



**PENGARUH POLUTAN ASAP KENDARAAN TERHADAP  
TEGANGAN *FLASHOVER* PADA ISOLATOR JENIS EPOKSI  
RESIN METODE *SLOW RATE OF RISE TEST***

**SKRIPSI**

oleh

**Muhammad Zaki Al Katsiri  
NIM 121910201084**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**



**PENGARUH POLUTAN ASAP KENDARAAN TERHADAP TEGANGAN  
FLASHOVER PADA ISOLATOR JENIS EPOKSI RESIN METODE *SLOW  
RATE OF RISE TEST***

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi skripsi dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi S1 Teknik Elektro dan mencapai gelar Sarjana Teknik

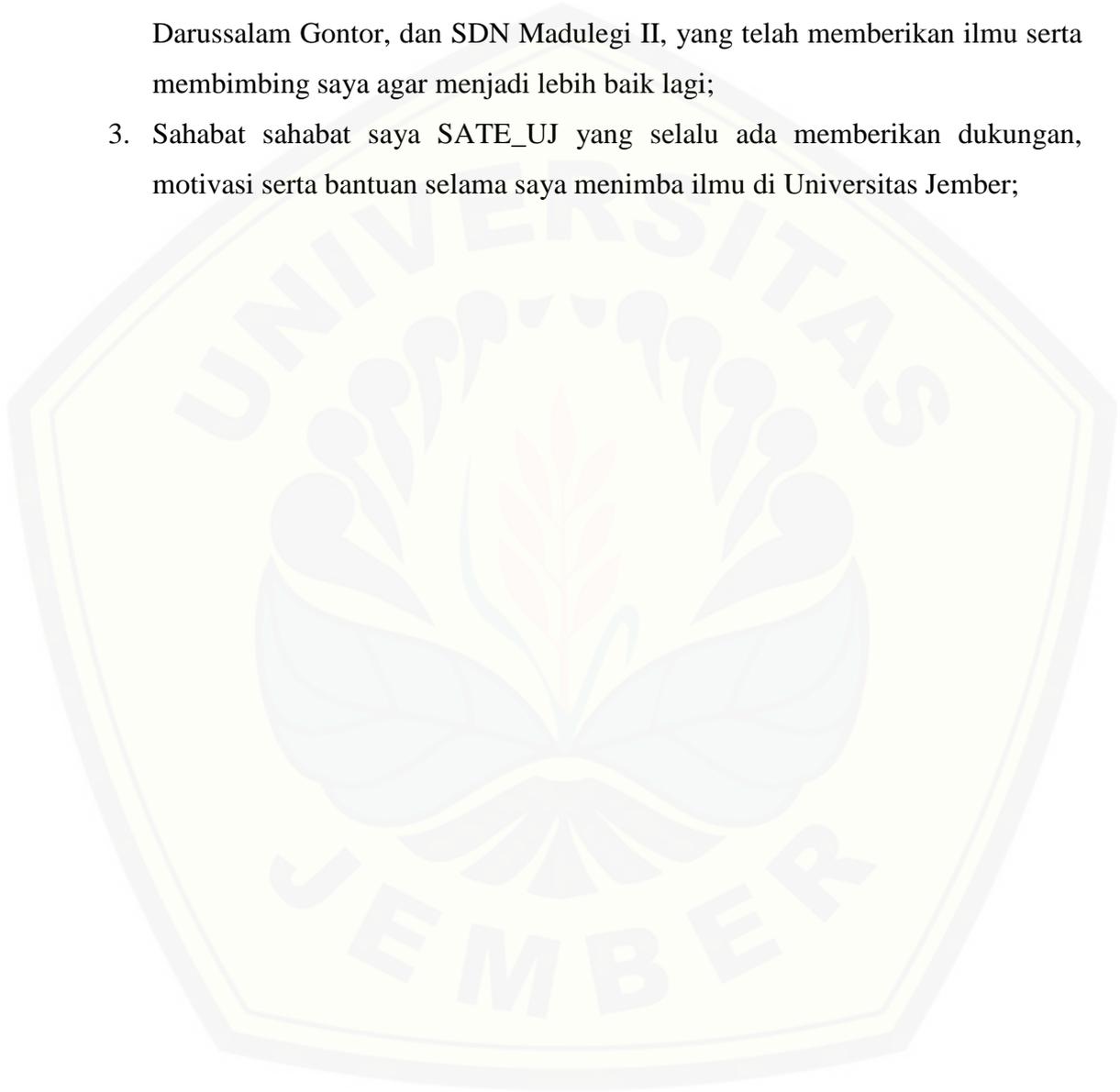
Oleh  
**Muhammad Zaki Al Katsiri**  
NIM 121910201084

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2019**

**PERSEMBAHAN**

Dengan ridho dari Allah skripsi ini saya persembahkan kepada :

1. Ibu dan ayah saya Harmaji dan Zuhriyah yang memberikan segalanya;
2. Semua dosen dan guru saya di Universitas Jember, Pondok Modern Darussalam Gontor, dan SDN Madulegi II, yang telah memberikan ilmu serta membimbing saya agar menjadi lebih baik lagi;
3. Sahabat sahabat saya SATE\_UJ yang selalu ada memberikan dukungan, motivasi serta bantuan selama saya menimba ilmu di Universitas Jember;



**MOTTO**

*Not everything that counts can be counted  
And not everything that's counted truly counts.*

*(Albert Einstein)*

*Dan jika kamu menghitung-hitung nikmat Allah, niscaya kamu tak dapat menentukan jumlahnya. Sesungguhnya Allah benar-benar Maha Pengampun lagi Maha Penyayang. [QS. AN NAHL 16:18]*

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Zaki Al katsiri

NIM : 121910201084

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul **“PENGARUH POLUTAN ASAP KENDARAAN TERHADAP TEGANGAN *FLASHOVER* PADA ISOLATOR JENIS EPOKSI RESIN METODE *SLOW RATE OF RISE TEST*”** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

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

Jember, 31 Mei 2019

Yang menyatakan,

**Muhammad Zaki Al Katsiri**

**NIM. 121910201084**

**SKRIPSI**

**PENGARUH POLUTAN ASAP KENDARAAN TERHADAP TEGANGAN  
*FLASHOVER* PADA ISOLATOR JENIS EPOKSI RESIN METODE *SLOW  
RATE OF RISE TEST***

Oleh

Muhammad Zaki Al Katsiri  
NIM 121910201084

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M

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

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pengaruh Polutan Asap Kendaraan Terhadap Tegangan *Flashover* Pada Isolator Jenis Epoksi Resin Metode *Slow Rate Of Rise Test*” telah diuji disahkan pada :

Hari, tanggal : Jum’at, 31 Mei 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

**Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M.**  
NIP. 196312011994021002

**Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T.**  
NIP. 197104022003121001

Penguji 1,

Penguji 2,

**Samsul Bachri M., ST., M.MT .**  
NIP 196403171998021001

**Andi Setiawan, S.T., M.T.**  
NIP 196910101997021001

Mengesahkan  
Dekan,

**Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.**  
NIP. 196005061987021001

Pengaruh Polutan Asap Kendaraan Terhadap Tegangan *Flashover* Pada Isolator  
Jenis Epoksi Resin Metode *Slow Rate Rise Test*

**Muhammad Zaki Al Katsiri**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

**ABSTRAK**

Tegangan *flashover* merupakan kegagalan isolasi yang disebabkan karena pembebanan medan listrik pada permukaan isolator melebihi kapasitas ketahanan elektriknya. Adapun salah satu penyebab terjadinya *flashover* ini adalah pengotoran permukaan isolator yang pada umumnya disebabkan oleh adanya bahan polutan yang menempel pada permukaan isolator, salah satunya adalah polutan debu dan asap. Karena sifat suatu isolator ditentukan oleh bahan yang digunakan. Seperti isolator polimer yang memiliki kekurangan mudah terdegradasi akibat faktor lingkungan seperti radiasi sinar ultra violet, kelembaban udara serta polusi udara. Oleh karena itu penelitian ini di tujukan untuk menganalisa pengaruh polutan asap kendaraan terhadap tegangan *flashover* pada isolator berbahan polimer. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa nilai tegangan *flashover* akan turun sesuai intensitas waktu penyemprotan asap kendaraan. Semakin lama intensitas waktu penyemprotan maka semakin kecil nilai tegangan *flashover*.

Kata kunci : *flashover*, asap kendaraan, metode *slow rate rise test*

*The Effect of Vehicle Smoke Pollutants on Flashover Voltage on Epoxy Resin  
Type Insulators Slow Rate Rise Test Method*

**Muhammad Zaki Al Katsiri**

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

**ABSTRACT**

*Flashover voltage is an isolation failure caused by the loading of the electric field on the surface of the insulator exceeds its electrical resistance capacity. As for one of the causes of this flashover is the contamination of the surface of the insulator which is generally caused by the presence of pollutants attached to the surface of the insulator, one of which is dust and smoke pollutants. Because the nature of an insulator is determined by the material used. Like polymer insulators that have deficiencies easily degraded due to environmental factors such as ultra violet radiation, air humidity and air pollution. Therefore this study was aimed at analyzing the effect of vehicle smoke pollutants on flashover stresses on polymer insulators. From the test results it was found that the value of the flashover voltage will decrease according to the intensity when spraying vehicle fumes. The longer the intensity of spraying time, the smaller the value of the flashover voltage.*

*Keyword : flashover, vehicle fumes, slow rate increase test methods*

## RINGKASAN

### **Pengaruh Polutan Asap Kendaraan Terhadap Tegangan *Flashover* Pada Isolator Jenis Epoksi Resin Metode *Slow Rate Rise Test*;**

Muhammad Zaki Al Katsiri, 121910201084; 2019: .. halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyaluran tenaga listrik memerlukan peralatan yang handal yang dapat menunjang kelancaran penyaluran, salah satu peralatan listrik yang sangat penting adalah isolator yang berfungsi sebagai penyangga kawat saluran udara dan sebagai penyekat (isolasi) antara kawat tegangan. Terdapat dua jenis material isolator yang telah digunakan di Indonesia, yaitu keramik dan gelas, ada pula jenis material lain yang dapat digunakan sebagai isolator yaitu polimer. Ketiga bahan tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Diantara kekurangannya adalah terjadi arus bocor pada permukaan yang akhirnya dapat menyebabkan lewat denyar (*flashover*). Pengujian dalam penelitian ini menggunakan polutan berupa asap buang kendaraan. Adapun pengujianya menggunakan metode *SlowRate of Rise Test*.

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh bahan polutan asap kendaraan terhadap tegangan *flashover* pada isolator berbahan polimer dengan metode *Slow Rate of Rise Test*, serta untuk mengetahui hasil perbandingan antara isolator berbahan polimer pada kondisi kering basah, serta dalam kondisi tanpa polutan serta isolator yang berpolutan dalam jangka waktu yang berbeda-beda.

Isolator diuji menggunakan metode yang sesuai dengan standar *American Standard Test Method*, ASTM-D149, yakni metode *Slow Rate of Rise Test*, yang mana metode ini dijalankan dengan menaikkan tegangan specimen secara bertahap dengan laju tegangan konstan, mulai dari tegangan uji start  $V_s$  hingga specimen mengalami tegangan tembus listrik. Hal ini diatandai dengan terjadinya suara letupan dan percikan api di permukaan isolator seiring dengan terjadinya *flashover* pada isolator. Terjadinya tembus listrik ini harus pada waktu lebih dari 120 detik sejak tegangan pengujian dikenakan pada spesimensya. Apabila dalam pengujian sekelompok spesimen, lebih dari satu specimen yang mengalami tembus listrik pada waktu kurang dari 120 detik, perlu dilakukan tindakan sebagai

berikut : tegangan uji start  $V_s$  dikurangi atau laju tegangan ( $\Delta V/\Delta t$ ) diturunkan, atau mengurangi tegangan *start* dan laju tegangan secara bersamaan. Jika lebih dari satu spesimen mengalami tembus listrik pada tegangan yang kurang dari  $1,5V_s$  maka nilai tegangan *start*  $V_s$  dikurangi. Jika tembus listrik terjadi pada tegangan  $2,5V_s$  dan waktu terjadinya tembus listrik lebih dari 120 detik, nilai  $V_s$  dinaikkan. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengulangan sebanyak tiga kali, kemudian diambil rata ratanya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tegangan *flashover* cenderung menurun dari variasi intensitas waktu yang ditentukan, semakin lama intensitas waktu penyemprotan maka semakin kecil juga nilai tegangan *flashover*nya, hal ini dikarenakan ketika isolator terdapat polutan maka terbentuk jalur konduktif yang mengakibatkan daya dielektrik isolator mengalami penurunan, semakin tebalnya polutan yang menempel pada permukaan isolator maka tegangan tembus pada isolator tersebut akan semakin kecil. Serta perbandingan antara kondisi basah dan kering dari hasil yang ditunjukkan ketika pada penyemprotan 6 jam dalam kondisi kering nilai tegangan *flashover* sebesar 40 kV dan pada penyemprotan 6 jam dalam kondisi basah nilai tegangan *flashover* sebesar 30 kV, hal ini dikarenakan isolator yang bercampur dengan polutan yang basah akan mempercepat jarak rayap yang dapat mempercepat terjadinya tegangan tembus atau *flashover*.

## PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Polutan Asap Kendaraan Terhadap Tegangan *Flashover* Pada Isolator Jenis Epoksi Resin Metode *Slow Rate Rise Test*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Allah SWT, karena dengan hidayah dan karunianya skripsi ini terselesaikan;
2. Prof. Dr. Ir. Bambang Sujanarko, M.M. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Bambang Sri Kaloko, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
3. Samsul Bachri M., ST., M.MT. selaku Dosen Penguji I dan Andi Setiawan, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun demi penyempurnaan skripsi ini;
4. Sumardi S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing selama penulis menjadi mahasiswa;
5. H.R.B. Moch.Ghozali, S.T., M.T. selaku Kaprodi S1 selanjutnya yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif;
6. Widya Cahyadi, S.T., M.T. selaku Komisi Bimbingan S1 yang telah membantu penulisan skripsi secara administratif;
7. Ibu Tri Wahanani Widyarini dan Bapak Sutrisno yang telah memberikan dukungan moril dan materiil serta kasih sayang yang tak terhingga;

8. Teman-teman Elektro'12 (SATE UJ) yang telah memberikan semangat dan dorongan untuk terselesainya skripsi ini;
9. Keluarga besar Himpunan Mahasiswa Elektro (HME), terima kasih telah memberikan aspirasi dan pembelajaran;

Penulis juga menerima semua kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Mei 2019

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>JUDUL</b> .....	i
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>MOTTO</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN</b> .....	v
<b>PEMBIMBING</b> .....	vi
<b>PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	x
<b>PRAKATA</b> .....	xii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR TABEL DAN GAMBAR</b> .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah .....	3
1.3 Tujuan penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1 Isolasi .....	4
2.2 Isolator Saluran Udara .....	4
2.2.1 Bahan-bahan Isolasi .....	4
2.2.2 Bahan Porselin (keramik).....	4
2.2.3 Bahan Polimer Resin Epoksi.....	5
2.2.4 Klasifikasi Isolator Saluran Udara .....	5
2.3 Karakteristik Isolator .....	6
2.3.1 Karakteristik Elektrik.....	6
2.3.2 Karakteristik Mekanis .....	7
2.4 Kegagalan Isolator .....	7
2.5 <i>Flashover</i> pada Isolator.....	8

2.6 Isolator Berpolutan.....	13
2.6.1 Sifat Polutan.....	13
2.6.2 Pembentukan Polutan pada Isolator .....	14
2.7 Polutan Asap Kendaraan.....	15
2.7.1 Kandungan Polusi Asap Kendaraan Bermotor .....	15
2.8 <i>American Standard Test Method</i> ( ASTM ).....	18
2.8.1 Metode <i>Short Time</i> .....	18
2.8.2 Metode <i>Step by Step Test</i> .....	19
2.8.3 Metode <i>Slow Rate of Rise Test</i> .....	20
<b>BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	22
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
3.1.1 Tempat Penelitian .....	22
3.1.2 Waktu Penelitian.....	22
3.2 Alat dan Bahan.....	23
3.3 Diagram Alur Penelitian .....	24
3.4 Flowchart .....	25
3.4.1 Studi Pustaka.....	26
3.4.2 Pembuatan Polutan.....	26
3.4.3 Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> .....	26
3.4.4 Pengambilan Data .....	28
3.4.4 Analisis Data.....	30
<b>BAB 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b> .....	31
4.1 Penggunaan Metode <i>Slow Rise Test</i> pada Pengujian Isolator Berbahan Polimer . .....	31
4.2 Pengujian Tegangan Tembus Pada Kondisi Kering.....	32
4.3 Pengujian Tegangan Tembus Pada Kondisi Basah.....	35
4.4 Perbandingan Tegangan Tembus Saat Kondisi Kering Dan Basah.....	36
<b>BAB 5. PENUTUP</b> .....	39
5.1 Kesimpulan .....	39
5.2 Saran .....	39

**DAFTAR TABEL DAN GAMBAR**

**GAMBAR**

Gambar 2. 1 Kegagalan Isolator .....	10
Gambar 2. 2 Mekanisme Lewat Denyar ( <i>flashover</i> ).....	11
Gambar 2. 3 Mekanisme Terbentuknya Pita Kering.....	13
Gambar 2. 4 Profil Pengujian Dengan Kenaikan Tegangan Perlahan .....	21
Gambar 3. 1 Bagan Alur Penelitian .....	24
Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian.....	25
Gambar 3. 3 Rangkaian Pengujian Tegangan <i>Flashover</i> .....	27
Gambar 3. 4 Gelas Ukur dan Multimeter untuk Pengukuran Resistansi Polutan .....	27
Gambar 4. 1 Grafik Perbandingan Pengujian .....	38

**TABEL**

Tabel 2. 1 Klasifikasi polutan .....	11
Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan penelitian .....	22
Tabel 4. 1 Pengujian Isolator Kondisi Kering.....	33
Tabel 4. 2 Pengujian Isolator Kondisi Basah.....	35
Tabel 4. 3 Perbandingan Pengujian.....	37

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia sangatlah cepat. Hal ini dibuktikan dengan meningkatnya kemacetan di setiap daerah. Salah satu dampak yang terlihat dari pertumbuhan kendaraan tersebut adalah pencemaran udara yang disebabkan oleh asap kendaraan tersebut. Di DKI Jakarta, kontribusi pencemaran bahan kendaraan bermotor ke udara sekitar 70%. Belum lagi di kota besar lainnya, yang kita ketahui juga banyak kendaraan bermotor.

Isolator jaringan tenaga listrik merupakan alat tempat menumpang kawat penghantar jaringan pada tiang tiang listrik yang digunakan untuk memisahkan secara elektrik dua buah kawat atau lebih agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage current*) atau loncatan bunga api (*flash over*) sehingga mengakibatkan terjadinya kerusakan pada sistem jaringan tenaga listrik. Oleh karena itu perlu adanya langkah langkah yang perlu diambil untuk menghindarkan terjadinya kerusakan terhadap peralatan listrik akibat tegangan lebih dan loncatan bunga api, ialah dengan menentukan pemakaian isolator berdasarkan kekuatan daya isolasi *dielectric strenght* dan kekuatan mekanis (*mechanics strenght*) bahan bahan isolator yang di pakai. Karena sifat suatu isolator ditentukan oleh bahan yang digunakan. Adapun bahan isolator yang sering di gunakan di Indonesia adalah isolator berbahan polimer keramik dan gelas. Pada isolator keramik dan gelas memiliki kekurangan permukaannya mudah menyerap air, sehingga lebih mudah terjadi arus bocor pada permukaan, yang akhirnya dapat menyebabkan terjadinya tegangan *flashover*. Sedangkan pada isolator polimer memiliki kekurangan mudah terdegradasi akibat faktor lingkungan seperti radiasi sinar ultra violet, kelembaban udara, polusi udara (Yosafat, 2014).

Tegangan *flashover* merupakan kegagalan isolasi yang disebabkan karena pembebanan medan listrik pada permukaan isolator melebihi kapasitas ketahanan elektriknya. *Flashover* ini dapat menimbulkan pemanasan dan dapat merusak isolator. Penyebab terjadinya *flashover* di antaranya yaitu karena pengotoran permukaan isolator, surja hubung, dan surja petir (Wardhani, 2011). Pada kasus

pengotoran permukaan isolator, umumnya disebabkan karena adanya bahan polutan yang menempel pada permukaan isolator seperti bahan polutan debu, abu terbang, pasir, garam. Garam merupakan bahan polutan yang sering dijumpai pada pinggiran pantai. Biasanya Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berlokasi di pinggiran pantai. Sehingga pada jaringan listriknya terutama komponen berupa isolator dapat terpengaruh adanya bahan polutan garam. Untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh bahan polutan garam terhadap isolator berbahan keramik dan polimer.

Pada penelitian ini, isolator akan diuji menggunakan metode yang sesuai dengan standar *American Standard Test Method*, ASTM-D149. Standar pengujian ASTM-D149 terdiri dari tiga buah metode, yaitu metode *Short Time Test*, *Step by Step Test*, dan *Slow Rate of Rise Test* (Tobing, 2012). Metode *Short Time Test* adalah pengujian yang paling umum digunakan untuk menguji kontrol kualitas. Sedangkan metode *Step by Step Test* dan *Slow Rate of Rise Test* biasanya akan menghasilkan pengujian yang kurang baik, namun akan memberikan hasil yang lebih baik jika menggunakan perbedaan bahan uji dan kemudian dibandingkan satu sama lain (ASTM D149, 2009).

Dalam hal ini peneliti memilih memakai metode *Slow Rate of Rise Test* untuk mengetahui besarnya tegangan tembus sampai terjadinya tegangan *flashover*. Metode *Slow Rate of Rise Test* yaitu dijalankan menggunakan hasil uji awal yang diperoleh dari hasil uji *Short Time Test* atau uji waktu singkat, kemudian tegangan dinaikkan perlahan hingga terjadi tegangan tembus, namun dengan syarat waktu untuk mencapai tegangan tembus harus lebih dari 120 detik. Sebelumnya telah dilakukan penelitian dengan metode *Short Time Test* dan metode *Step by Step Test* dengan bahan polutan debu semen dan abu terbang. Sehingga peneliti berharap dengan adanya penelitian ini bisa melengkapi analisis tentang tegangan *flashover* pada isolator berbahan keramik dan polimer dengan variasi bahan polutan dan metode yang diterapkan.

## 1.2 Rumusan masalah

Adapun rumusan masalah yang didapat dari latar belakang yang telah dipaparkan diatas adalah :

- a. Bagaimana pengaruh polutan asap kendaraan terhadap tegangan *flashover* pada isolator berbahan polimer menggunakan metode *Slow Rate of Rise Test*?
- b. Bagaimana hasil perbandingan antara isolator berbahan polimer pada hasil pengujian dalam kondisi isolator tanpa polutan serta isolator yang berpolutan dalam jangka waktu yang berbeda ( 2 jam , 4 jam, 5 jam dan 6 jam) ?

## 1.3 Tujuan penelitian

Tujuan penelitian ini yang ingin dicapai oleh peneliti adalah sebagai berikut :

- a. Mengetahui pengaruh polutan asap kendaraan terhadap tegangan *flashover* pada isolator berbahan polimer menggunakan metode *Slow Rate of Rise Test*.
- b. Mengetahui hasil perbandingan antara isolator berbahan polimer pada hasil pengujian dalam kondisi isolator tanpa polutan serta isolator yang berpolutan dalam jangka waktu yang berbeda ( 2 jam, 4 jam 5 jam dan 6 jam)

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini yang ingin dicapai oleh peneliti adalah sebagai berikut :

- a. Untuk melengkapi analisis tentang tegangan *flashover* pada isolator berbahan polimer dengan variasi bahan polutan dan metode yang diterapkan.
- b. Sebagai referensi dalam upaya perbaikan keandalan kinerja isolator saat permukaan isolator terkena polutan asap kendaraan.

## 1.5 Batasan Masalah

Untuk memperjelas dan menghindari meluasnya masalah, maka disebutkan batasan masalah sebagai berikut:

- a. Isolator yang digunakan pada penelitian yaitu isolator yang digunakan pada jaringan distribusi SUTM 20 kV.
- b. Diasumsikan saat proses pengujian pada permukaan isolator hanya ada bahan polutan asap kendaraan.
- c. Selama proses pengujian, tekanan udara, kelembaban, suhu, dan temperatur udara dalam laboratorium diasumsikan sudah mewakili kondisi udara secara umum.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Isolasi

Isolasi adalah sifat atau bahan yang dapat memisahkan secara elektrik dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan, sehingga tidak terjadi kebocoran arus, atau dalam hal gradien tinggi terjadi *flashover*. Sedangkan sistem isolasi adalah gabungan dari beberapa bahan isolasi yang dibangun untuk memisahkan bagian-bagian peralatan listrik yang berbeda potensial.

Isolator mempunyai sifat atau kemampuan untuk dapat memisahkan secara elektrik dua buah penghantar atau lebih yang berdekatan, sehingga arus tidak mengalir dari konduktor jaringan ke tanah. Dengan demikian konstruksi isolator sangat diperhatikan dan bahan isolasi haruslah mempunyai kekuatan dielektrik yang baik sehingga sifat hantarannya dapat dikurangi.

### 2.2 Isolator Saluran Udara

#### 2.2.1 Bahan-bahan Isolasi

Bahan isolasi yang biasa dipergunakan pada isolator saluran udara yang dioperasikan pada tegangan tinggi (diatas 1 kV) adalah bahan porselin (keramik), bahan gelas, serta bahan polimer (*composite*) (Yosafat, 2014).

#### 2.2.2 Bahan Porselin (keramik)

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

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

Isolator porselin yang baik secara mekanis mempunyai kuat dielektrik sekitar 60kV/cm, kuat tekan dan kuat tariknya masing-masing 70.000 kg/cm<sup>3</sup> dan 500 kg/cm<sup>3</sup>.

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

### 2.2.3 Bahan Polimer Resin Epoksi

Resin epoksi merupakan plastik yang menawarkan kegunaan yang luar biasa yaitu: kekuatan dielektrik tinggi, resistan kimiawi yang baik dan daya pelekatan yang baik.

Cairan resin epoksi merupakan cairan yang memiliki sifat kekentalan yang rendah, sehingga mudah bercampur (masuk tahap *thermoset*) didalam perbuatannya. Jenis cairan resin yang lain adalah : *phenolic, polyesters, acrylics* yang dibuat dalam proses yang sama, tapi resin epoksi memiliki kelebihan yaitu konstruksi lebih ringan (rapat massa rendah), sifat dielektrik, resistifitas volume dan sifat thermal lebih baik, bersifat *hydrophobic* (anti air), dan proses pembuatan lebih cepat. Adapun kekurangan yang dimiliki oleh isolator polimer adalah penuaan atau degradasi pada permukaan isolator, kekuatan mekaniknya kecil atau kurang bagus, kompatibilitas material, kurang tahan terhadap perubahan cuaca, dan bahan mentah relatif mahal (Rahman, 2012).

### 2.2.4 Klasifikasi Isolator Saluran Udara

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

## 2.3 Karakteristik Isolator

### 2.3.1 Karakteristik Elektrik

Karakteristik elektrik dari isolator yang dimaksud adalah kemampuan menahan *flashover* dan arus bocor. Isolator yang terpasang pada jaringan udara sangat mudah dipengaruhi oleh perubahan kondisi lingkungan udara sekitar. Perubahan-perubahan tersebut dapat mempengaruhi kinerja dari isolator, yaitu kemampuan isolator menahan tegangan. Apabila di permukaan isolator terbentuk lapisan polutan akan mempengaruhi kinerja dari isolator tersebut. Kinerja isolator juga akan berbeda apabila permukaan isolator dalam kondisi basah dan dalam kondisi kering (Setiaji, 2012).

Isolator terdiri dari bahan isolasi yang diapit oleh elektroda-elektroda. Dengan demikian, maka isolator terdiri dari sejumlah kapasitansi. Karena kapasitansi ini, maka distribusi tegangan pada sebuah rentengan isolator menjadi tidak seragam. Potensial pada ujung yang terkena tegangan (ujung yang memegang kawat penghantar) adalah paling besar (Yosafat, 2014).

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

1. Tegangan *flashover* frekuensi rendah kering (*dry power frequency flashover voltage*) adalah tegangan *flashover* yang terjadi bila tegangan diterapkan di antara kedua elektroda isolator yang bersih dan kering permukaannya, nilainya konstan serta merupakan nilai dasar dari karakteristik isolator.
2. Tegangan *flashover* frekuensi rendah basah (*wet power frequency flashover voltage*) adalah tegangan *flashover* yang terjadi bila tegangan diterapkan di antara dua elektroda isolator yang basah karena hujan atau sengaja dibasahi.
3. Tegangan *flashover* impuls (*impuls flashover voltage*) adalah tegangan *flashover* yang terjadi bila tegangan impuls dengan gelombang standar diterapkan. Menurut standar IEC besarnya gelombang impuls standar adalah . Karakteristik impuls terbagi atas polaritas positif dan negatif. Biasanya, tegangan dengan polaritas positif yang dipakai (memberikan nilai *flashover*

lebih rendah). Untuk polaritas positif, tegangan *flashover* basah dan kering sama.

4. Tegangan tembus (*puncture*) merupakan tegangan tembus yang menyebabkan perusakan bahan isolasinya. Sedangkan perusakan bagian isolator yang disebabkan oleh pemanasan lebih tidak dikategorikan sebagai *puncture*.

### 2.3.2 Karakteristik Mekanis

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

Isolator harus memiliki kekuatan mekanis guna memikul beban mekanis penghantar yang diisolasi. Bahan isolasi sebagai bagian utama sebuah isolator, mempunyai sifat sebagai besi cor, dengan kuat tekan (*compressive strength*) yang besar dan kuat tarik (*tensile strength*) yang lebih kecil. Untuk porselin, kuat tariknya 400-900 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan kuat tekannya 10 kali lebih besar.

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

### 2.4 Kegagalan Isolator

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

1. Isolator pecah, disebabkan pemuaihan yang tidak merata dan kontraksi yang terjadi di dalam semen, baja, dan bahan porselin. Kegagalan ini juga bisa disebabkan pergantian musim yang mencolok dan pemanasan berlebih.
2. Bahan isolasi berlubang-lubang. Lubang terjadi karena bahan porselin diproses pada suhu rendah hingga mudah menyerap air. Kejadian ini menurunkan kekuatan isolasi dan arus merambat melalui isolator.
3. Ketidakmurnian bahan isolasi. Di tempat yang mengalami ketidakmurnian bahan isolasi pun akan terjadi kebocoran.
4. Bahan tidak dapat mengkilap, sehingga air akan tetap tinggal padanya, lalu menyebabkan penimbunan debu dan kotoran membentuk lapisan yang bersifat menghantar dan memperpendek jarak rayap (*creepage-distance*).
5. Tekanan secara mekanis, misalnya karena penumpukkan isolator. Jika bahannya kurang kuat dapat menyebabkan isolator pecah.

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

## **2.5 Flashover pada Isolator**

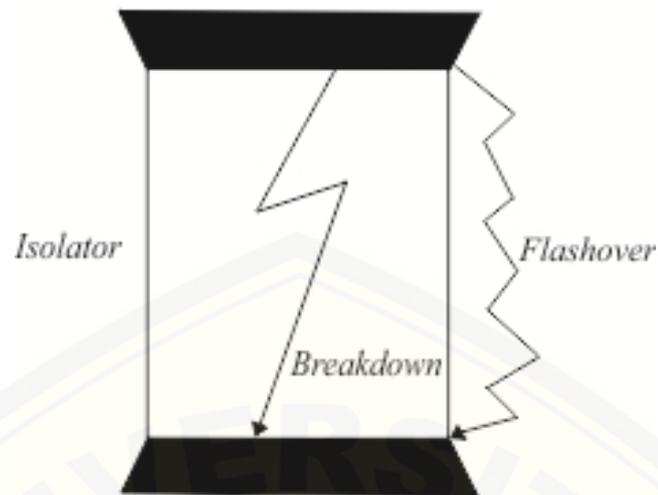
*Flashover* adalah gangguan eksternal yang terjadi pada permukaan isolator atau proses *flashover* pada permukaan suatu isolator yang disebabkan oleh berbagai faktor, diantaranya suhu, kelembaban, dan lingkungan sekitarnya (debu, asap pabrik, dan polutan garam). *Flashover* yang terjadi pada permukaan isolator padat disebabkan oleh tegangan yang harus ditahan oleh permukaan isolator melebihi kemampuannya (Setiaji, 2012). Tegangan *flashover* adalah nilai atau ukuran tegangan yang dapat ditahan isolator sampai terjadinya *flashover*.

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

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

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

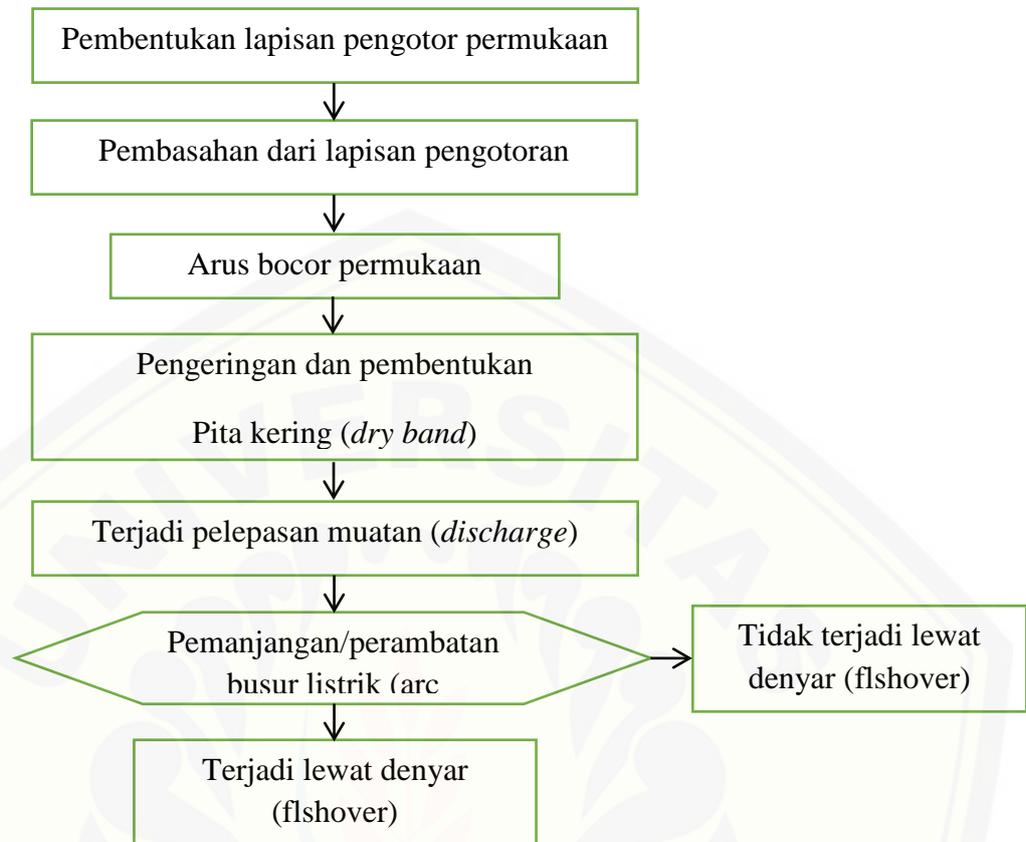
Kegagalan tegangan pada isolator dapat dibedakan dalam dua kejadian, yaitu kegagalan tegangan tembus (*puncture voltage*) dan kegagalan permukaan yang berupa *flashover*. Tegangan gagal *flashover* lebih rendah dari tegangan gagal tembus. Apabila isolator mengalami tegangan tembus, maka isolator dapat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



Gambar 2. 1 Kegagalan Isolator

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

Pelepasan muatan dapat memanjang sehingga terbentuk busur listrik (*arc*) dan terjadi lewat denyar (*flashover*) yang melalui seluruh permukaan isolator (Busono, 1982 mekanisme terjadinya lewat denyar (*flashover*) dapat dilihat sebagai berikut :



Gambar 2. 2 Mekanisme Lewat Denyar (*flashover*)

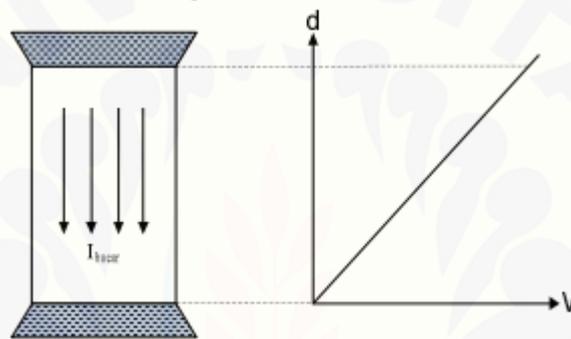
Tingkat polusi pada permukaan isolator dinyatakan dalam dua besaran, yaitu ESDD (*Equivalent Salt Deposit Density*) dan NSDD (*Non Soluble Deposit Density*) menyatakan kandungan ekuivalen garam per satuan luas dari polutan yang terdeposit pada isolator. NSDD menyatakan jumlah polutan tak larut dalam air yang terdeposit pada isolator. Klasifikasi tingkat polusi menurut standar IEC no 815 tahun 1994 dikemukakan dalam tabel berikut.

Tabel 2. 1 Klasifikasi polutan

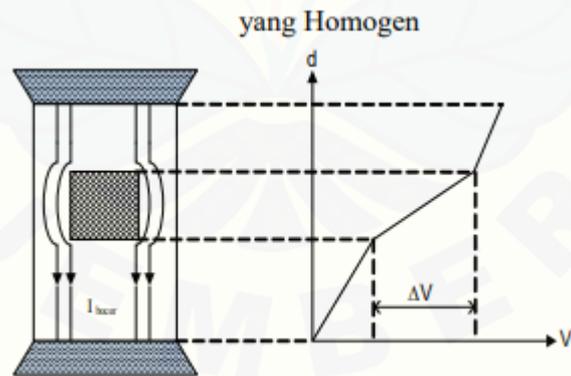
ESDD (mg/cm <sup>3</sup> )	Klasifikasi polusi
0-0.03	Bersih atau polusi sangat ringan
0.03-0.06	Polusi ringan
0.06-0.1	Polusi sedang
>0.1	Polusi berat

Terbentuknya pita kering ini menyebabkan gangguan medan listrik di sepanjang permukaan sehingga terjadi tegangan percikan (*spark over*) dan terjadi pelepasan muatan di daerah tertentu.

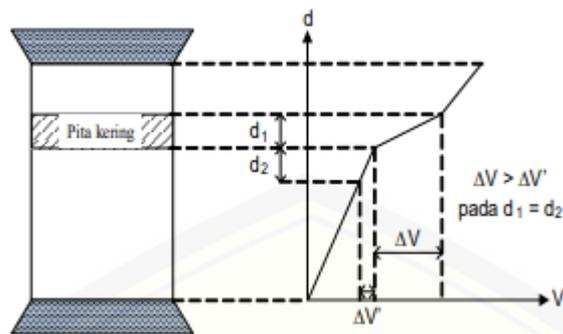
Pita kering memiliki tahanan arus merayap yang lebih besar daripada daerah yang masih basah. Dengan demikian, tegangan jatuh yang terjadi di daerah kering ( $\Delta V$ ) lebih besar daripada tegangan jatuh di daerah basah ( $\Delta V'$ ). Pada jarak  $d_1$  yang sama dengan  $d_2$  tegangan jatuh ini menimbulkan kuat medan yang besar sehingga udara diantaranya tidak kuat menahan medan tersebut dan terjadi pelepasan muatan (*discharge*).



(a) Isolator yang memiliki permukaan dengan kekotoran dan kebasahan.



(b) Sebagian permukaan isolator menjadi kering.



- (c) Pengeringan membentuk pita kering akibat kerapatan arus yang relative lebih besar

Gambar 2. 3 Mekanisme Terbentuknya Pita Kering

## 2.6 Isolator Berpolutan

### 2.6.1 Sifat Polutan

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

#### 2.6.1.1 Polutan Yang Bersifat Konduktif

Polutan yang bersifat konduktif yaitu polutan yang mampu menghantarkan arus listrik. Terdiri dari garam-garam yang mampu terurai menjadi ion-ion misalnya NaCl, MgCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CaCO<sub>3</sub> dan lain sebagainya. Dalam suatu larutan garam-garam tersebut mudah terurai dan dapat mempengaruhi tahanan permukaan pada isolator, karena garam-garam tersebut akan membentuk suatu lapisan konduktif pada permukaan isolator.

Adanya polusi garam ini mempengaruhi terjadinya tahanan permukaan pada isolator. Garam yang sukar larut lebih kecil pengaruhnya pada terjadinya tahanan permukaan dibandingkan dengan garam yang mudah larut. Beberapa komponen konduktif pada daerah industri yang dapat larut membentuk larutan asam yang bersifat konduktif, misalnya gas SO<sub>2</sub>, yang membentuk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

#### 2.6.1.2 Polutan Yang Bersifat Inert

Polutan yang bersifat lembam merupakan bagian dari zat padat yang tidak terurai menjadi ion-ion dalam larutan, namun komponen ini dapat menyebabkan ketahanan permukaan isolator. Zat-zat seperti  $\text{SiO}_2$ , tanah liat (kaolin) dapat membentuk suatu ikatan mekanis untuk mengikat komponen-komponen konduktif. Ikatan mekanis yang terbentuk akan mempersulit proses pencucian isolator. Perbedaan tingkat pengotoran antara permukaan atas dengan permukaan bawah akan terlihat pada isolator yang banyak mengandung komponen yang bersifat lembam.

Polutan lembam terbagi menjadi dua sifat yakni *hydrophilic* dan *hydrophobic*. Komponen *hydrophilic* dapat meningkatkan tingkat kebasahan permukaan isolator karena kemampuannya menyerap air, contohnya tanah liat dan semen. Sedangkan komponen *hydrophobic* menurunkan tingkat kebasahan isolator, karena sifat kedap air, contohnya lemak dan oli (minyak), yang menyebabkan air tidak dapat menempel pada permukaan isolator sehingga lapisan konduktif yang terbentuk tidak kontinyu.

## 2.6.2 Pembentukan Polutan pada Isolator

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

Pengumpulan partikel-partikel yang dibawa angin sangat dipengaruhi oleh besarnya medan elektrostatis, terutama pada bagian-bagian yang mengalami stress tegangan besar, yaitu di sekitar pasak isolator gantung. Pengaruh ini terutama terlihat pada isolator tegangan tinggi searah yang mempunyai polaritas tetap. Pemanasan oleh arus bocor yang mengalami stress tegangan tinggi menghalangi proses pencucian oleh alam dan mempertinggi permukaan zat pengotor. Pada isolator dengan tegangan bolak-balik dengan arus bocor lebih besar dibandingkan

pengaruh medan elektrostatis. Medan elektrostatis akan mengikat partikel-partikel melalui proses polarisasi begitu menyentuh permukaan isolator.

Berdasarkan lama pembentukan lapisan pengotor pada permukaan isolator, proses pengotoran dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu pengotoran cepat (*rapid pollution*) yang terjadi dalam keadaan angin kencang, seperti topan, badai, hujan batu, dan lain sebagainya, pengotor dapat mengumpul pada permukaan isolator dengan sangat cepat dan kondisi pengotoran yang berlangsung lama disebut pengotoran biasa (*ordinary pollution*).

## 2.7 Polutan Asap Kendaraan

Gas buang (emisi) dari kendaraan, atau yang lebih dikenal sebagai asap knalpot, adalah produk sisa dari pembakaran mesin kendaraan yang tidak sempurna. Gas yang dibuang mengandung berbagai zat kimia dan dengan mudah terhirup siapa saja di sekitar kendaraan yang mengeluarkan emisi.

Adapun sisa hasil pembakaran berupa air ( $H_2O$ ), gas CO atau disebut juga karbon monoksida yang beracun,  $CO_2$  atau disebut juga karbon dioksida yang merupakan gas rumah kaca,  $NO_x$  senyawa nitrogen oksida, HC berupa senyawa hidrat arang sebagai akibat ketidak sempurnaan proses pembakaran serta partikel lepas.

### 2.7.1 Kandungan Polusi Asap Kendaraan Bermotor

Kandungan asap kendaraan bermotor yang berbahaya pada manusia ada enam, yaitu :

#### A. CO ( Carbon Monoksida )

Tidak berwarna, tidak beraroma dan tidak mudah larut dalam air. Perbandingan berat terhadap udara ( $1 \text{ Atm } ^\circ \text{C}$ ) 0.967, didalam udara bila diberikan api akan terbakar dengan mengeluarkan asap biru dan menjadi  $CO_2$ (Carbon Dioxide). Berasal dari kendaraan bermotor 93%, power generator 7% terutama tempat sumbernya adalah pada kendaraan disaat *idling*. (Arifin, 2009 : 37).

Karbon Monoksida dibuat manusia karena pembakaran tidak sempurna bensin dalam mobil, pembakaran diperindustrian, pembangkit listrik, pemanas rumah, pembakaran di pertanian dan sebagainya (Sastrawijaya, 2009 : 200).

#### B. HC (Hydro Carbon)

Merupakan ikatan kimia dari karbon (C) dan Hydrogen (H). Bentuk kimianya dibagi menjadi *Parafine, Naftaline, Olefine* dan *Aromatic* N<sub>2</sub>O karena tidak aktif, tidak menjadi persoalan. Sumber penyebabnya diantaranya kendaraan bermotor 57%, penyulingan minyak dan generator power 43% sumber utamanya adalah gas buang dari kendaraan atau macam-macam alat pembakaran dan lain-lainnya. Seperti *Refining oil* (Pengilangan minyak) karena pemakaian pelarut. (Arifin, 2009 : 38).

Senyawa ini hanya mengandung unsur hydrogen dan karbon. Semacam senyawa yang termasuk hidrokarbon. Hidrokarbon yang dihasilkan manusia hanya sebesar 15%, yang termasuk sumber hidrokarbon hasil manusia adalah proses perindustrian, penguapan pelarut organik, dan pembakaran sampah (Sastrwijaya, 2009 : 206).

#### C. NO<sub>x</sub>

Terutama berbentuk NO, NO<sub>2</sub>, dan N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> merupakan zat gas yang tidak berwarna, tidak berbau, sukar larut dalam air, didalam udara Karena gesekan akan menjadi NO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> zat gas berwarna agak agak kemerahan dan sedikit berbau, mudah larut dalam air bereaksi dengan air menjadi asam Nitrit atau Nitrat. Sumber timbulnya adalah gas buang dari mobil, gas-gas yang timbul dari pabrik kimia serta gas las yang timbul dari bermacam-macam alat-alat pembakaran. Sumber penyebab berasal dari kendaraan bermotor 39%, pabrik, generator dan penyulingan minyak 61%. (Arifin, 2009 : 38).

Nitrogen oksida merupakan pencemar, sekitar 10% pencemar udara setiap tahun adalah nitrogen oksida. Ada delapan kemungkinan hasil reaksi bila nitrogen bereaksi dengan oksigen. Yang jumlahnya cukup banyak hanya

tiga yaitu  $N_2O$ ,  $NO$  dan  $NO_2$ . Yang tersangkut dalam pencemaran udara hanya  $NO$  dan  $NO_2$  (Sastrawijaya, 2009 : 203).

#### D. Partikulat

Berbentuk partikel debu yang sangat kecil ( $\pm 0.01\mu m$ ) yang terbentuk dari senyawa-senyawa carbon dan bahankimia lain dalam proses pembakaran. Sumber penyebab diantaranya kendaraan bermotor (diesel) 50%, pabrik, generator pembangkit dan pemanas 50%. (Arifin, 2009 : 39)

#### E. Sulfur Dioksida

Gas jernih tidak berwarna ini merupakan bagian dari pencemar udara, kadarnya sampai 18%. Gas ini baunya menyengat dan amat membahayakan manusia. Kedalam daur ulang belerang termasuk  $SO_2$ ,  $H_2S$  dan  $H_2SO_4$ . Asam ini dan garamnya merupakan aerosol, yakni suspensi cairan atau padatan dalam gas (Sastrawijaya, 2009 : 196).

Pengaruh kadar  $SO_2$  yang melebihi batas yang diperbolehkan akan berpengaruh terhadap kesehatan manusia, hewan maupun tumbuh-tumbuhan. Gas  $SO_2$  dapat menyebabkan iritasi dan lebih dari 95% gas  $SO_2$  akan terhirup selama proses pernapasan.

Polutan ini sangat korosif terhadap metal, karena menyebabkan hujan asam. Sumber penyebab diantaranya kendaraan bermotor (diesel) 1%, pabrik, generator, pemanas 99%. (Arifin, 2009 : 39).

#### F. Timah Hitam ( Pb )

Kandungan timah hitam (Pb) dalam debu udara umumnya merupakan hasil pembakaran bahan bakar minyak yang mengandung *Tetra Ethyl Lead* (TEL) yang ditambahkan guna meningkatkan nilai oktan bahan bakar. Dari spesifikasi bahan bakar minyak yang diproduksi di Indonesia, bensin premium mengandung TEL maksimal 2,5 ml/gallon atau 0,7 gr Pb/lit. Intoksikasi akibat Pb, diklasifikasikan pada keracunan khronik Pb dimana para penderita yang terpapar secara terus menerus menyebabkan Pb yang terhirup akan terakumulasi dalam tubuh sampai suatu tingkat tertentu sehingga memberikan tanda-tanda keracunan. (Arifin, 2009 : 40).

## 2.8 American Standard Test Method ( ASTM )

Metode yang sesuai dengan standar *American Standard Test Method*, ASTM-D149. Standar pengujian ASTM-D149 terdiri dari tiga buah metode, yaitu metode *Short Time*, *Step by Step Test*, dan *Slow Rate of Rise Test* (Tobing, 2012). Metode *Short Time Test* adalah pengujian yang paling umum digunakan untuk menguji kontrol kualitas. Sedangkan metode *Step by Step Test* dan *Slow Rate of Rise Test* biasanya akan menghasilkan pengujian yang kurang baik, namun akan memberikan hasil yang lebih baik jika menggunakan perbedaan bahan uji dan kemudian dibandingkan satu sama lain.

### 2.8.1 Metode *Short Time*

Profil tegangan pada pengujian waktu singkat. Pengujian diawali dengan menaikkan tegangan spesimen secara bertahap dengan laju tegangan konstan, misalnya 100 V/detik, sampai spesimen mengalami tembus listrik.

Jika tembus listrik terjadi di luar interval waktu 10 - 20 detik, terhitung sejak tegangan pengujian mulai dinaikkan, pengujian harus diulang dengan laju tegangan pengujian ditinggikan hingga tembus listrik terjadi dalam interval waktu 10 - 20 detik. Pengujian untuk menentukan laju tegangan yang cocok disebut uji preliminier (*preliminary test*). Setelah didapat laju tegangan yang cocok, laju tegangan inilah yang digunakan untuk pengujian spesimen. Pada umumnya, beberapa bahan isolasi diuji dengan laju tegangan sekitar 500 V/detik. Nilai tegangan pada saat satu spesimen mengalami tembus listrik dicatat.

Apabila pada uji preliminier tidak ditemukan laju tegangan yang menimbulkan tembus listrik dalam interval waktu 10 - 20 detik, pada laporan hasil pengujian harus dicantumkan interval waktu terjadinya tembus listrik ( $t_{bd}$ ) yang diperoleh pada pengujian. Jika pengujian harus dilakukan dengan laju tegangan tertentu, sedang dengan laju tegangan ini tembus listrik terjadi di luar interval 10 - 20 detik, maka pada laporan hasil pengujian harus dicantumkan interval waktu terjadinya tembus listrik ( $t_{bd}$ ).

Pengujian dilakukan terhadap lima spesimen. Tegangan tembus spesimen ini sama dengan nilai rata - rata tegangan tembus yang diperoleh dari lima

spesimen yang telah diuji. Jika nilai tegangan tembus spesimen ada yang menyimpang hingga 15% daripada nilai rata - rata, pengujian harus diadakan terhadap lima spesimen lagi. Untuk kasus seperti ini hasil pengujian sama dengan nilai rata - rata tegangan tembus yang diperoleh dari sepuluh spesimen yang telah diuji. Kekuatan dielektrik bahan isolasi yang diuji adalah nilai tegangan tembus dibagi dengan tebal spesimen.

## 2.8.2 Metode *Step by Step Test*

Profil tegangan pengujian dibuat. Mula - mula ditetapkan tegangan tembus spesimen menurut pengujian waktu singkat ( $V_{bd}$ ) atau menurut pengalaman dalam pengujian - pengujian yang sudah pernah dilakukan. Kemudian dihitung perkiraan tegangan uji awal  $V_a = 0.5 V_{bd}$ . Pada perkiraan tegangan uji awal yang dipilih, ditentukan tegangan start ( $V_s$ ) dan penambahan tegangan.

Jika tegangan uji awal ditetapkan menyimpang dari nilai yang dianjurkan, misalnya  $V_{as}$ , maka dipilih tegangan uji awal ( $V_a$ ) yang nilainya persis di bawah  $V_{as}$ . Penambahan tegangan dibuat sama dengan 10% daripada tegangan uji awal yang dipilih ini.

Waktu yang dibutuhkan untuk menaikkan tegangan dari suatu tingkat tegangan pengujian ke tingkat tegangan pengujian berikutnya ( $t_{n+1} - t_n$ ) disebut waktu pengujian. Lama pengujian waktu pengujian adalah  $(60 \pm 5)$  detik dan jika dibutuhkan, juga diperbolehkan 20 detik atau 300 detik.

Pengujian dimulai dengan menaikkan tegangan spesimen tanpa menimbulkan tegangan transien, mulai dari nilai nol hingga mencapai tegangan *start* ( $V_s$ ). Setelah tegangan *start* berlangsung 60 detik, dan dalam interval waktu ini tidak terjadi tembus listrik pada spesimen, tegangan pengujian dinaikkan atau tegangan pengujian tingkat kedua. Setelah tegangan pengujian tingkat kedua ini berlangsung 60 detik, dan dalam interval waktu ini juga tidak terjadi tembus listrik pada spesimen, tegangan pengujian dinaikkan lagi. Demikian seterusnya, tegangan, tegangan pengujian dinaikkan bertangga hingga spesimen mengalami tembus listrik.

Misalkan tembus listrik terjadi pada saat  $t = t_x$ . Pada kondisi pengujian seperti ini, spesimen dinyatakan memiliki ketahanan tegangan  $V_{kt} = V_n$  dan tegangan tembus  $V_{bd} = V_{n+1}$ . Jika tembus listrik terjadi pada saat  $t = t_5$ , spesimen dinyatakan memiliki  $V_{kt} = V_{bd} = V_{n+1}$ .

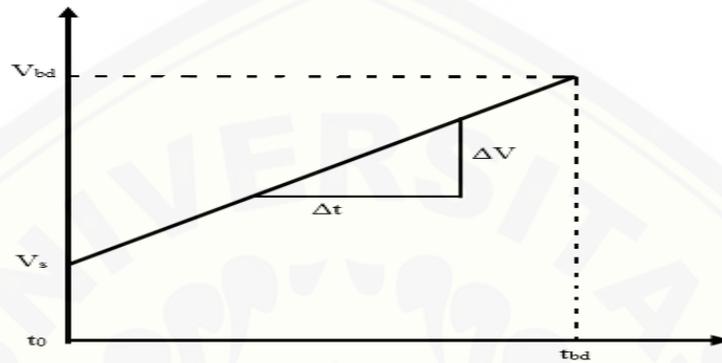
Diinginkan bahwa tembus listrik terjadi pada langkah keempat hingga langkah kesepuluh, tetapi waktu terjadinya tembus listrik ini tidak kurang dari 120 detik ( $t_{bd} \geq 120$  detik). Jika ketika pengujian satu kelompok spesimen, lebih dari satu spesimen tembus listrik pada langkah ketiga atau waktu terjadinya tembus listrik kurang dari 120 detik ( $t_{bd} < 120$  detik), pengujian diulang kembali dengan tegangan *start* yang lebih rendah. Sebaliknya, jika spesimen tidak tembus listrik sebelum langkah kedua belas atau  $t_{bd} > 720$  detik, maka pengujian diulang dengan tegangan *start* lebih tinggi.

### 2.8.3 Metode *Slow Rate of Rise Test*

Profil tegangan pengujian ditunjukkan pada Gambar 2.3. Laju tegangan dipilih salah satu dari yang disarankan pada Gambar 2.3 ini. Cara menentukan tegangan *start*  $V_s$  sama seperti metode pengujian bertangga yakni dengan menetapkan tegangan tembus specimen, menurut pengujian waktu singkat ( $V_{bd}$ ) atau menurut pengalaman dalam pengujian-pengujian yang sudah pernah dilakukan, kemudian dihitung perkiraan tegangan uji awal  $V_s = 0,5 V_{bd}$ . Pengujian dilakukan dengan menaikkan tegangan spesimen secara bertahap dengan laju tegangan konstan, mulai dari tegangan *start*  $V_s$  hingga spesimen mengalami tegangan tembus listrik. Terjadinya tembus listrik ini harus pada  $t_{bd} > 120$  detik sejak tegangan pengujian dikenakan pada spesimennya.

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

terjadi pada tegangan  $2,5V_s$  dan waktu terjadinya tembus listrik lebih dari 120 detik, nilai  $V_s$  dinaikkan.



Gambar 2. 4 Profil Pengujian Dengan Kenaikan Tegangan Perlahan

**BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN**

**3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

Tempat dan waktu pelaksanaan penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

**3.1.1 Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan Laboratorium Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember dan Laboratorium Tegangan Tinggi Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya setelah pelaksanaan seminar proposal.

**3.1.2 Waktu Penelitian**

Waktu penelitian dilaksanakan selama kurang lebih enam bulan, berikut adalah tabel jadwal kegiatan penelitian.

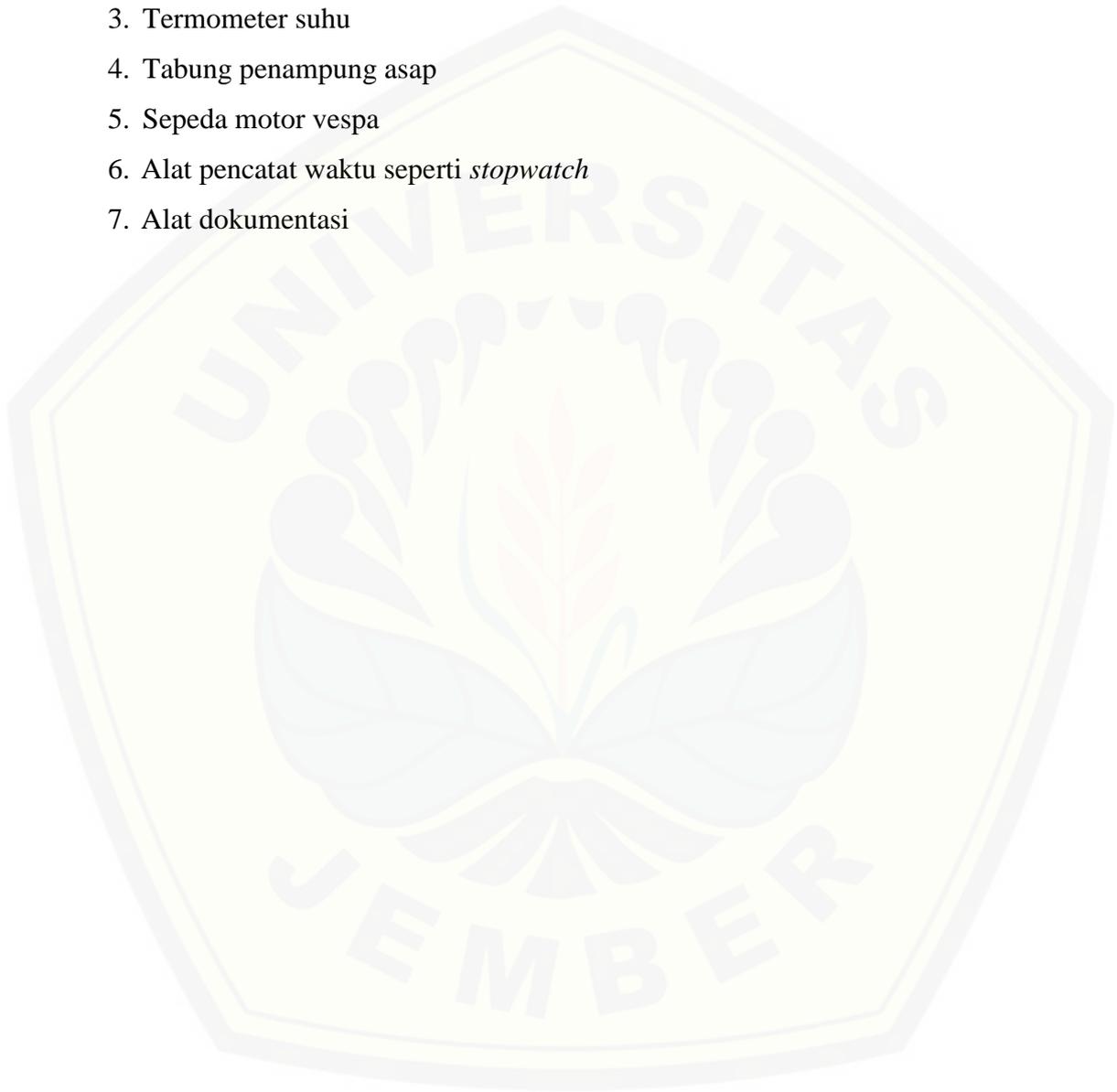
Tabel 3. 1 Jadwal Kegiatan penelitian

No.	Kegiatan	Bulan / Minggu											
		I				II				III			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur	■											
2	Mengurus perijinan		■										
3	Menyiapkan alat dan bahan			■	■								
4	Pengujian laboratorium				■	■							
5	Pengambilan data					■	■						
6	Analisis data							■	■				
7	Membuat laporan									■	■	■	■

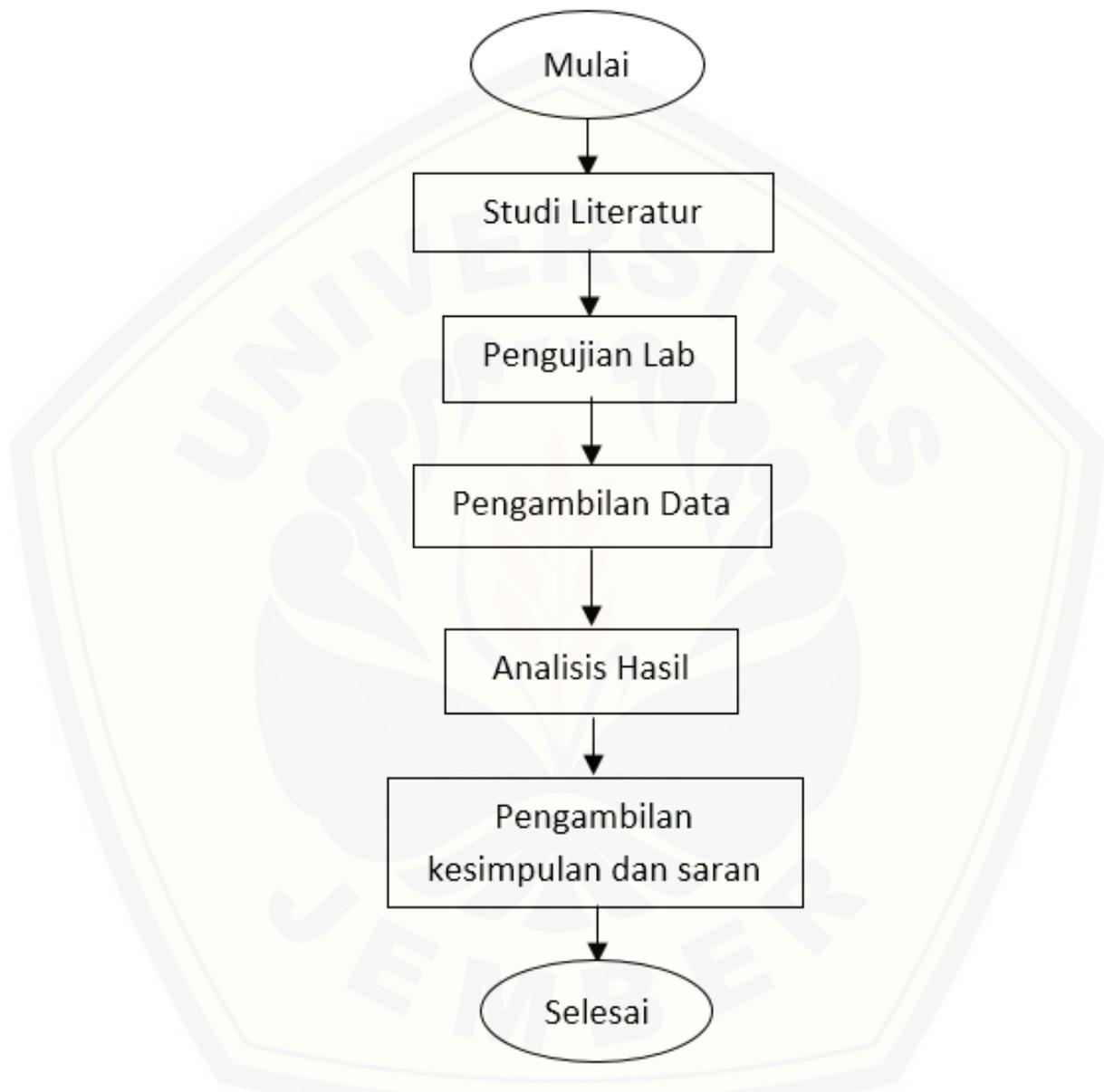
### 3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Satu set peralatan pembangkit tegangan tinggi
2. Isolator berbahan polimer
3. Termometer suhu
4. Tabung penampung asap
5. Sepeda motor vespa
6. Alat pencatat waktu seperti *stopwatch*
7. Alat dokumentasi

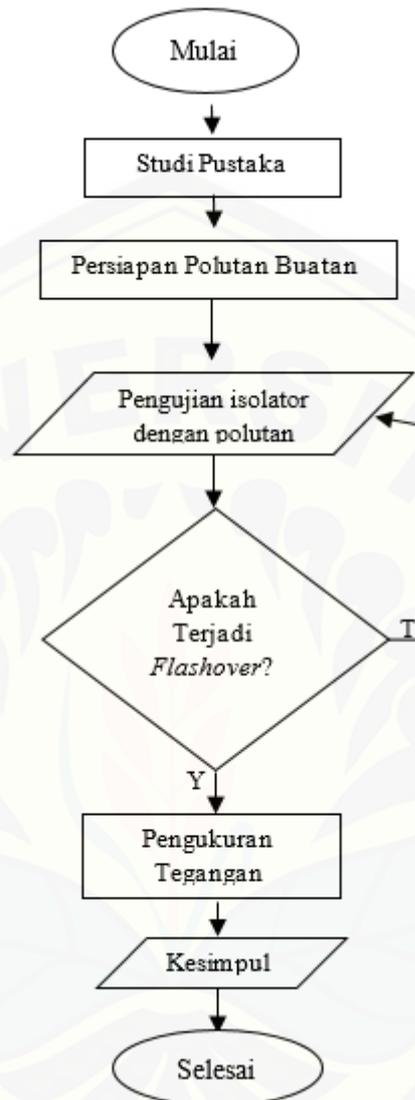


### 3.3 Diagram Alur Penelitian



Gambar 3. 1 Bagan Alur Penelitian

### 3.4 Flowchart



Gambar 3. 2 Flowchart Penelitian

Berdasarkan gambar flowchart diatas dapat dijelaskan tahapan-tahapan yang akan dilakukan. Adapun tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini ialah:

1. Tahap studi pustaka.
2. Tahap pembuatan polutan buatan.
3. Tahap pengujian isolator dan pengambilan data.
4. Tahap analisis hasil perbandingan.
5. Tahap pengambilan kesimpulan hasil penelitian.

#### 3.4.1 Studi Pustaka

Metode studi pustaka ini dilakukan untuk lebih memahami permasalahan dan teori dasar mengenai terjadinya *flashover* yang terjadi pada bahan isolasi yang dipakai dalam pengujian yakni isolator polimer. Selain itu studi literatur ini dilakukan untuk memahami katakteristik isolator polimer yang terpengaruhi oleh polutan asap kendaraan dengan perlakuan kondisi yang berbeda.

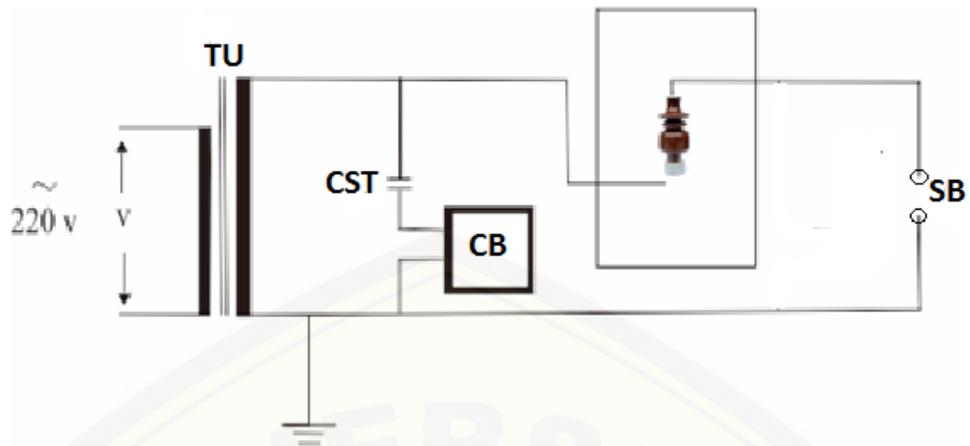
#### 3.4.2 Pembuatan Polutan

Proses pembuatan polutan ini dilakukan dengan cara membuat sebuah tabung tertutup rapat yang nantinya berfungsi sebagai penghalang asap agar tidak keluar dari tabung tersebut. Kemudian isolator di masukan dalam tabung tersebut yang mana tabung tersebut terhubung langsung dengan knalpot vespa. Kemudian sepeda motor tersebut dinyalakan selama 2 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam.

#### 3.4.3 Pengujian Tegangan *Flashover*

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

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

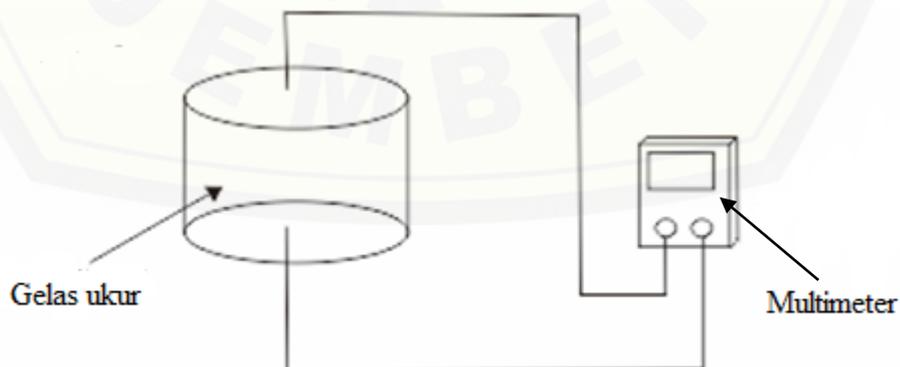


Gambar 3. 3 Rangkaian Pengujian Tegangan *Flashover*

Keterangan :

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

Untuk penentuan resistansi dilakukan dengan membersihkan seluruh polutan yang menempel pada isolator dan dilarutkan ke dalam air sebanyak 200 cc sehingga menjadi larutan yang homogen antara NaCl dan H<sub>2</sub>O kemudian dimasukkan ke suatu gelas ukur yang telah tersedia di Laboratorium yang berdimensi  $l = 13,3$  cm dan  $d = 7,6$  cm kemudian dilakukan pengukuran resistansi.



Gambar 3. 4 Gelas Ukur dan Multimeter untuk Pengukuran Resistansi Polutan

a. Perhitungan Konduktivitas Polutan

Perhitungan konduktivitas polutan dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{l}{R \times A} \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana :

$\sigma$  = konduktivitas polutan ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

$l$  = tinggi gelas ukur (cm)

$R$  = resistansi polutan ( $\Omega$ )

$A$  = luas penampang melintang gelas ukur ( $\text{cm}^2$ )

Dimensi gelas ukur yang digunakan dalam pengujian konduktivitas mempunyai diameter pada lempeng elektroda sebesar 7,6 cm sehingga luas penampang gelas ukurnya yaitu  $A = 45,365 \text{ cm}^2$  dan tinggi  $l = 13,3 \text{ cm}$ . Setelah diperoleh nilai resistansi dari polutan, diperoleh dengan cara diukur resistannya dengan multimeter, kemudian dapat dengan menggunakan rumus diatas maka dapat ditentukan besarnya nilai konduktivitasnya, sehingga dapat pula ditentukan besarnya nilai ESDD dari masing-masing konsentrasi.

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

3.4.4 Pengambilan Data

Untuk pengambilan data pengujian meliputi tahap-tahap sebagai berikut:

1. Untuk pengujian ketahanan isolator dengan metode *Slow Rate Of Rise Test* diperlukan dengan menaikkan tegangan spesimen secara bertahap dengan laju tegangan konstan, mulai dari tegangan *start*  $V_s$  hingga spesimen mengalami tegangan tembus listrik baik pada kondisi kering maupun basah. Hal ini ditandai dengan terjadinya suara letupan dan terjadinya percikan api di permukaan isolator seiring dengan terjadinya *flashover* pada isolator.

Terjadinya tembus listrik ini harus pada  $t_{\text{flashover}} > 120$  detik sejak tegangan pengujian dikenakan pada spesimennya.

2. Pengambilan data diawali dengan menetapkan tegangan tembus spesimen, menurut pengujian waktu singkat ( $V_{\text{flashover}}$ ) atau menurut pengalaman dalam pengujian-pengujian yang sudah pernah dilakukan, kemudian dihitung perkiraan tegangan uji *start*  $V_s = 0,5 V_{\text{flashover}}$ .
3. Apabila dalam pengujian sekelompok spesimen, lebih dari satu spesimen yang mengalami tembus listrik pada waktu kurang dari 120 detik, perlu dilakukan tindakan sebagai berikut:
  - a. Tegangan uji *start*  $V_s$  dikurangi, atau laju tegangan ( $\Delta V/\Delta t$ ) diturunkan, atau mengurangi tegangan *start* dan laju tegangan secara bersamaan.
  - b. Jika lebih dari satu spesimen mengalami tembus listrik pada tegangan yang kurang dari  $1,5V_s$  maka nilai tegangan *start*  $V_s$  dikurangi.
  - c. Jika tembus listrik terjadi pada tegangan  $2,5V_s$  dan waktu terjadinya tembus listrik lebih dari 120 detik, nilai  $V_s$  dinaikkan.
4. Kemudian mencatat besarnya tegangan dan waktu tembus listrik yang terjadi pada saat pengujian.
5. Setelah di uji isolatornya, kemudian isolator di cuci menggunakan air pencuci (air destilasi) sebanyak 200 ml. Untuk cara pencuciannya yaitu :
  - a. Isolator dicuci dengan menggunakan tiga buah kain kasa dengan ukuran 16 cm x 16 cm. Sebelumnya terlebih dahulu air pencuci di ukur nilai resistansinya.
  - b. Proses pencucian isolator dilakukan di sebuah baskom yang sudah dibersihkan dengan air destilasi.
  - c. Air pencuci dipakai setengahnya untuk mencuci tahap awal dengan menggunakan kain kasa, dan setengahnya digunakan untuk pencucian tahap akhir.
  - d. Setelah isolator dicuci, air cucian, kain kasa diletakkan pada baskom, kemudian di ukur nilai resistansinya.
6. Pengambilan data dilakukan dengan melakukan pengulangan sebanyak tiga kali, kemudian diambil rata-ratanya.

#### 3.4.4 Analisis Data

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



## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian tegangan tembus pada isolator post pin polimer dengan menggunakan metode *slow rate rise test* diperoleh beberapa kesimpulan :

1. Penggunaan metode *slow rate of rise test* untuk pengujian *flashover* pada isolator berbahan polimer dengan adanya pengaruh polutan asap kendaraan telah memberikan hasil bahwa nilai tegangan *flashover* akan turun sesuai dengan variasi intensitas waktu yang ditentukan, semakin lama intensitas waktu penyemprotan maka semakin kecil nilai tegangan *flashover*.
2. Perbandingan tanpa polutan serta dengan yang terkontaminasi polutan dengan penyemprotan 2 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam dalam kondisi kering menunjukkan nilai tegangan *flashover* lebih besar dibandingkan saat isolator terkontaminasi penyemprotan 2 jam, 4 jam, 5 jam dan 6 jam dalam kondisi basah, terbukti pada penyemprotan 6 jam dalam kondisi kering nilai tegangan *flashover* sebesar 40 kV dan pada penyemprotan 6 jam dalam kondisi basah nilai tegangan *flashover* sebesar 30 kV.

### 5.2 Saran

Adapun saran-saran penulis yang diberikan setelah melakukan penelitian ini antara lain :

1. Untuk penelitian selanjutnya agar menggunakan dua buah jenis isolator yang berbeda,serta pembuatan tabung penyemrotan yang bias disemprot dari berabagai sudut sehingga dapat diperoleh data yang lebih baik.dan lebih akurat.