dinyalakan
4. Beri nilai tegangan sebesar 4 kV
5. Tunggu selama  $\pm 1$  menit. Tujuannya untuk menghilangkan arus kapasitansi sehingga arus yang terbaca murni arus bocor
6. Naikkan tegangan menjadi 5 kV. Lalu tunggu selama  $\pm 15$  detik lalu catat hasilnya
7. Ulangi langkah 6 dengan menaikkan tegangan kelipatan 5 kV hingga tegangan 25 kV
8. Turunkan tegangan perlahan hingga 0 kV kemudian matikan sumber tegangan
9. Buat analisisnya.

### 3.5 Pengujian Tegangan Flashover

Karakteristik elektrik lainnya selain arus bocor adalah tegangan lewat denyar (*flashover*). Seluruh sampel Insulator porselen

akan diuji tegangan flashovernya, tujuannya untuk mengetahui kekuatan dielektrik insulator tersebut terhadap jenis kontaminan yang berbeda sesuai daerah tempat pemasangan dan pengoperasiannya. Pengujian tegangan flashover dilakukan dengan menggunakan metode *American Standard Test Method*, ASTM-D149 dengan metode yang paling umum yaitu *Short Time Test*. Prinsip kerja dari metode ini adalah, insulator diuji kekuatan dielektriknya hingga mencapai batas maksimal tembus listrik dengan cara menaikkan tegangan tinggi AC secara bertahap dan perlahan dari 0 kV. Tanda insulator mengalami tembus listrik adalah munculnya busur listrik yang umumnya disertai dengan suara letupan. Tidak lupa untuk mencatat nilai tegangan pre-breakdown yang ditandai dengan timbulnya korona yang ditandai dengan bunyi desis atau pendar berwarna ungu. Langkah-langkah pengujian tegangan *flashover* sesuai prosedur adalah sebagai berikut :

1. Siapkan modul pengujian tegangan *flashover* insulator
2. Buat rangkaian pengujian arus bocor terdiri dari rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC sebagai sumber tegangan AC, Insulator porselen, kabel *line* & kabel *grounding*
3. Sumber tegangan dinyalakan
4. Naikkan tegangan tinggi AC secara perlahan dari 0 kV hingga terdengar desis atau timbul pendar berwarna ungu pada permukaan insulator
5. Catat nilai tegangannya
6. Naikkan tegangan tinggi AC kembali secara perlahan dari hingga terjadi tembus listrik. Waktu yang diperlukan hingga terjadi tembus listrik adalah 10-20 detik. Lalu perhatikan nilai tegangannya
7. Turunkan tegangan perlahan hingga 0 kV kemudian matikan sumber tegangan
8. Catat nilai tegangannya
9. Buat analisisnya

### **3.6 Pengujian Tahanan Isolasi**

Karakteristik elektrik lainnya selain arus bocor dan tegangan *flashover* adalah tahanan isolasi. Pengujian tahanan isolasi merupakan salah satu jenis metode yang paling sering digunakan dalam mengetahui kondisi suatu peralatan listrik. Pengujian tahanan isolasi insulator menggunakan pembangkitan tegangan searah (DC)

atau umumnya menggunakan alat bernama *Megger (Mega Ohm Meter)*. Apabila insulator diberi tegangan tinggi DC maka arus akan mengalir melalui permukaan insulator dan bagian dalam insulator. Arus yang melalui permukaan insulator disebut arus permukaan sedangkan arus yang melalui bagian dalam insulator disebut arus *volume*. Prinsip kerja megger ini sama seperti ohm meter biasa, namun tegangan yang diberikan jauh lebih besar dengan kapasitas puluhan kilovolt. Langkah-langkah pengujian tegangan *flashover* sesuai prosedur adalah sebagai berikut :

1. Siapkan modul pengujian tahanan isolasi insulator dengan menggunakan megger
2. Pilih tegangan uji dengan nominal 5000 Vdc sesuai standar yang digunakan yaitu IEEE std. 43 tahun 2000
3. Hubungkan *probe line* ke konduktor insulator dan *probe ground* ke *sting* insulator
4. Tekan tombol *start* (tombol warna kuning) untuk memulai pengukuran. Pantau nilai di *monitor* megger
5. Jangan menyentuh objek yang diujikan tahanan isolasinya karena bisa menimbulkan tegangan kejut
6. Tekan tombol stop jika pengukuran selesai dilakukan dan jangan lupa catat hasilnya
7. Buat analisisnya

### **3.7 Pengukuran Nilai NSDD**

Setelah dilakukan ketiga pengujian diatas, maka selanjutnya mengukur nilai NSDD. Dari keempat jenis daerah diambil sampel satu insulator untuk dilakukan pengukuran NSDD. Langkah-langkah untuk menghitung nilai NSDD adalah sebagai berikut :

1. Insulator dicuci hingga bersih kemudian air cucian ditampung dalam wadah ember dan tidak dibuang. Dapat dilihat pada gambar 3.4 (a)
2. Kain katun diukur massanya sebelum dilakukan penyaringan dengan menggunakan timbangan neraca digital. Dapat dilihat pada gambar 3.4 (b)
3. Gunakan ember satu lagi lalu ditutup dengan menggunakan kain katun. Kemudian air cucian tadi dituangkan ke ember dua sehingga air cucian dapat tersaring ke kain katun. Kain katun yang belum dan telah terpolusi dapat dilihat pada gambar 3.4 (c) (d)

4. Setelah kain dikeringkan, lakukan pengukuran massa kain yang telah terpolusi.
5. Gunakan persamaan 2. Untuk menghitung nilai NSDD
6. Lalu, polutan dapat digolongkan berdasarkan standar *IEC* 60815 pada tabel 2.3



(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 3.4. Langkah Perhitungan NSDD**

## **BAB IV**

### **ANALISA PENGUJIAN KARAKTERISTIK INSULATOR DAN PERHITUNGAN TINGKAT POLUTAN**

Hasil pengujian insulator yang telah dilakukan akan dilakukan analisis dari data data yang diperoleh pada bab ini. Berbagai jenis pengujian akan dianalisis mulai dari pengujian arus bocor, pengujian tegangan flashover, serta pengujian tahanan isolasi insulator. Selanjutnya, akan diberikan perbandingan antara hasil arus bocor dengan tegangan flashover serta tahanan isolasi insulator di setiap daerah pengoperasiannya.

#### **4.1 Klasifikasi Insulator**

Seluruh sampel insulator yang telah dikumpulkan total berjumlah 15 insulator yang masing-masing berasal dari penyulang yang berbeda-beda di kota Gresik. Seluruh penyulang tersebut diampu oleh PLN ULP Giri UP3 Gresik. Masing-masing insulator tersebut yakni sebagai berikut :

1. Insulator Penyulang Perumahan
2. Insulator Penyulang Eterindo
3. Insulator Penyulang Suci
4. Insulator Penyulang KIG
5. Insulator Penyulang Duduk Sampean
6. Insulator Penyulang Petro Jordan
7. Insulator Penyulang Gubernur Suryo
8. Insulator Penyulang Tri Dharma
9. Insulator Penyulang Kebomas
10. Insulator Penyulang Ibnu Sina
11. Insulator Penyulang Bengawan
12. Insulator Penyulang Inti Sentosa
13. Insulator Penyulang Sekarkurung
14. Insulator Penyulang Bunder
15. Insulator Penyulang Ambeng-Ambeng

Seluruh sampel insulator yang dikumpulkan sudah mewakili seluruh karakteristik daerah kota Gresik yang diampu oleh PLN ULP Giri UP3 Gresik. Daerah-daerah tersebut dibagi

berdasarkan subjektivitas penulis serta data-data yang dikumpulkan berasal dari PLN UP2D (Unit Pelayanan Pengaturan Distribusi) Jawa Timur. Jenis-jenis daerah di kota Gresik terbagi menjadi empat diantaranya :

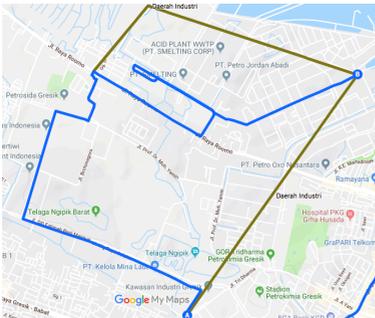
1. Daerah Industri
2. Daerah Rumah Tangga
3. Daerah Perkotaan
4. Daerah Pedesaan

Seluruh sampel Insulator yang dikumpulkan mewakili 15 penyulang diklasifikasikan berdasarkan jenis-jenis daerah di kota Gresik, diantaranya sebagai berikut :

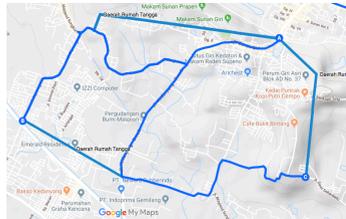
1. Daerah Industri :
  - Penyulang Eterindo
  - Penyulang Petro Jordan
  - Penyulang KIG
  - Penyulang Tri Dharma
  - Penyulang Sekarkurung
2. Daerah Rumah Tangga :
  - Penyulang Gubernur Suryo
  - Penyulang Bengawan
  - Penyulang Bunder
3. Daerah Perkotaan :
  - Penyulang Ibnu Sina
  - Penyulang Kebomas
  - Penyulang Suci
  - Penyulang Perumahan
4. Daerah Pedesaan :
  - Penyulang Duduk Sampean
  - Penyulang Inti Sentosa
  - Penyulang Ambeng-Ambeng



**Gambar 4.1. Kota Gresik**

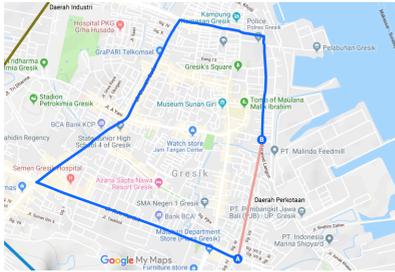


**(a)**

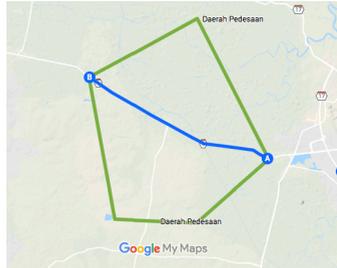


**(b)**

**Gambar 4.2. Pemetaan berdasarkan jenis daerah : (a) Industri, (b) Rumah Tangga, (c) Perkotaan, (d) Pedesaan**



(c)



(d)

**Gambar 4.2 (Lanjutan). Pemetaan berdasarkan jenis daerah : (a) Industri, (b) Rumah Tangga, (c) Perkotaan, (d) Pedesaan**

## 4.2 Pengujian Arus Bocor

Setelah seluruh insulator yang dikumpulkan diklasifikasikan, maka dapat dilakukan pengujian arus bocor. Sebelum dilakukan pengujian arus bocor dirangkai terlebih dahulu pembangkit tegangan tinggi AC. Setelah selesai dirangkai, maka insulator diuji satu per satu berdasarkan klasifikasi daerah. Berikut merupakan hasil pengujian arus bocor berdasarkan jenis daerahnya :

### 4.2.1 Hasil dan Analisa Arus Bocor Daerah Industri

Pada daerah industri terdapat 5 sampel insulator yang dilakukan pengujian arus bocor dengan cara memberikan tegangan dengan variasi tingkat tegangan yang berbeda-beda yaitu sebesar 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, dan 25 kV. Kelima sampel insulator tersebut berasal dari penyulang eterindo, petro jordan, KIG, tri dharma, dan sekarkurung.

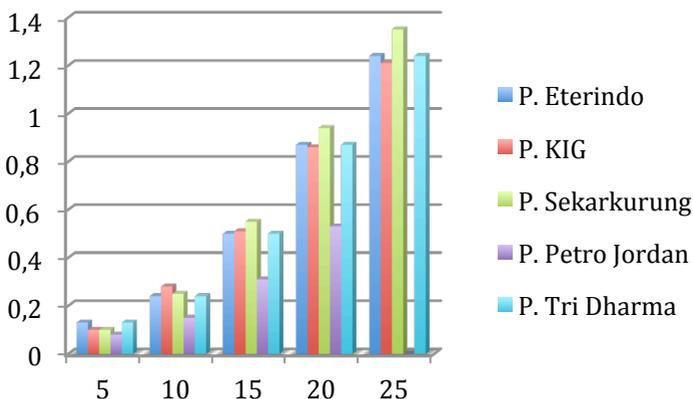
**Tabel 4.1 Hasil Pengujian Arus Bocor Berdasarkan Penyulang Daerah Industri**

P. Eterindo		P. KIG		P. Sekarkurung	
Tegangan (kV)	Arus Bocor (mA)	Tegangan (kV)	Arus Bocor (mA)	Tegangan (kV)	Arus Bocor (mA)
4,99	0,10	5,05	0,10	5,05	0,10
10,11	0,23	10,11	0,28	10,03	0,25
15,02	0,46	15,00	0,51	15,13	0,55
20,17	0,79	20,23	0,86	20,06	0,94
24,96	1,06	25,05	1,21	25,02	1,35

**Tabel 4.1 (Lanjutan). Hasil Pengujian Arus Bocor Berdasarkan Penyulang Daerah Industri**

P. Petro Jordan		P. Tri Dharma	
Tegangan (kV)	Arus Bocor (mA)	Tegangan (kV)	Arus Bocor (mA)
5,09	0,08	5,03	0,13
10,15	0,15	10,17	0,24
15,06	0,31	15,10	0,50
20,04	0,53	20,19	0,87
25	Flashover	25	1,24

Pada tabel 4.1 merupakan data hasil pengujian arus bocor insulator yang mewakili penyulang daerah industri dengan diberikan level tegangan yang berbeda-beda. Setiap insulator yang diuji pada tiap level tegangannya akan ditunggu selama  $\pm 15$  detik yang bertujuan agar nilai yang didapatkan merupakan nilai arus bocor murni ( $I_p$ ) yang tidak mengandung arus kapasitansi ( $I_c$ ). Nilai tegangan yang diaplikasikan idealnya adalah 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, dan 25 kV. Namun karena keterbatasan peralatan uji yang digunakan, tegangan yang diaplikasikan berada pada nilai tegangan yang diinginkan dengan tingkat *error* sekitar  $\pm 0,23$  kV.



**Gambar 4.3. Grafik Arus Bocor Insulator Daerah Industri Berdasarkan Tingkat Tegangan**

Pada gambar 4.3 terdapat hubungan antara arus bocor dengan tegangan yang diaplikasikan. Semakin besar tegangan yang diberikan maka nilai arus bocor yang dihasilkan akan semakin besar pula. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin tinggi tegangan yang diberikan kepada insulator maka pelepasan muatan yang terjadi pada permukaan insulator akan semakin meningkat sehingga nilai arus bocor permukaan insulator semakin tinggi [16]. Pada tegangan 5 kV arus bocor insulator P. Eterindo sebesar 0,10 mA. Setelah tegangan dinaikkan menjadi 10 kV, nilai arus bocor meningkat sebesar 130% menjadi sebesar 0,23 mA. Nilai arus bocor akan semakin meningkat apabila level tegangan terus dinaikkan. Apabila tegangan sebesar 5 kV ditingkatkan menjadi 25 kV maka terdapat peningkatan arus bocor dengan *prosentase* sebesar 960% menjadi sebesar 1,06 mA. Kenaikan arus bocor tersebut terjadi di seluruh sampel insulator sehingga dapat disimpulkan semakin tinggi tegangan yang diberikan maka semakin besar juga nilai arus bocornya. Hal tersebut sesuai dengan rumus dasar listrik yaitu  $V = I \times R$ . Dimana V adalah tegangan, I adalah arus, dan R adalah tahanan. Apabila nilai V dinaikkan sedangkan nilai R tetap, maka nilai I akan semakin meningkat.

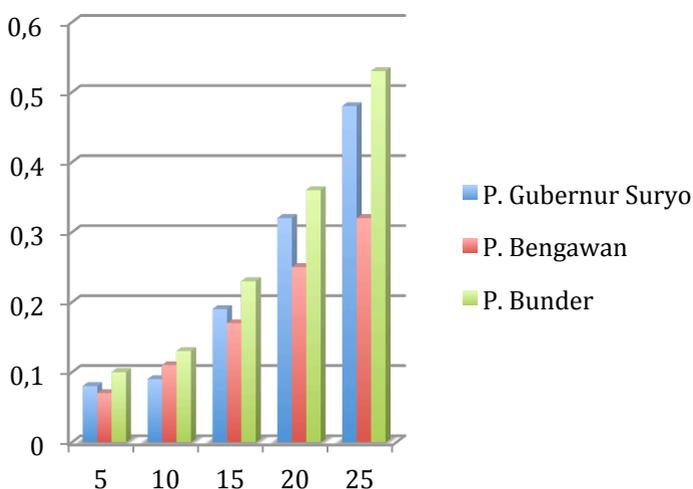
#### 4.2.2 Hasil dan Analisa Arus Bocor Daerah Rumah Tangga

Pada daerah rumah tangga terdapat 3 sampel insulator yang dilakukan pengujian arus bocor dengan cara memberikan tegangan dengan variasi tingkat tegangan yang berbeda-beda yaitu sebesar 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, dan 25 kV. Ketiga sampel insulator tersebut berasal dari penyulang gubernur suryo, bengawan, dan bunder.

**Tabel 4.2 Hasil Pengujian Arus Bocor Berdasarkan Penyulang Daerah Rumah Tangga**

P. Gubernur Suryo		P. Bengawan		P. Bunder	
Tegangan (kV)	Arus Bocor (mA)	Tegangan (kV)	Arus Bocor (mA)	Tegangan (kV)	Arus Bocor (mA)
5,21	0,08	5,04	0,07	5,11	0,10
10,10	0,09	10,07	0,11	10,09	0,13
15,15	0,19	15,02	0,17	15,08	0,23
20,09	0,32	20,05	0,25	20,10	0,36
25,16	0,48	25,08	0,32	25,12	0,53

Pada tabel 4.2 merupakan data hasil pengujian arus bocor insulator yang mewakili penyulang daerah rumah tangga dengan diberikan level tegangan yang berbeda-beda. Setiap insulator yang diuji pada tiap level tegangannya akan ditunggu selama  $\pm 15$  detik yang bertujuan agar nilai yang didapatkan merupakan nilai arus bocor murni ( $I_p$ ) yang tidak mengandung arus kapasitansi ( $I_c$ ). Nilai tegangan yang diaplikasikan idealnya adalah 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, dan 25 kV. Namun karena keterbatasan peralatan uji yang digunakan, tegangan yang diaplikasikan berada pada nilai tegangan yang diinginkan dengan tingkat *error* sekitar  $\pm 0,23$  kV.



**Gambar 4.4. Grafik Arus Bocor Insulator Daerah Rumah Tangga Berdasarkan Tingkat Tegangan**

Pada gambar 4.4 terdapat hubungan antara arus bocor dengan tegangan yang diaplikasikan. Semakin besar tegangan yang diberikan maka nilai arus bocor yang dihasilkan akan semakin besar pula. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin tinggi tegangan yang diberikan kepada insulator maka pelepasan muatan yang terjadi pada permukaan insulator akan semakin meningkat sehingga nilai arus bocor permukaan insulator semakin tinggi [16]. Pada tegangan 5 kV

arus bocor insulator P. Gubernur Suryo sebesar 0,08 mA. Setelah tegangan dinaikkan menjadi 10 kV, nilai arus bocor meningkat sebesar 12,5% menjadi sebesar 0,09 mA. Nilai arus bocor akan semakin meningkat apabila level tegangan terus dinaikkan. Apabila tegangan sebesar 5 kV ditingkatkan menjadi 25 kV maka terdapat peningkatan arus bocor dengan prosentase sebesar 500% menjadi sebesar 0,48 mA. Kenaikan arus bocor tersebut terjadi di seluruh sampel insulator sehingga dapat disimpulkan semakin tinggi tegangan yang diberikan maka semakin besar juga nilai arus bocornya. Hal tersebut sesuai dengan rumus dasar listrik yaitu  $V = I \times R$ . Dimana V adalah tegangan, I adalah arus, dan R adalah tahanan. Apabila nilai V dinaikkan sedangkan nilai R tetap, maka nilai I akan semakin meningkat.

#### 4.2.3 Hasil dan Analisa Arus Bocor Daerah Perkotaan

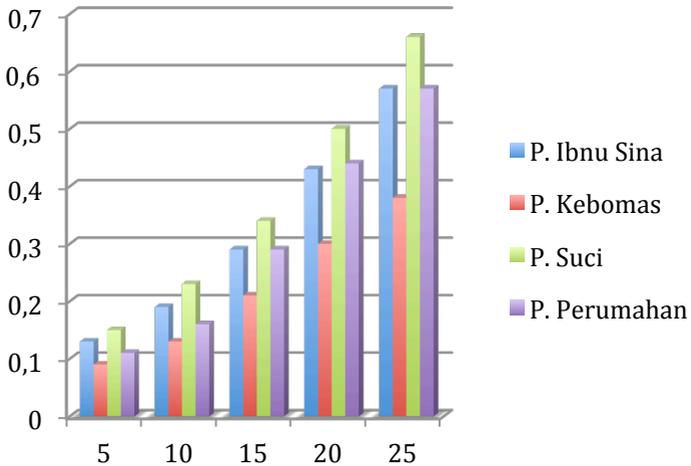
Pada daerah industri terdapat 4 sampel insulator yang dilakukan pengujian arus bocor dengan cara memberikan tegangan dengan variasi tingkat tegangan yang berbeda-beda yaitu sebesar 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, dan 25 kV. Keempat sampel insulator tersebut berasal dari penyulang ibnu sina, kebomas, suci, dan perumahan.

**Tabel 4.3 Hasil Pengujian Arus Bocor Berdasarkan Penyulang Daerah Perkotaan**

P. Ibnu Sina		P. Kebomas		P. Suci		P. Perumahan	
Tegangan (kV)	Arus Bocor (mA)						
5,03	0,13	5,03	0,09	5,03	0,15	5,08	0,11
10,07	0,19	10,04	0,13	10,16	0,23	10,02	0,16
15,00	0,29	15,08	0,21	15,02	0,34	15,11	0,29
20,05	0,43	20,09	0,30	20,17	0,50	20,12	0,44
25,10	0,57	25,19	0,38	25,17	0,66	25,16	0,57

Pada tabel 4.3 merupakan data hasil pengujian arus bocor insulator yang mewakili penyulang daerah perkotaan dengan diberikan level tegangan yang berbeda-beda. Setiap insulator yang diuji pada tiap level tegangannya akan ditunggu selama  $\pm 15$  detik yang bertujuan agar nilai yang didapatkan merupakan nilai arus bocor murni ( $I_p$ ) yang tidak mengandung arus kapasitansi ( $I_c$ ). Nilai

tegangan yang diaplikasikan idealnya adalah 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, dan 25 kV. Namun karena keterbatasan peralatan uji yang digunakan, tegangan yang diaplikasikan berada pada nilai tegangan yang diinginkan dengan tingkat error sekitar  $\pm 0,23$  kV.



**Gambar 4.5. Grafik Arus Bocor Insulator Daerah Perkotaan Berdasarkan Tingkat Tegangan**

Pada gambar 4.5 terdapat hubungan antara arus bocor dengan tegangan yang diaplikasikan. Semakin besar tegangan yang diberikan maka nilai arus bocor yang dihasilkan akan semakin besar pula. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin tinggi tegangan yang diberikan kepada insulator maka pelepasan muatan yang terjadi pada permukaan insulator akan semakin meningkat sehingga nilai arus bocor permukaan insulator semakin tinggi [16]. Pada tegangan 5 kV arus bocor insulator P. Ibnu Sina sebesar 0,13 mA. Setelah tegangan dinaikkan menjadi 10 kV, nilai arus bocor meningkat sebesar 46,15% menjadi sebesar 0,19 mA. Nilai arus bocor akan semakin meningkat apabila level tegangan terus dinaikkan. Apabila tegangan sebesar 5 kV ditingkatkan menjadi 25 kV maka terdapat peningkatan arus bocor dengan prosentase sebesar 338,46% menjadi sebesar 0,57 mA. Kenaikan arus bocor tersebut terjadi di seluruh sampel insulator

sehingga dapat disimpulkan semakin tinggi tegangan yang diberikan maka semakin besar juga nilai arus bocornya. Hal tersebut sesuai dengan rumus dasar listrik yaitu  $V = I \times R$ . Dimana  $V$  adalah tegangan,  $I$  adalah arus, dan  $R$  adalah tahanan. Apabila nilai  $V$  dinaikkan sedangkan nilai  $R$  tetap, maka nilai  $I$  akan semakin meningkat.

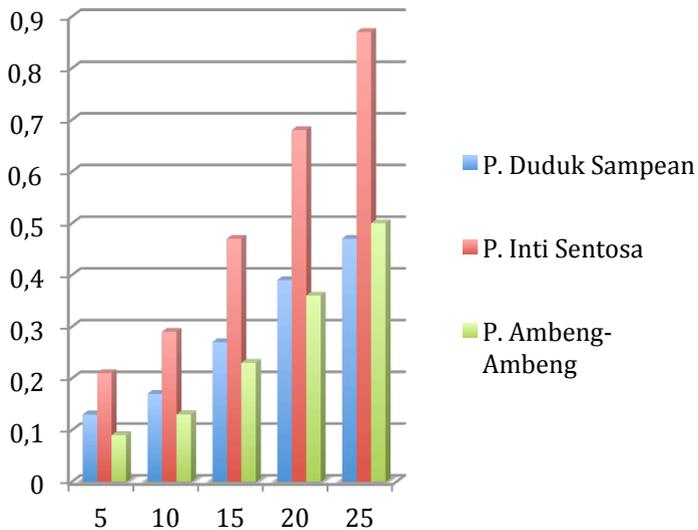
#### 4.2.4 Hasil dan Analisa Arus Bocor Daerah Pedesaan

Pada daerah pedesaan terdapat 3 sampel insulator yang dilakukan pengujian arus bocor dengan cara memberikan tegangan dengan variasi tingkat tegangan yang berbeda-beda yaitu sebesar 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, dan 25 kV. Ketiga sampel insulator tersebut berasal dari penyulang duduk sampean, inti sentosa, dan ambeng-ambeng.

**Tabel 4.4 Hasil Pengujian Arus Bocor Berdasarkan Penyulang Daerah Pedesaan**

P. Duduk Sampean		P. Inti Sentosa		P. Ambeng-Ambeng	
Tegangan (kV)	Arus Bocor (mA)	Tegangan (kV)	Arus Bocor (mA)	Tegangan (kV)	Arus Bocor (mA)
5,00	0,13	5,05	0,21	5,09	0,09
10,05	0,17	10,08	0,29	10,12	0,13
15,06	0,27	15,01	0,47	15,08	0,23
20,18	0,39	20,01	0,68	20,10	0,36
25,01	0,47	25,02	0,87	25,14	0,50

Pada tabel 4.4 merupakan data hasil pengujian arus bocor insulator yang mewakili penyulang daerah pedesaan dengan diberikan level tegangan yang berbeda-beda. Setiap insulator yang diuji pada tiap level tegangannya akan ditunggu selama  $\pm 15$  detik yang bertujuan agar nilai yang didapatkan merupakan nilai arus bocor murni ( $I_p$ ) yang tidak mengandung arus kapasitansi ( $I_c$ ). Nilai tegangan yang diaplikasikan idealnya adalah 5 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, dan 25 kV. Namun karena keterbatasan peralatan uji yang digunakan, tegangan yang diaplikasikan berada pada nilai tegangan yang diinginkan dengan tingkat *error* sekitar  $\pm 0,23$  kV.



**Gambar 4.6. Grafik Arus Bocor Insulator Daerah Pedesaan Berdasarkan Tingkat Tegangan**

Pada gambar 4.6 terdapat hubungan antara arus bocor dengan tegangan yang diaplikasikan. Semakin besar tegangan yang diberikan maka nilai arus bocor yang dihasilkan akan semakin besar pula. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin tinggi tegangan yang diberikan kepada insulator maka pelepasan muatan yang terjadi pada permukaan insulator akan semakin meningkat sehingga nilai arus bocor permukaan insulator semakin tinggi [16]. Pada tegangan 5 kV arus bocor insulator P. Duduk Sampean sebesar 0,13 mA. Setelah tegangan dinaikkan menjadi 10 kV, nilai arus bocor meningkat sebesar 30,77% menjadi sebesar 0,17 mA. Nilai arus bocor akan semakin meningkat apabila level tegangan terus dinaikkan. Apabila tegangan sebesar 5 kV ditingkatkan menjadi 25 kV maka terdapat peningkatan arus bocor dengan *prosentase* sebesar 261,54% menjadi sebesar 0,47 mA. Kenaikan arus bocor tersebut terjadi di seluruh sampel insulator sehingga dapat disimpulkan semakin tinggi tegangan yang diberikan maka semakin besar juga nilai arus

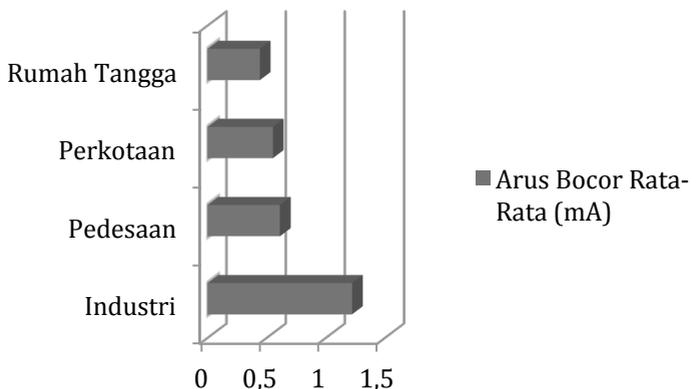
bocornya. Hal tersebut sesuai dengan rumus dasar listrik yaitu  $V = I \times R$ . Dimana  $V$  adalah tegangan,  $I$  adalah arus, dan  $R$  adalah tahanan. Apabila nilai  $V$  dinaikkan sedangkan nilai  $R$  tetap, maka nilai  $I$  akan semakin meningkat.

#### 4.2.5 Perbandingan Arus Bocor Seluruh Daerah

Setelah dilakukan analisa setiap daerah, maka dapat disimpulkan perbandingan arus bocor antar daerah. Berdasarkan nilai arus bocor yang dirata-rata maka daerah industri merupakan daerah dengan tingkat arus bocor paling tinggi sedangkan daerah rumah tangga merupakan daerah dengan tingkat arus bocor paling rendah. Berikut merupakan tabel pemeringkatan arus bocor dari tertinggi hingga terendah :

**Tabel 4.5 Pemeringkatan Daerah terhadap Arus Bocor Rata-Rata**

Peringkat	Daerah	Arus Bocor Rata-Rata (mA)
1	Rumah Tangga	0,44
2	Perkotaan	0,55
3	Pedesaan	0,61
4	Industri	1,22



**Gambar 4.7. Grafik Arus Bocor Rata-Rata Seluruh Daerah**

### 4.3 Pengujian Tegangan *Flashover*

Setelah selesai melakukan pengujian arus bocor, maka pengujian selanjutnya adalah pengujian tegangan lewat denyar (*flashover*). Pada pengujian tegangan *flashover* ini, rangkaian pembangkitan tegangan tinggi AC “Haefely” yang berada di Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro FTE ITS hanya dapat diaplikasikan sebesar 100 kV saja. Hal tersebut sesuai dengan rating dan kapasitas trafo uji untuk menghindari kerusakan pada peralatan. Berikut merupakan hasil pengujian tegangan *flashover* berdasarkan jenis daerahnya :

#### 4.3.1 Hasil dan Analisa Tegangan *Flashover* Daerah Industri

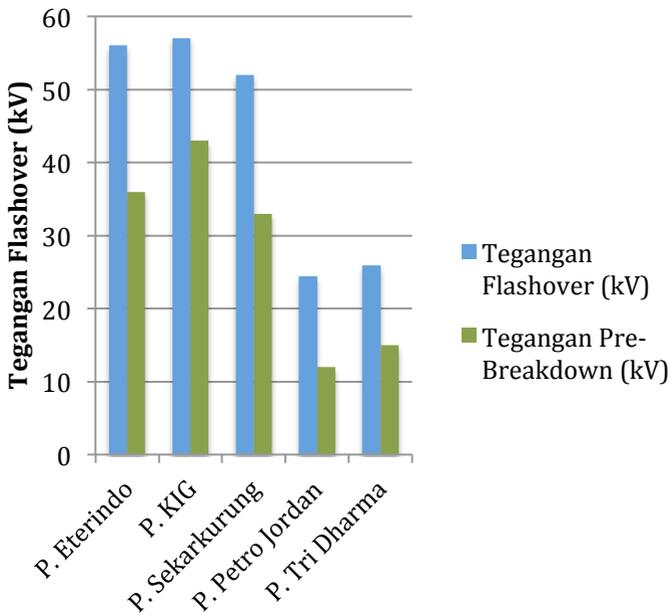
Pada daerah industri terdapat 5 sampel insulator yang dilakukan pengujian tegangan *flashover* dengan menggunakan metode *Short Time Test*. Prinsip kerja dari metode ini adalah, insulator diuji kekuatan dielektriknya hingga mencapai batas maksimal tembus listrik dengan cara menaikkan tegangan tinggi AC secara bertahap dan perlahan dari 0 kV. Tanda insulator mengalami tembus listrik adalah munculnya busur listrik yang umumnya disertai dengan suara letupan. Kelima sampel insulator tersebut berasal dari penyulang Eterindo, KIG, Sekarkurung, Petro Jordan, dan Tri Dharma.

**Tabel 4.6 Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* Penyulang Daerah Industri**

Penyulang	Tegangan <i>Pre-Breakdown</i> (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
P. Eterindo	36	56,04
P. KIG	43	57
P. Sekarkurung	33	52
P. Petro Jordan	12	24,42
P. Tri Dharma	15	25,91

Pada tabel 4.6 merupakan data hasil pengujian tegangan *flashover* insulator yang mewakili penyulang daerah industri dengan menaikkan tegangan hingga insulator mengalami tembus listrik. Pada insulator penyulang eterindo, *flashover* terjadi pada saat tegangan mencapai 56,04 kV. Lalu insulator penyulang KIG, terjadi *flashover* di tegangan sebesar 57 kV. Pada insulator penyulang

sekarkurung, terjadi *flashover* di tegangan sebesar 52 kV. Pada insulator penyulang Petro Jordan dan Tri Dharma *flashover* berturut-turut terjadi pada saat tegangan 24,42 kV dan 25,91 kV. Terjadi perbedaan nilai tegangan *flashover* yang cukup signifikan pada Penyulang Petro Jordan dan Tri Dharma. Perbedaan nilai tegangan *flashover* tersebut disebabkan karena kondisi fisik insulator pada penyulang tersebut yang telah mengalami *flashover* pada saat pengoperasian di jaringan distribusi. Sehingga menyebabkan penurunan kualitas dari insulator tersebut, dilihat dari karakteristik tegangan *flashover*nya. Maka apabila kondisi tersebut terjadi di lapangan pekerjaan maka pengawas pekerjaan harus sesegera mungkin untuk mengganti insulator dengan yang baru.



**Gambar 4.8. Grafik Tegangan *Flashover* Berdasarkan Penyulang yang Mewakili Daerah Industri**

Pada gambar 4.8 dapat dilihat tingkat tegangan *flashover* pada kelima penyulang tersebut. Terdapat dua sampel insulator yang telah mengalami *flashover* sebelum dilakukan pengujian yakni

penyulang petro jordan dan tri dharma. Sehingga dapat disimpulkan pada daerah industri, rata-rata tegangan *flashover* untuk sampel insulator non *flashover* sebesar 55,01 kV dan rata-rata tegangan *flashover* untuk sampel insulator *flashover* sebesar 25,17 kV.

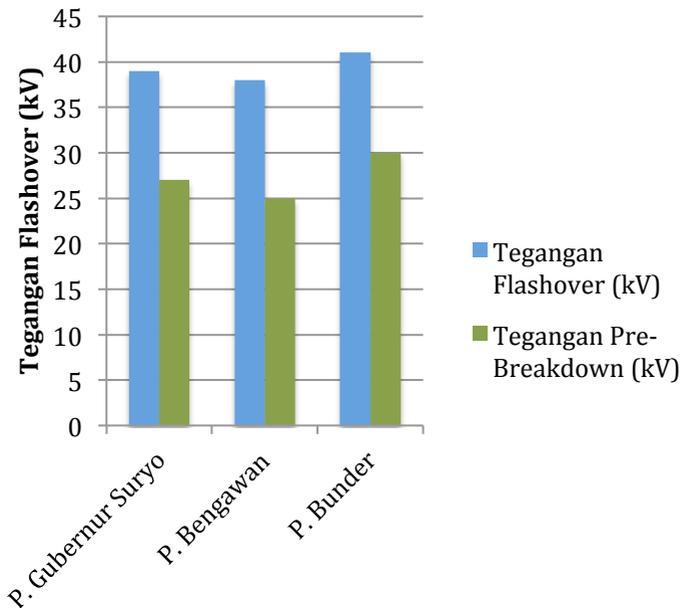
#### 4.3.2 Hasil dan Analisa Tegangan *Flashover* Daerah Rumah Tangga

Pada daerah industri terdapat 3 sampel insulator yang dilakukan pengujian tegangan *flashover* dengan menggunakan metode *Short Time Test*. Prinsip kerja dari metode ini adalah, insulator diuji kekuatan dielektriknya hingga mencapai batas maksimal tembus listrik dengan cara menaikkan tegangan tinggi AC secara bertahap dan perlahan dari 0 kV. Tanda insulator mengalami tembus listrik adalah munculnya busur listrik yang umumnya disertai dengan suara letupan. Ketiga sampel insulator tersebut berasal dari penyulang Gubernur Suryo, Bengawan, dan Bunder.

**Tabel 4.7 Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* Penyulang Daerah Rumah Tangga**

Penyulang	Tegangan <i>Pre-Breakdown</i> (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
<b>P. Gubernur Suryo</b>	27	39
<b>P. Bengawan</b>	25	38
<b>P. Bunder</b>	30	41,03

Pada tabel 4.7 merupakan data hasil pengujian tegangan *flashover* insulator yang mewakili penyulang daerah rumah tangga dengan menaikkan tegangan hingga insulator mengalami tembus listrik. Pada insulator penyulang gubernur suryo, *flashover* terjadi pada saat tegangan mencapai 39 kV. Lalu insulator penyulang bengawan, terjadi *flashover* di tegangan sebesar 38 kV. Pada insulator penyulang bunder, terjadi *flashover* di tegangan sebesar 41,03 kV.



**Gambar 4.9. Grafik Tegangan *Flashover* Berdasarkan Penyulang yang Mewakili Daerah Rumah Tangga**

Pada gambar 4.9 dapat dilihat tingkat tegangan *flashover* pada ketiga penyulang tersebut. Tidak ada sampel insulator yang telah mengalami *flashover* sebelum dilakukan pengujian sehingga seluruh sampel indulator daerah rumah tangga merupakan insulator yang baik. Sehingga dapat disimpulkan pada daerah rumah tangga, rata-rata tegangan *flashover* adalah sebesar 39,34 kV.

#### **4.3.3 Hasil dan Analisa Tegangan *Flashover* Daerah Perkotaan**

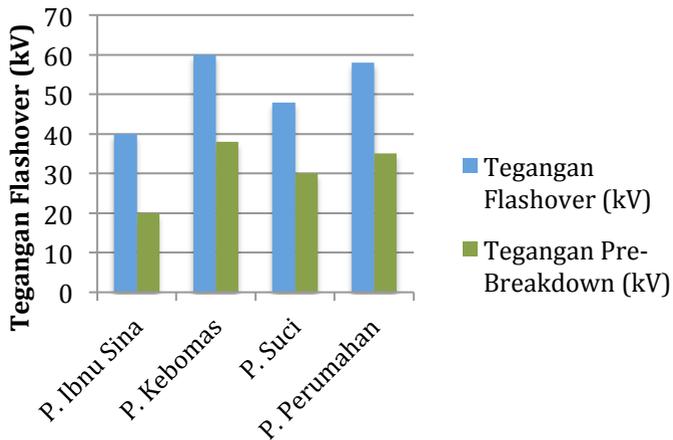
Pada daerah perkotaan terdapat 4 sampel insulator yang dilakukan pengujian tegangan *flashover* dengan menggunakan metode *Short Time Test*. Prinsip kerja dari metode ini adalah, insulator diuji kekuatan dielektriknya hingga mencapai batas maksimal tembus listrik dengan cara menaikkan tegangan tinggi AC secara bertahap dan perlahan dari 0 kV. Tanda insulator mengalami

tembus listrik adalah munculnya busur listrik yang umumnya disertai dengan suara letupan. Keempat sampel insulator tersebut berasal dari penyulang Ibnu Sina, Kebomas, Suci, dan Perumahan.

**Tabel 4.8 Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* Penyulang Daerah Perkotaan**

Penyulang	Tegangan <i>Pre-Breakdown</i> (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
P. Ibnu Sina	20	40
P. Kebomas	38	60
P. Suci	30	48
P. Perumahan	35	58

Pada tabel 4.7 merupakan data hasil pengujian tegangan *flashover* insulator yang mewakili penyulang daerah perkotaan dengan menaikkan tegangan hingga insulator mengalami tembus listrik. Pada insulator penyulang Ibnu Sina, *flashover* terjadi pada saat tegangan mencapai 40 kV. Lalu insulator penyulang Kebomas, terjadi *flashover* di tegangan sebesar 60 kV. Pada insulator penyulang Suci, terjadi *flashover* di tegangan sebesar 48 kV. Pada insulator penyulang Perumahan, terjadi *flashover* di tegangan sebesar 58 kV.



**Gambar 4.10. Grafik Tegangan *Flashover* Berdasarkan Penyulang yang Mewakili Daerah Perkotaan**

Pada gambar 4.10 dapat dilihat tingkat tegangan *flashover* pada keempat penyulang tersebut. Tidak ada sampel insulator yang telah mengalami *flashover* sebelum dilakukan pengujian sehingga seluruh sampel insulator daerah Perkotaan merupakan insulator yang baik. Sehingga dapat disimpulkan pada daerah perkotaan, rata-rata tegangan *flashover* adalah sebesar 51,5 kV.

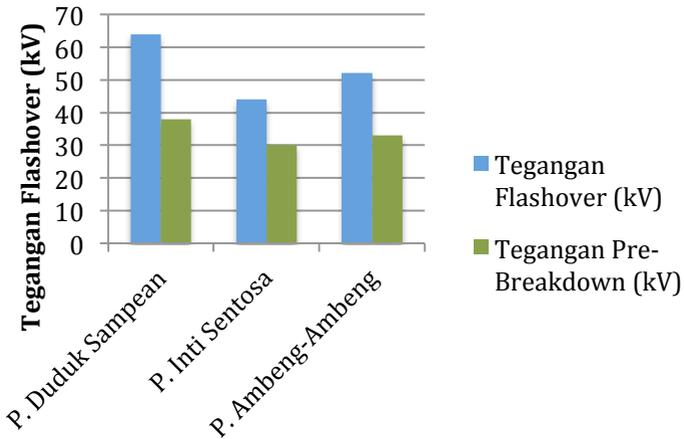
#### 4.3.4 Hasil dan Analisa Tegangan *Flashover* Daerah Pedesaan

Pada daerah industri terdapat 3 sampel insulator yang dilakukan pengujian tegangan *flashover* dengan menggunakan metode *Short Time Test*. Prinsip kerja dari metode ini adalah, insulator diuji kekuatan dielektriknya hingga mencapai batas maksimal tembus listrik dengan cara menaikkan tegangan tinggi AC secara bertahap dan perlahan dari 0 kV. Tanda insulator mengalami tembus listrik adalah munculnya busur listrik yang umumnya disertai dengan suara letupan. Ketiga sampel insulator tersebut berasal dari penyulang Duduk Sampean, Inti Sentosa, dan Ambeng-Ambeng.

**Tabel 4.9 Hasil Pengujian Tegangan *Flashover* Penyulang Daerah Pedesaan**

Penyulang	Tegangan <i>Pre-Breakdown</i> (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)
P. Duduk Sampean	38	64
P. Inti Sentosa	30	44
P. Ambeng-Ambeng	33	52,19

Pada tabel 4.9 merupakan data hasil pengujian tegangan *flashover* insulator yang mewakili penyulang daerah pedesaan dengan menaikkan tegangan hingga insulator mengalami tembus listrik. Pada insulator penyulang duduk sampean, *flashover* terjadi pada saat tegangan mencapai 64 kV. Lalu insulator penyulang inti sentosa, terjadi *flashover* di tegangan sebesar 44 kV. Pada insulator penyulang ambeng-ambeng, terjadi *flashover* di tegangan sebesar 52,19 kV.



**Gambar 4.11. Grafik Tegangan *Flashover* Berdasarkan Penyulang yang Mewakili Daerah Pedesaan**

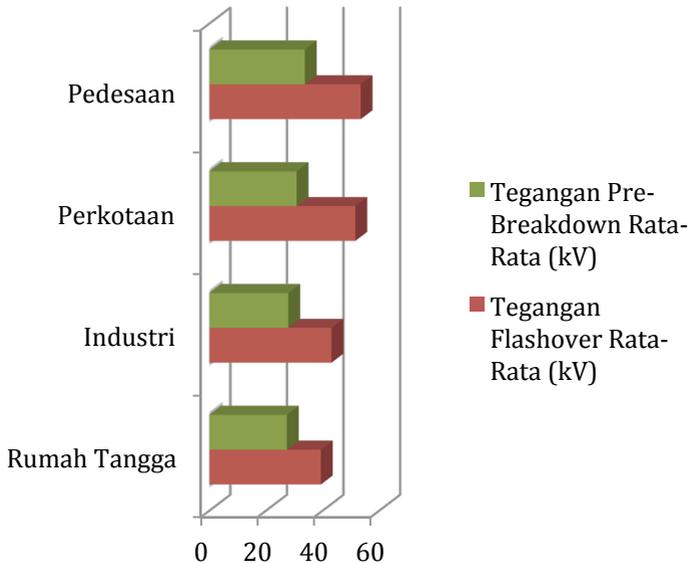
Pada gambar 4.11 dapat dilihat tingkat tegangan *flashover* pada ketiga penyulang tersebut. Tidak ada sampel insulator yang telah mengalami *flashover* sebelum dilakukan pengujian sehingga seluruh sampel insulator daerah pedesaan merupakan insulator yang baik. Sehingga dapat disimpulkan pada daerah pedesaan, rata-rata tegangan *flashover* adalah sebesar 53,4 kV.

#### **4.3.5 Perbandingan Tegangan *Flashover* Seluruh Daerah**

Setelah dilakukan analisa setiap daerah, maka dapat disimpulkan perbandingan tegangan *flashover* antar daerah. Berdasarkan nilai tegangan *flashover* yang dirata-rata maka daerah pedesaan merupakan daerah dengan tingkat tegangan *flashover* paling tinggi sedangkan daerah rumah tangga merupakan daerah dengan tingkat tegangan *flashover* paling rendah. Berikut merupakan tabel pemeringkatan tegangan *flashover* dari tertinggi hingga terendah :

**Tabel 4.10** Pemingkatan Daerah terhadap Tegangan *Pre-Breakdown* dan Tegangan *Flashover* Rata-Rata

Peringkat	Daerah	Tegangan <i>Pre-Breakdown</i> (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> Rata-Rata (kV)
1	Pedesaan	33,67	53,40
2	Perkotaan	30,75	51,50
3	Industri	27,80	43,07
4	Rumah Tangga	27,33	39,34



**Gambar 4.12.** Grafik Tegangan *Flashover* Rata-Rata dan Tegangan *Pre-Breakdown* Rata-Rata Seluruh Daerah

#### 4.4 Pengujian Tahanan Isolasi

Setelah melakukan pengujian arus bocor dan tegangan *flashover*, maka pengujian yang terakhir adalah pengujian tahanan isolasi. Pada pengujian tahanan isolasi ini menggunakan rangkaian pembangkitan tegangan tinggi DC atau nama lainnya *Megaohm meter* (Megger) “Hioki” yang berada di Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro FTE ITS. Tegangan yang diaplikasikan sebesar 5000 VDC dan ditunggu selama 1 menit. Hal tersebut telah sesuai dengan standar IEEE 43 tahun 2000 dimana untuk peralatan dengan tegangan operasi >12000 Volt maka diaplikasikan tegangan DC sebesar 5000 Volt. Berikut merupakan hasil pengujian tahanan isolasi berdasarkan jenis daerahnya :

##### 4.4.1 Hasil dan Analisa Tahanan Isolasi Daerah Industri

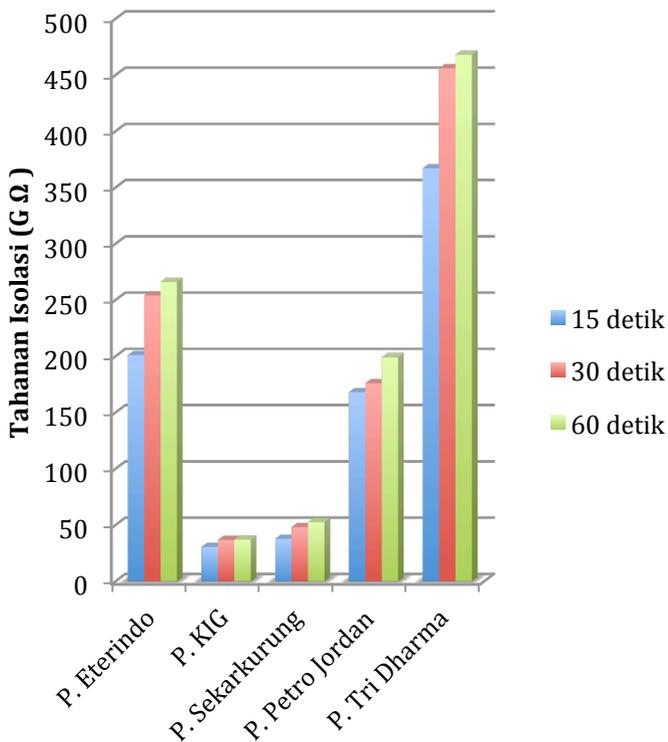
Pada daerah industri terdapat 5 sampel insulator yang dilakukan pengujian tahanan isolasi. Insulator diuji kekuatan isolasinya dengan menggunakan metode DAR (*Dielectric Absorption Ratio*). Pengujian DAR membutuhkan waktu 1 menit. Hal yang diperhatikan dalam pengujian tahanan isolasi ini ada dua yaitu nilai nominal tahanan isolasi insulator dan yang kedua adalah trend dari isolasi insulator selama pengujian. Trend isolasi adalah kurva isolasi selama melaksanakan pengujian. Kelima sampel insulator tersebut berasal dari penyulang Eterindo, KIG, Sekarkurung, Petro Jordan, dan Tri Dharma.

**Tabel 4.11 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Penyulang Daerah Industri**

Penyulang	Tahanan Isolasi (GΩ)		
	15 detik	30 detik	60 detik
<b>P. Eterindo</b>	201	254	266
<b>P. KIG</b>	30,5	36,7	36,9
<b>P. Sekarkurung</b>	37,7	48,1	52,5
<b>P. Petro Jordan</b>	168	176	199
<b>P. Tri Dharma</b>	367	456	468

Pada tabel 4.11 merupakan data hasil pengujian tahanan isolasi yang mewakili daerah industri dengan menggunakan metode DAR selama 1 menit disampling pada detik ke 15, 30, dan 60. Hasil pengujian tahanan isolasi bervariasi, banyak hal yang dapat

mempengaruhi besarnya tahanan isolasi suatu insulator diantaranya jenis polutan, berat polutan, pembebanan jaringan, lokasi, dan yang paling utama adalah bahan dielektrik dari suatu insulator dimana setiap merk dan tipe memiliki karakteristik isolasinya masing-masing. Tetapi walaupun nilai yang didapat bervariasi, seluruh sampel insulator tersebut sudah memenuhi standar tahanan isolasi insulator. Dimana standar tahanan isolasi insulator berdasarkan IEC 60076 menyatakan bahwa ketentuan tahanan isolasi adalah  $1 \text{ kV} = 1 \text{ M}\Omega$



**Gambar 4.13. Kurva Trend Isolasi Insulator Penyulang Daerah Industri**

Pada gambar 4.13 merupakan kurva trend tahanan isolasi insulator penyulang daerah industri dimana nilainya bervariasi. Nilai seluruh insulator pada penyulang di daerah industri sudah memenuhi standar IEC 60076. Satu hal yang penting lagi adalah trend dari tahanan isolasi insulator. Isolasi dapat dikatakan bagus apabila nilai isolasi selalu meningkat seiring berjalannya waktu. Artinya arus kapasitansi dari insulator masih baik. Efek kapasitansi ini merupakan efek kapasitif insulator akibat adanya beda potensial antara dua titik terpisah dengan nilai tegangan yang berbeda. Insulator yang memiliki nominal tinggi tetapi trend isolasinya turun kondisinya lebih buruk daripada insulator yang memiliki nominal rendah tetapi trend isolasinya selalu naik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tahanan isolasi pada insulator penyulang daerah industri masih dalam kategori baik karena trend isolasinya selalu naik.

#### 4.4.2 Hasil dan Analisa Tahanan Isolasi Daerah Rumah Tangga

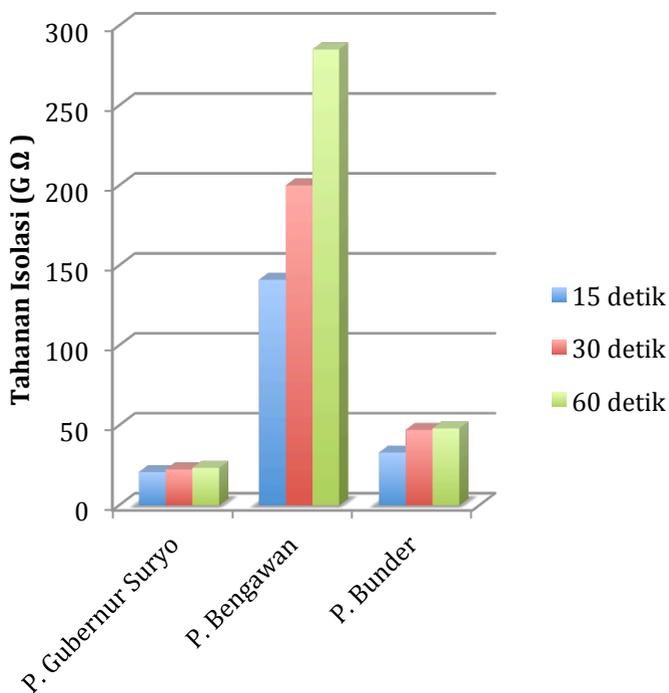
Pada daerah industri terdapat 3 sampel insulator yang dilakukan pengujian tahanan isolasi. Insulator diuji kekuatan isolasinya dengan menggunakan metode DAR (*Dielectric Absorption Ratio*). Pengujian DAR membutuhkan waktu 1 menit. Hal yang diperhatikan dalam pengujian tahanan isolasi ini ada dua yaitu nilai nominal tahanan isolasi insulator dan yang kedua adalah trend dari isolasi insulator selama pengujian. Trend isolasi adalah kurva isolasi selama melaksanakan pengujian. Kelima sampel insulator tersebut berasal dari penyulang Gubernur Suryo, Bengawan, dan Bunder.

**Tabel 4.12 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Penyulang Daerah Rumah Tangga**

Penyulang	Tahanan Isolasi (GΩ)		
	15 detik	30 detik	60 detik
<b>P. Gubernur Suryo</b>	20,8	22,4	23,4
<b>P. Bengawan</b>	141	200	285
<b>P. Bunder</b>	33	47,2	48,1

Pada tabel 4.12 merupakan data hasil pengujian tahanan isolasi yang mewakili daerah rumah tangga dengan menggunakan

metode DAR selama 1 menit disampling pada detik ke 15, 30, dan 60. Hasil pengujian tahanan isolasi bervariasi, banyak hal yang dapat mempengaruhi besarnya tahanan isolasi suatu insulator diantaranya jenis polutan, berat polutan, pembebanan jaringan, lokasi, dan yang paling utama adalah bahan dielektrik dari suatu insulator dimana setiap merk dan tipe memiliki karakteristik isolasinya masing-masing. Tetapi walaupun nilai yang didapat bervariasi, seluruh sampel insulator tersebut sudah memenuhi standar tahanan isolasi insulator. Dimana standar tahanan isolasi insulator berdasarkan IEC 60076 menyatakan bahwa ketentuan tahanan isolasi adalah  $1 \text{ kV} = 1 \text{ M}\Omega$



**Gambar 4.14. Kurva Trend Isolasi Insulator Penyulang Daerah Rumah Tangga**

Pada gambar 4.14 merupakan kurva trend tahanan isolasi insulator penyulang daerah rumah tangga dimana nilainya bervariasi. Nilai seluruh insulator pada penyulang di daerah rumah tangga sudah memenuhi standar IEC 60076. Satu hal yang penting lagi adalah trend dari tahanan isolasi insulator. Isolasi dapat dikatakan bagus apabila nilai isolasi selalu meningkat seiring berjalannya waktu. Artinya arus kapasitansi dari insulator masih baik. Efek kapasitansi ini merupakan efek kapasitif insulator akibat adanya beda potensial antara dua titik terpisah dengan nilai tegangan yang berbeda. Insulator yang memiliki nominal tinggi tetapi trend isolasinya turun kondisinya lebih buruk daripada insulator yang memiliki nominal rendah tetapi trend isolasinya selalu naik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tahanan isolasi pada insulator penyulang daerah rumah tangga masih dalam kategori baik karena trend isolasinya selalu naik.

#### 4.4.3 Hasil dan Analisa Tahanan Isolasi Daerah Perkotaan

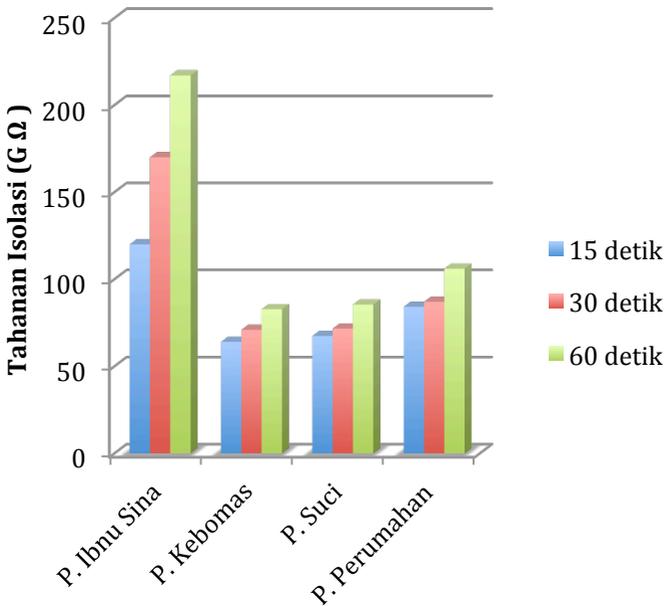
Pada daerah perkotaan terdapat 4 sampel insulator yang dilakukan pengujian tahanan isolasi. Insulator diuji kekuatan isolasinya dengan menggunakan metode DAR (*Dielectric Absorption Ratio*). Pengujian DAR membutuhkan waktu 1 menit. Hal yang diperhatikan dalam pengujian tahanan isolasi ini ada dua yaitu nilai nominal tahanan isolasi insulator dan yang kedua adalah trend dari isolasi insulator selama pengujian. Trend isolasi adalah kurva isolasi selama melaksanakan pengujian. Kelima sampel insulator tersebut berasal dari penyulang Ibnu Sina, Kebomas, Suci, dan Perumahan.

**Tabel 4.13 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Penyulang Daerah Perkotaan**

Penyulang	Tahanan Isolasi (GΩ)		
	15 detik	30 detik	60 detik
<b>P. Ibnu Sina</b>	120	170	217
<b>P. Kebomas</b>	64	70,9	82,7
<b>P. Suci</b>	67,4	71,6	85,4
<b>P. Perumahan</b>	84,1	87	106

Pada tabel 4.13 merupakan data hasil pengujian tahanan isolasi yang mewakili daerah perkotaan dengan menggunakan

metode DAR selama 1 menit disampling pada detik ke 15, 30, dan 60. Hasil pengujian tahanan isolasi bervariasi, banyak hal yang dapat mempengaruhi besarnya tahanan isolasi suatu insulator diantaranya jenis polutan, berat polutan, pembebanan jaringan, lokasi, dan yang paling utama adalah bahan dielektrik dari suatu insulator dimana setiap merk dan tipe memiliki karakteristik isolasinya masing-masing. Tetapi walaupun nilai yang didapat bervariasi, seluruh sampel insulator tersebut sudah memenuhi standar tahanan isolasi insulator. Dimana standar tahanan isolasi insulator berdasarkan IEC 60076 menyatakan bahwa ketentuan tahanan isolasi adalah  $1 \text{ kV} = 1 \text{ M}\Omega$



**Gambar 4.15 Kurva Trend Isolasi Insulator Penyulang Daerah Perkotaan**

Pada gambar 4.15 merupakan kurva trend tahanan isolasi insulator penyulang daerah perkotaan dimana nilainya bervariasi.

Nilai seluruh insulator pada penyulang di daerah perkotaan sudah memenuhi standar IEC 60076. Satu hal yang penting lagi adalah trend dari tahanan isolasi insulator. Isolasi dapat dikatakan bagus apabila nilai isolasi selalu meningkat seiring berjalannya waktu. Artinya arus kapasitansi dari insulator masih baik. Efek kapasitansi ini merupakan efek kapasitif insulator akibat adanya beda potensial antara dua titik terpisah dengan nilai tegangan yang berbeda. Insulator yang memiliki nominal tinggi tetapi trend isolasinya turun kondisinya lebih buruk daripada insulator yang memiliki nominal rendah tetapi trend isolasinya selalu naik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tahanan isolasi pada insulator penyulang daerah perkotaan masih dalam kategori baik karena trend isolasinya selalu naik.

#### 4.4.4 Hasil dan Analisa Tahanan Isolasi Daerah Pedesaan

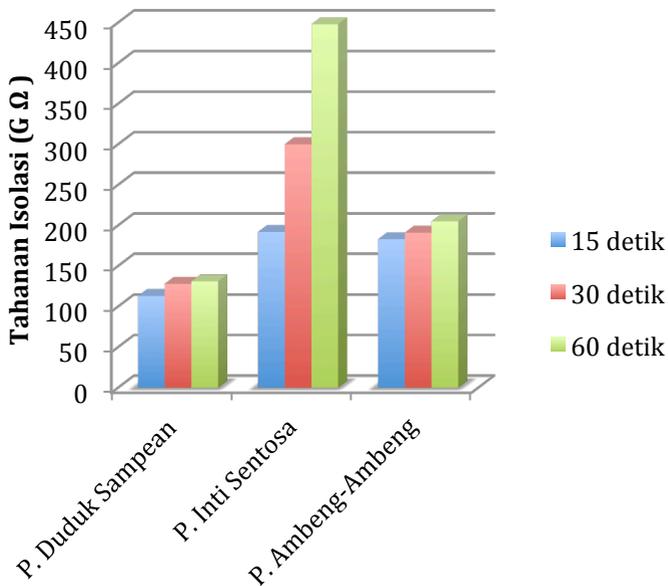
Pada daerah pedesaan terdapat 3 sampel insulator yang dilakukan pengujian tahanan isolasi. Insulator diuji kekuatan isolasinya dengan menggunakan metode DAR (*Dielectric Absorption Ratio*). Pengujian DAR membutuhkan waktu 1 menit. Hal yang diperhatikan dalam pengujian tahanan isolasi ini ada dua yaitu nilai nominal tahanan isolasi insulator dan yang kedua adalah trend dari isolasi insulator selama pengujian. Trend isolasi adalah kurva isolasi selama melaksanakan pengujian. Kelima sampel insulator tersebut berasal dari penyulang Duduk Sampean, Inti Sentosa, dan Ambeng-Ambeng.

**Tabel 4.14 Hasil Pengujian Tahanan Isolasi Penyulang Daerah Pedesaan**

Penyulang	Tahanan Isolasi (GΩ)		
	15 detik	30 detik	60 detik
<b>P. Duduk Sampean</b>	113	128	131
<b>P. Inti Sentosa</b>	192	300	448
<b>P. Ambeng-Ambeng</b>	183	191	205

Pada tabel 4.14 merupakan data hasil pengujian tahanan isolasi yang mewakili daerah pedesaan dengan menggunakan metode DAR selama 1 menit disampling pada detik ke 15, 30, dan 60. Hasil

pengujian tahanan isolasi bervariasi, banyak hal yang dapat mempengaruhi besarnya tahanan isolasi suatu insulator diantaranya jenis polutan, berat polutan, pembebanan jaringan, lokasi, dan yang paling utama adalah bahan dielektrik dari suatu insulator dimana setiap merk dan tipe memiliki karakteristik isolasinya masing-masing. Tetapi walaupun nilai yang didapat bervariasi, seluruh sampel insulator tersebut sudah memenuhi standar tahanan isolasi insulator. Dimana standar tahanan isolasi insulator berdasarkan IEC 60076 menyatakan bahwa ketentuan tahanan isolasi adalah  $1 \text{ kV} = 1 \text{ M}\Omega$



**Gambar 4.16. Kurva Trend Isolasi Insulator Penyulang Daerah Pedesaan**

Pada gambar 4.16 merupakan kurva trend tahanan isolasi insulator penyulang daerah pedesaan dimana nilainya bervariasi. Nilai seluruh insulator pada penyulang di daerah pedesaan sudah memenuhi standar IEC 60076. Satu hal yang penting lagi adalah

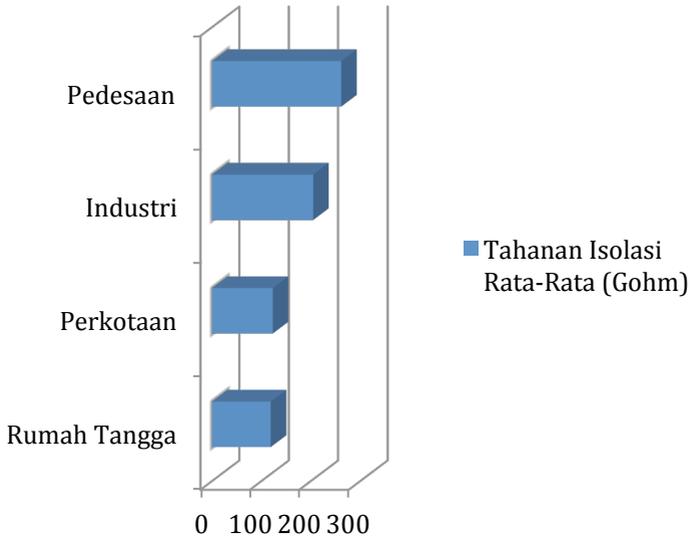
trend dari tahanan isolasi insulator. Isolasi dapat dikatakan bagus apabila nilai isolasi selalu meningkat seiring berjalannya waktu. Artinya arus kapasitansi dari insulator masih baik. Efek kapasitansi ini merupakan efek kapasitif insulator akibat adanya beda potensial antara dua titik terpisah dengan nilai tegangan yang berbeda. Insulator yang memiliki nominal tinggi tetapi trend isolasinya turun kondisinya lebih buruk daripada insulator yang memiliki nominal rendah tetapi trend isolasinya selalu naik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa tahanan isolasi pada insulator penyulang daerah pedesaan masih dalam kategori baik karena trend isolasinya selalu naik.

#### 4.4.5 Perbandingan Tahanan Isolasi Seluruh Daerah

Setelah dilakukan analisa setiap daerah, maka dapat disimpulkan perbandingan tahanan isolasi antar daerah. Berdasarkan nilai tahanan isolasi yang dirata-rata maka daerah pedesaan merupakan daerah dengan tingkat tahanan isolasi paling tinggi sedangkan daerah rumah tangga merupakan daerah dengan tingkat tahanan isolasi paling rendah. Berikut merupakan tabel pemeringkatan tegangan *flashover* dari tertinggi hingga terendah :

**Tabel 4.15 Pemeringkatan Daerah terhadap Tahanan Isolasi Rata-Rata**

Peringkat	Daerah	Tahanan Isolasi Rata-Rata ( $G\Omega$ )
1	Pedesaan	261,33
2	Industri	204,48
3	Perkotaan	122,78
4	Rumah Tangga	118,83



**Gambar 4.17. Grafik Tahanan Isolasi Rata-Rata Seluruh Daerah**

#### 4.5 Perhitungan Nilai NSDD

Perhitungan NSDD dilakukan dengan menggunakan kain katun putih polos yang digunakan sebagai media penyaring polutan insulator. Sebelum dilakukan penyaringan, kain katun ditimbang terlebih dahulu dengan menggunakan neraca digital. Setiap daerah diambil sampel satu insulator kemudian insulator tersebut dihitung nilai NSDD nya. Berikut perhitungan NSDD setiap daerah :

1. Daerah Industri : Penyulang Sekarkurung (Insulator Pinpost)

$$\begin{aligned}
 A &= 2197,8 && \text{cm}^2 \\
 m_1 &= 21,83 && \text{gram} \\
 m_2 &= 22,36 && \text{gram} \\
 \text{NSDD} &= \frac{(m_2 - m_1) \times 1000}{A} && \text{mg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$= \frac{(22,36-21,83) \times 1000}{2197,8} \quad \text{mg/cm}^2$$

$$= 0,2412 \quad \text{mg/cm}^2$$

2. Daerah Perkotaan : Penyulang Suci (Insulator Post)

$$A = 2468,5 \quad \text{cm}^2$$

$$m_1 = 21,29 \quad \text{gram}$$

$$m_2 = 21,49 \quad \text{gram}$$

$$\text{NSDD} = \frac{(m_2-m_1) \times 1000}{A} \quad \text{mg/cm}^2$$

$$= \frac{(21,49-21,29) \times 1000}{2468,5} \quad \text{mg/cm}^2$$

$$= 0,0810 \quad \text{mg/cm}^2$$

3. Daerah Pedesaan : Penyulang Duduk Sampean (Insulator Post)

$$A = 2468,5 \quad \text{cm}^2$$

$$m_1 = 21,57 \quad \text{gram}$$

$$m_2 = 21,73 \quad \text{gram}$$

$$\text{NSDD} = \frac{(m_2-m_1) \times 1000}{A} \quad \text{mg/cm}^2$$

$$= \frac{(21,73-21,57) \times 1000}{2197,8} \quad \text{mg/cm}^2$$

$$= 0,0648 \quad \text{mg/cm}^2$$

4. Daerah Rumah Tangga : Penyulang Bengawan

$$A = 2197,8 \quad \text{cm}^2$$

$$m_1 = 22,37 \quad \text{gram}$$

$$m_2 = 22,42 \quad \text{gram}$$

$$\text{NSDD} = \frac{(m_2-m_1) \times 1000}{A} \quad \text{mg/cm}^2$$

$$= \frac{(22,42-22,37) \times 1000}{2197,8} \quad \text{mg/cm}^2$$

$$= 0,0228 \quad \text{mg/cm}^2$$

Berdasarkan hasil NSDD yang diperoleh, kemudian setiap daerah dapat diklasifikasikan tingkat polutannya berdasarkan standar pada tabel 2.3. Maka hasil urutan berdasarkan NSDD terbesar ke terendah adalah :

1. Daerah Industri = Polutan Sedang (0,2412 mg/cm<sup>2</sup>)
2. Daerah Perkotaan = Polutan Ringan (0,0810 mg/cm<sup>2</sup>)
3. Daerah Pedesaan = Polutan Ringan (0,0648 mg/cm<sup>2</sup>)
4. Daerah Rumah Tangga = Polutan Ringan (0,0228 mg/cm<sup>2</sup>)

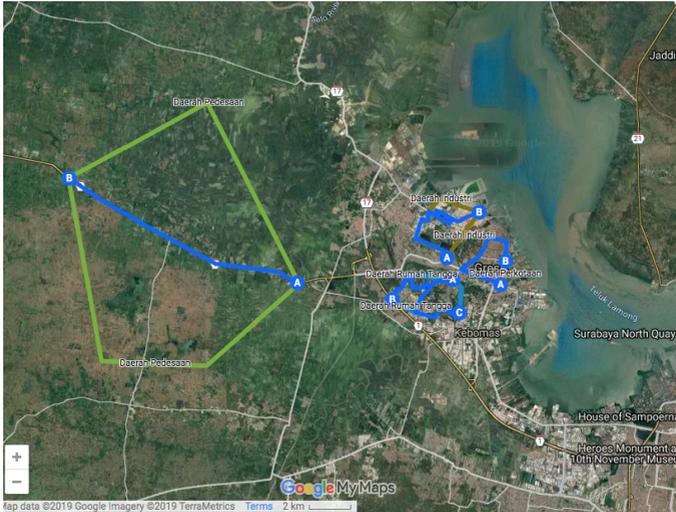
#### 4.5.1 Hasil dan Analisa Pengaruh NSDD terhadap Arus Bocor Setiap Daerah

**Tabel 4.16. Hasil Perhitungan NSDD terhadap Daerah dan Dikategorikan**

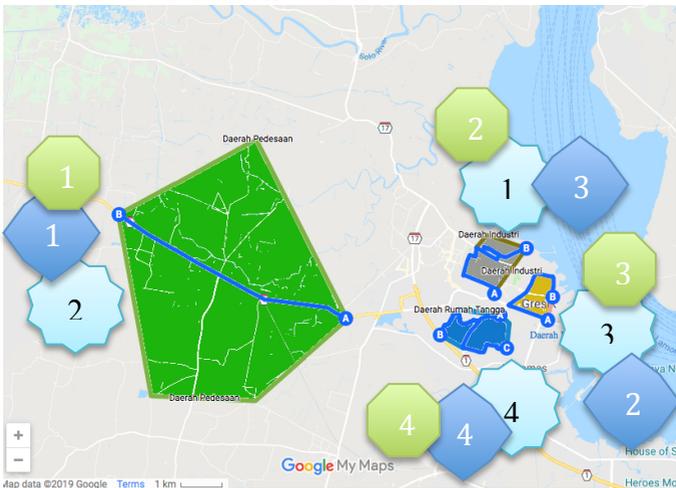
Daerah	Arus Bocor (mA)	NSDD (mg/cm <sup>2</sup> )	Kategori Polutan
Rumah Tangga	0,32	0,0228	Ringan
Pedesaan	0,47	0,0648	Ringan
Perkotaan	0,66	0,0810	Ringan
Industri	1,35	0,2412	Sedang

Setelah dilakukan perhitungan NSDD setiap daerah, maka dapat dikategorikan berdasarkan standarnya. Berdasarkan tabel 4.16, pada penyulang daerah industri dengan tingkat arus bocor sebesar 1,35 mA mendapatkan NSDD sebesar 0,2412 mg/cm<sup>2</sup>. Maka daerah industri dapat dikategorikan tingkat polutan sedang. Pada penyulang daerah perkotaan dengan tingkat arus bocor sebesar 0,66 mA mendapatkan NSDD sebesar 0,0810 mg/cm<sup>2</sup>. Maka daerah perkotaan dapat dikategorikan tingkat polutan ringan. Pada penyulang daerah pedesaan dengan tingkat arus bocor sebesar 0,47 mA mendapatkan NSDD sebesar 0,0648 mg/cm<sup>2</sup>. Maka daerah perkotaan dapat dikategorikan tingkat polutan ringan. Pada penyulang daerah rumah tangga dengan tingkat arus bocor sebesar 0,32 mA mendapatkan NSDD sebesar 0,0228 mg/cm<sup>2</sup>. Maka daerah rumah tangga dapat dikategorikan tingkat polutan ringan. Apabila dianalisa berdasarkan arus bocornya, maka setiap kenaikan arus bocor maka NSDD juga ikut meningkat. Hal tersebut menandakan bahwa polutan yang tidak larut dalam air pada insulator industri paling banyak sehingga arus bocor yang dihasilkan akan semakin besar karena konduktivitas pada insulator tersebut tinggi.

#### 4.6 Perbandingan Keseluruhan Skala



**Gambar 4.18. Pemetaan daerah di Gresik**



**Gambar 4.19. Pemetaan daerah Gresik serta pemeringkatan keseluruhan skala**

Keterangan :



= Arus Bocor



= Tegangan *Flashover*



= Tahanan Isolasi

Pada gambar 4.19 Dapat dilihat perbandingan keseluruhan skala, daerah industri menempati peringkat 1 pada pengujian arus bocor. Hal tersebut dikarenakan letak geografisnya yang dekat dengan pesisir sehingga sangat memungkinkan terkena angin laut. Selain itu polutan industri juga sangat mempengaruhi arus bocor. Untuk tegangan *flashover* menempati peringkat 3 dimana nilai rata-rata tegangan *flashover*nya termasuk kecil. Hal tersebut dikarenakan polutan yang menempel berasal dari industri itu sendiri dan angin laut. Tahanan isolasi daerah industri menempati peringkat 2 sebesar 204,48 G $\Omega$ . Artinya kekuatan dielektrik insulator daerah industri baik serta bahan porselennya kuat. Daerah perkotaan menempati peringkat 3 pada pengujian arus bocor dengan nilai sebesar 0.55 mA. Untuk tegangan *flashover* menempati peringkat 2 dimana nilai rata-rata tegangan *flashover*nya cukup besar yakni 51.5 kV. Tahanan isolasi daerah industri menempati peringkat 3 sebesar 122,78 G $\Omega$ . Daerah pedesaan menempati peringkat 2 pada pengujian arus bocor dengan nilai sebesar 0.61 mA. Untuk tegangan *flashover* menempati peringkat 1 dimana nilai rata-rata tegangan *flashover*nya besar, dengan nilai sebesar 53.4 kV. Hal tersebut dikarenakan polutan yang menempel hanya berasal dari debu bukan dari industri maupun angin laut. Tahanan isolasi daerah pedesaan menempati peringkat 1 sebesar 261,33 G $\Omega$ . Artinya kekuatan dielektrik insulator daerah pedesaan baik serta bahan porselennya kuat. Daerah rumah tangga menempati peringkat 4 pada pengujian arus bocor, tegangan *flashover* serta

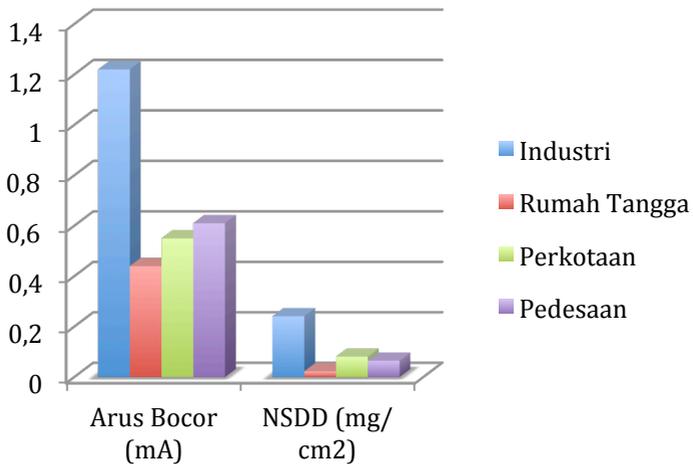
tahanan isolasi dengan nilainya berturut-turut adalah 0.44 mA, 39.34 kV, serta 118.83 GΩ.

**Tabel 4.17. Nilai rata-rata seluruh parameter di seluruh daerah Gresik**

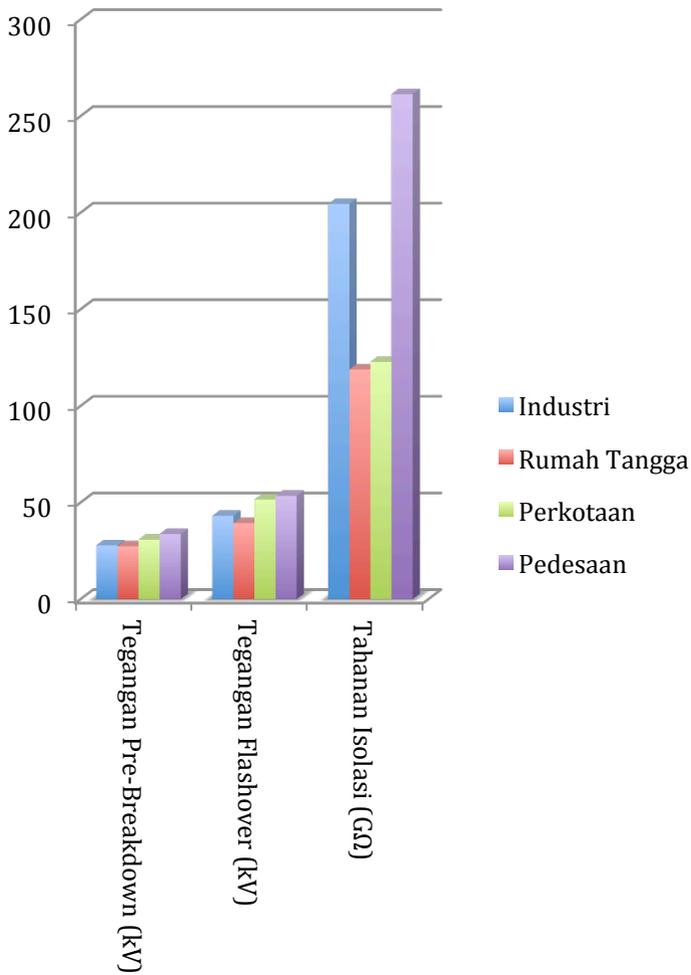
Daerah	Arus Bocor (mA)	NSDD (mg/cm <sup>2</sup> )	Tegangan <i>Pre-Breakdown</i> (kV)	Tegangan <i>Flashover</i> (kV)	Tahanan Isolasi (GΩ)
Industri	1,22	0,2412	27,80	43,07	204,48
Rumah Tangga	0,44	0,0228	27,33	39,34	118,83
Perkotaan	0,55	0,0810	30,75	51,50	122,78
Pedesaan	0,61	0,0648	33,67	53,40	261,33

= Tertinggi

= Terendah



**Gambar 4.20. Grafik Arus Bocor dan NSDD Rata-Rata Seluruh Daerah**



**Gambar 4.21. Grafik Tegangan Pre-Breakdown, Tegangan Flashover, dan Tahanan Isolasi Rata-Rata Seluruh Daerah**

Pada tabel 4.17, gambar 4.20, dan gambar 4.21 merupakan nilai rata-rata dari setiap sampel masing-masing daerah Gresik. Berdasarkan teori yang ada apabila semakin tinggi tingkat polutan (NSDD) maka nilai arus bocor akan semakin tinggi pula serta nilai tegangan *pre-breakdown*, tegangan *flashover*, dan tahanan isolasi seharusnya semakin menurun. Namun berdasarkan hasil pengujian rata-rata nilai tegangan *pre-breakdown*, tegangan *flashover*, dan tahanan isolasi daerah industri menempati peringkat ketiga dan bukan terendah karena terdapat faktor lain yang mempengaruhi ketiga parameter tersebut tidak hanya NSDD dan arus bocor. Faktor lain yang mempengaruhi seperti ketidaksempurnaan volume insulator, bahan porselen yang digunakan tiap produsen berbeda-beda dan lain-lain. Tetapi peringkat ketiga termasuk peringkat rendah. Penurunan ini disebabkan karena semakin meningkatnya lapisan konduktif pada permukaan insulator sehingga akan memperpendek jarak rambat permukaan insulator. Selain itu medan elektrik yang dihasilkan oleh kontaminan secara terus menerus seiring berjalannya waktu akan mengurangi kuat dielektrik insulator dan akhirnya menyebabkan gangguan pada sistem isolasi jaringan distribusi seperti *flashover* hingga pecah (gupil), rugi daya akibat besarnya arus bocor, serta gangguan lainnya.

*( Halaman ini sengaja dikosongkan )*

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian mengenai karakteristik insulator tegangan menengah terhadap kontaminan di PLN ULP Giri UP3 Gresik didapatkan beberapa kesimpulan, diantaranya sebagai berikut :

1. Semakin tinggi tegangan yang diberikan kepada insulator maka nilai arus bocor akan semakin meningkat. Contohnya pada penyulang Eterindo daerah Industri, rentang tegangan 5 kV ke 10 kV terdapat kenaikan arus bocor hingga 130%. Rentang tegangan 10 kV ke 15 kV terdapat kenaikan arus bocor hingga 230% dan akan naik seterusnya apabila diberikan tegangan lebih tinggi.
2. Arus bocor memiliki nilai tertinggi pada daerah industri dengan nilai rata-rata sebesar 1,22 mA. sedangkan untuk nilai terendah berada pada daerah rumah tangga dengan nilai rata-rata sebesar 0,44 mA. Artinya konduktivitas di daerah industri lebih besar daripada daerah lainnya.
3. Semakin tinggi nilai NSDD pada insulator maka nilai arus bocor akan semakin meningkat. Untuk NSDD tertinggi berada pada daerah industri dengan nilai sebesar 0,2412 mg/cm<sup>2</sup> sedangkan untuk NSDD terendah berada pada daerah rumah tangga dengan nilai sebesar 0,0228 mg/cm<sup>2</sup>. Artinya pada daerah industri memiliki tingkat konduktivitas yang lebih tinggi daripada daerah yang lainnya. Urutan nilai NSDD tertinggi ke terendah sama dengan urutan nilai arus bocornya.
4. Daerah industri memiliki nilai NSDD tertinggi sehingga termasuk kategori polutan sedang, sedangkan daerah lainnya termasuk kategori polutan rendah.
5. Tegangan *flashover* tertinggi berada pada insulator daerah pedesaan sebesar 53,40 kV sedangkan tegangan *flashover* terendah berada pada daerah rumah tangga sebesar 39,34 kV. Urutan tersebut berbeda dengan arus bocor, karena selain dipengaruhi oleh arus bocor tegangan *flashover* juga dipengaruhi oleh hal lain seperti kekuatan dielektrik insulator, bahan porselen yang digunakan tiap produsen berbeda

6. Tegangan *pre-breakdown* tertinggi berada pada insulator daerah pedesaan sebesar 33,67 kV sedangkan tegangan *pre-breakdown* terendah berada pada daerah rumah tangga sebesar 27,33 kV. Urutan tersebut sesuai dengan urutan tegangan *flashover* dimana nilai tegangan tersebut merupakan nilai awal insulator mengalami proses ionisasi berantai hingga akhirnya terjadi tembus listrik / *flashover*.
7. Tahanan Isolasi tertinggi berada pada insulator daerah pedesaan sedangkan tahanan isolasi terendah berada pada daerah rumah tangga. Nilai tahanan isolasi dipengaruhi oleh banyak hal selain polutan yang menempel juga dipengaruhi oleh ketidaksempurnaan volume dari insulator tersebut. Tetapi nilai tahanan isolasi seluruh sampel insulator jauh diatas standarnya.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian tugas akhir ini untuk penelitian insulator selanjutnya adalah karena keterbatasan peralatan pembangkitan tegangan tinggi di Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro FTE ITS pada pengujian tegangan *flashover* dapat menggunakan rangkaian pembangkitan tegangan tinggi digital (modern), supaya apabila terjadi tembus listrik maka relay akan otomatis memutus rangkaiannya serta menampilkan nilai tegangan *flashover* secara digital pada layar. Data tegangan *flashover* pada tugas akhir ini beberapa menggunakan peralatan pembangkitan tegangan tinggi konvensional yang tidak dilengkapi relay sehingga penentuan *flashover* berdasarkan subjektivitas visual dan pendengaran penguji. Selain itu metode pengukuran tingkat polutan bisa menggunakan metode ESDD dengan mengetahui jenis jenis polutan yang menempel dengan menggunakan alat *conductivitymeter*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ervan Dwi Setiaji, Yunigtyastuti, A. Syakur, "Pengujian Tegangan Flashover dan Arus Bocor Pada Insulator 20 KV Berbahan Resin Epoksi Silane Kondisi Basah dan Kering," Tugas Akhir, 2009.
- [2] M. A. M. Piah and A. Darus, "Modeling leakage current and electric field behavior of wet contaminated insulators," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 19, no. 1, pp. 432-433, Jan. 2004.
- [3] I Made Yulistya Negara, Daniar Fahmi, M. Syah Rheza, "Pengaruh Polutan Fly Ash Terhadap Tegangan Flashover Pada Insulator Berbahan Dasar Keramik," Tugas Akhir, 2018.
- [4] A. Cavallini and G. C. Montanari, "Investigations on leakage current and phase angle characteristics of porcelain and polymeric insulator under contaminated conditions," *IEEE Trans. Dielectric Electrical Insulation.*, vol. 16, no. 2, pp. 574-583, Apr. 2009.
- [5] X. Lin, Z. Chen, X. Liu, and K. Chu, "Natural Insulator Contamination Test Result on Various Shed Shapes in Heavy Industrial Contamination Areas," *IEEE Trans. Electrical Insulation.*, vol. 27, no. 3, pp. 593-600, Jun. 1992.
- [6] X. Wang, S. Kumagai, and N. Yoshimura, "Contamination Performances of Silicone Rubber Insulator Subjected to Acid Rain," *IEEE Trans. Dielectrics Electrical Insulation.*, vol. 5, no. 6, pp. 909-916, Dec. 1998.
- [7] K. L. Chrzan, W. L. Vosloo, and J. P. Holtzhausen, "Leakage current on porcelain and silicone insulators under sea or light industrial pollution," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 26, no. 3, pp. 2051-2052, Jul. 2011.
- [8] M. Irfangi, "Pengaruh Polutan Garam Terhadap Tegangan Flashover Berbahan Keramik dan Polimer Menggunakan Metode Slow Rate Of Rise Test," Universitas Negeri Jember, Jember, 2016.
- [9] B. L. Tobing, *Peralatan Tegangan Tinggi*. Erlangga, 2012.
- [10] L. Wang, B. Cao, Z. Guan, and K. Wang, "Influence of temperature difference on wetting characteristics of insulator," *IEEE Trans. Dielectrics Electrical Insulation.*, vol. 24, no. 6, pp. 3622-3629, Dec. 2017.

- [11] K. L. Chrzan, "Leakage current on naturally contaminated porcelain and silicone insulators," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 25, no. 2, pp. 904–910, Apr. 2010.
- [12] IEC 60815. *Guide for the selection and dimensioning of high-voltage insulators for polluted conditions*. April, 2001.
- [13] J. Li, C. Sun, W. Sima, Q. Yang, and J. Hu, "Contamination level prediction of insulator based on the characteristics of leakage current," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 25, no. 1, pp. 417–424, Jan. 2010.
- [14] Nasrat L.S., Hamed A.F., Hamid M.A., and Mansour S.H., "Study the flashover voltage for outdoor polymer insulators under desert climatic conditions," *Egyptian Journal of Petroleum.*, no. 22, pp 1-8, 2013.
- [15] S. Zhao, X. Jiang, Z. Zhang, J. Hu, and L. Shu, "Flashover voltage prediction of composite insulators based on the characteristics of leakage current," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 28, no. 3, pp. 1699–1708, Jul. 2013.
- [16] I Made Yulistya Negara, *Teknik Tegangan Tinggi Prinsip dan Aplikasi Praktis*. Graha Ilmu, 2013.
- [17] Haryanto, *Pemberlakuan Konstruksi Jaringan Distribusi PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Timur*. PT PLN (Persero), 2013.

## LAMPIRAN

Daerah Industri :



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Daerah Rumah Tangga :



**(f)**



**(g)**



**(h)**

Daerah Perkotaan :



**(i)**



**(j)**



**(k)**



(l)


Daerah Pedesaan :



(m)



(n)



(o)

Daftar Gambar :

- (a). Penyulang Eterindo
- (b). Penyulang KIG
- (c). Penyulang Sekarkurung
- (d). Penyulang Petro Jordan
- (e). Penyulang Tri Dharma
- (f). Penyulang Gubernur Suryo
- (g). Penyulang Bengawan
- (h). Penyulang Bunder
- (i). Penyulang Ibnu Sina
- (j). Penyulang Kebomas
- (k). Penyulang Suci
- (l). Penyulang Perumahan

- (m). Penyulang Duduk Sampean
- (n). Penyulang Inti Sentosa
- (o). Penyulang Ambeng-Ambeng

## RIWAYAT HIDUP



Hega Andhika Sadewo, lahir di Sidoarjo pada tanggal 16 November 1996. Anak pertama dari tiga bersaudara. Selama kuliah penulis pernah aktif dalam event seperti evolty, ini lho ITS!, dan yes summit. Selain itu, penulis juga pernah aktif pada kegiatan organisasi di Departemen Teknik Elektro yaitu sebagai kepala bidang kemandirian Kalpataru di HIMATEKTRO. Saat ini penulis aktif sebagai mahasiswa di Departemen Teknik

Elektro Fakultas Teknologi Elektro ITS. Pendidikan formal yang telah ditempuh yaitu:

1. SD Negeri Sidokare 2 Sidoarjo
2. SMP Negeri 3 Sidoarjo
3. SMA Negeri 3 Sidoarjo

Penulis dapat dihubungi pada email :  
hegaandhikasadewo@gmail.com