

# ANALISIS TEGANGAN TEMBUS DAN FLASHOVER RESIN BAHAN FEEDTHROUGH TEGANGAN TINGGI UNTUK IRADIATOR ELEKTRON 300KV/20MA

Totok Dermawan\*, Hamzah Berahim\*\*, Darsono\*\*\*

\*Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN, Yogyakarta,

\*\*Jurusan Teknik Elektro, UGM, Yogyakarta

\*\*\*Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN, Yogyakarta

email : totokdermawan@gmail.com

## ABSTRAK

**ANALISIS TEGANGAN TEMBUS DAN FLASHOVER RESIN BAHAN FEEDTHROUGH TEGANGAN TINGGI UNTUK IRADIATOR ELEKTRON 300KV/20MA.** Analisa tegangan tembus dan flashover resin bahan feedthrough tegangan tinggi untuk Iradiator elektron 300 kV/20 mA, bertujuan untuk menganalisis bahan resin yang akan digunakan sebagai bahan untuk membuat feedthrough tegangan tinggi iradiator elektron 300kV/20 mA. Analisis yang dilakukan adalah menguji ketahanan bahan resin terhadap tegangan tembus dan flashover. Berbagai penelitian bahan terus dilakukan dan dikembangkan dengan tujuan meningkatkan unjuk kerja dan kualitas dari bahan isolator. Penelitian dengan cara membuat variasi komposisi perbandingan sampel uji antara bahan pematangan dan bahan utama resin. Variasi perbandingan yaitu sampel A= 1 : 400; B= 1 : 600; C= 1 : 800, D= 1:1000; E= 1:1250 dan dicetak dengan ukuran 200x200x2 (mm). Dari hasil pengujian dan analisa data diperoleh bahwa semakin besar konsentrasi bahan pengeras menjadikan bahan mudah tembus tegangan dan bersifat getas sedang konsentrasi bahan pengeras yang kecil bahan juga mudah tembus tegangan serta bersifat lembek. Tegangan flashover yang timbul dipengaruhi oleh besarnya tegangan tinggi serta jarak elektrode.

*Kata Kunci : Resin, Flashover, Tegangan Tembus*

## ABSTRACT

**ANALYSIS OF BREAKDOWN VOLTAGE AND FLASHOVER OF HIGH VOLTAGE FEEDTHROUGH RESIN MATERIAL FOR ELECTRON IRRADIATOR 300KV/20 MA.** Analysis the resin material used as material for making high voltage feedthrough 300kV/20 mA electron irradiators. Analysis of the resin material by testing the breakdown voltage and flashover. Various studies and materials to be developed for improving performance and quality of insulating materials. Research by making a variation the composition comparison of the test sample. The variation of agents bund comparison with resin materials is, sample A = 1: 400; B = 1: 600; C = 1: 800, D = 1:1000; E = 1:1250 and printed with a size of 200x200x2 (mm). From the results of testing and data analysis indicates that the greater the concentration of hardener makes the material easy to through voltage and is brittle. A small concentration of hardener material is also easily penetrate the voltage and are soft. Flashover voltage is affected by the amount attributable to the high voltage and electrode distance.

*Keywords : Resin, Flashover, Breakdown voltage*

## PENDAHULUAN

Mesin berkas elektron (MBE) merupakan mesin pemercepat partikel. Jenis partikel yang dipercepat adalah elektron. Dalam bidang industri, MBE digunakan untuk proses radiasi produk-produk industri seperti bahan isolasi kabel, tabung plastik, ban mobil, dan lain-lain agar

kualitasnya lebih baik. Sumber tegangan tinggi 300 kV digunakan untuk meningkatkan energi kinetik elektron, sebagai sumber radiasi pada proses iradiasi. Tegangan tinggi ini disalurkan melalui penghantar ke sistem MBE<sup>[1]</sup>.

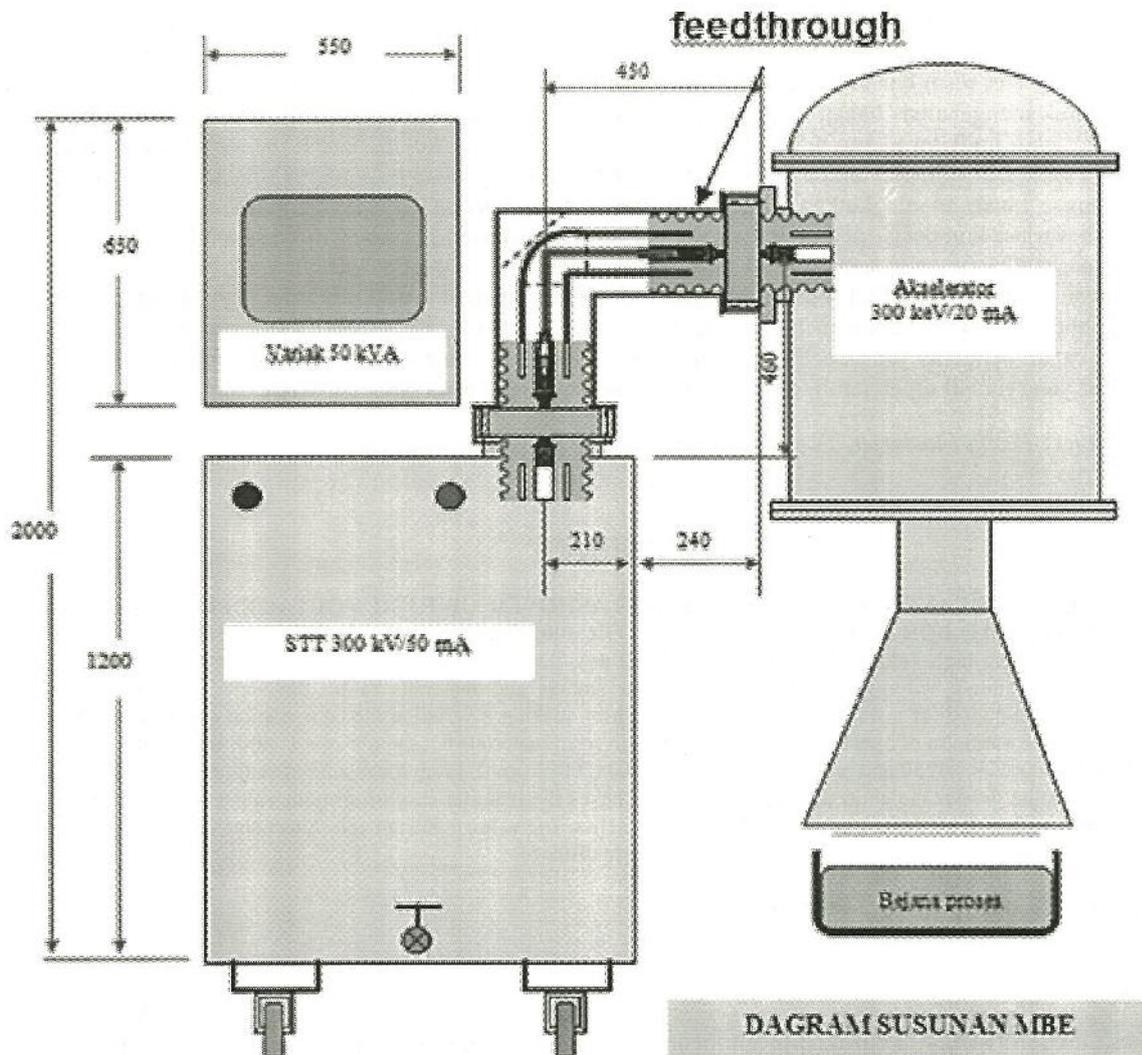
\* Corresponding author. Tel/Fax: -  
Email address: totokdermawan@gmail.com

Feedthrough merupakan salah satu bagian terpenting yang berhubungan dengan sumber tegangan tinggi. Komponen ini berfungsi untuk mentransmisikan daya listrik yang bertegangan tinggi 300 kV DC dengan tabung pemercepat elektron yang berada dalam bejana tekan melalui barrier pentanahan. Feedthrough ini perlu dirancang dan dibuat sendiri karena tidak terdapat dipasaran. Susunan MBE dengan sumber tegangan tinggi menggunakan feedthrough seperti dalam Gambar 1.

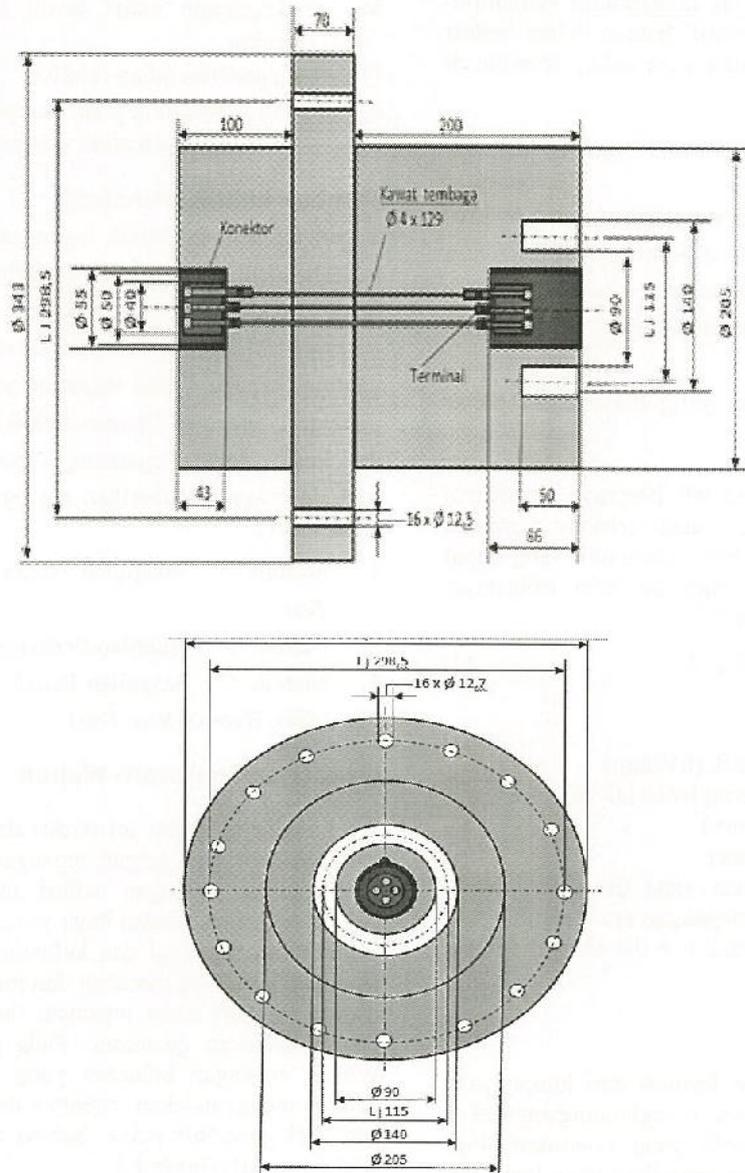
Untuk mengatasi terjadinya flashover terhadap sistem pentahanan MBE, penghantar harus di lindungi dengan isolasi yang dapat menahan besarnya tegangan tersebut. Isolasi adalah sifat dari salah satu bahan peralatan listrik yang dapat memisahkan secara elektrik dua penghantar atau lebih yang bertegangan sehingga tidak terjadi kebocoran arus. Analisis bahan isolasi diperlukan untuk mengetahui kekuatan dielektrikum dari suatu bahan iso-

lator. Pada umumnya kegagalan alat-alat listrik pada waktu sedang dipakai disebabkan oleh kegagalan fungsi isolasi, waktu pemakaian yang lama, kerusakan mekanis, dan kekuatan dielektrik karena mengalami tegangan lebih<sup>[2]</sup>.

Karakteristik bahan isolasi yang baik, antara lain nilai tahanan isolasi yang besar, memiliki nilai kuat dielektrik yang tinggi (kemampuan menahan tegangan listrik tinggi), kuat mekanik yang tinggi, faktor disipasi yang rendah, konduktivitas thermal yang tinggi, permitivitas rendah, bebas dari gelembung udara (untuk isolasi padat), tahan terhadap kerusakan akibat thermal dan kimia<sup>[3]</sup>. Resin merupakan suatu produk yang dihasilkan oleh reaksi bahan isolasi polimer dengan agen pematang/pengerasnya serta bahan pengisi yang dapat digunakan sebagai material isolasi peralatan listrik.



Gambar 1. Diagram Susunan MBE-Latek



Gambar 2. Desain Feedthrough

Bahan isolasi listrik adalah material isolator yang mempunyai nilai tahanan yang besar untuk menahan aliran arus yang mengalir di sepanjang konduktor. Makalah ini akan membahas analisis bahan polimer resin untuk membuat feedthrough. Dipasaran umum bahan ini dikenal dengan sebutan resin bening, karena tidak memiliki nama merek dagang. Penelitian dilakukan untuk mengetahui sifat bahan terhadap tembus tegangan dan lewat denyar. Ada dua kejadian yang dapat menyebabkan sistem isolasi gagal, yaitu terjadinya tembus listrik pada udara di sekitar permukaan isolator yang disebut peristiwa lompatan listrik (*flashover*) dan tembus listrik pada isolator yang menyebabkan isolator pecah atau

dikenal dengan breakdown (dadal). Dalam kasus flashover, kerusakan isolator disebabkan karena panas yang ditimbulkan busur api pada permukaan isolator, sedangkan pada kasus breakdown, karakteristik listrik tidak dapat pulih seperti semula dan harus diganti<sup>[4]</sup>. Desain feedthrough tegangan tinggi dari bahan resin ditunjukkan dalam Gambar 2.

## TEORI

### Sifat Listrik Dielektrik

Isolasi merupakan salah satu permasalahan dalam sistem tenaga listrik pada umumnya dan tegangan tinggi pada

khususnya karena menyangkut masalah pokok dalam bidang ekonomi, dan lingkungan. Penggunaan isolasi harus ekonomis, namun tidak mengurangi kemampuannya atau perlu dicari alternatif dengan bahan isolasi yang baru dan harganya rendah serta cukup tersedia di pasaran.

Fungsi yang paling penting dari suatu bahan isolasi adalah

1. Untuk mengisolasi antara suatu penghantar lainnya seperti antara konduktor fasa dengan konduktor fasa atau konduktor fasa dengan tanah.
2. Menahan gaya mekanis akibat adanya arus pada konduktor yang diisolasi.
3. Mampu menahan tekanan yang diakibatkan panas dan reaksi kimia.

Kekuatan dadal dielektrik adalah besarnya ketahanan suatu isolator untuk dapat bertahan terhadap tegangan listrik. Besarnya tegangan listrik maksimum yang dapat ditahan suatu isolator tanpa merusak sifat isolasinya, dinyatakan dengan persamaan 1<sup>[5]</sup>

$$E = V_{bd}/h \quad (1)$$

dengan :

E = kekuatan dadal dielektrik (kV/mm)

$V_{bd}$  = tegangan tembus material isolasi (kV)

h = ketebalan dielektrik (mm)

n = d<sup>n</sup> untuk material polimer

n = konstanta dari keadaan yang diuji, tergantung dari macam benda uji. Untuk tegangan arus searah n = 0, dan untuk tegangan bolak-balik n = 0,2 sampai dengan 0,3. d – ketebalan

### Flashover

Kenaikan besar tegangan dan formasi dari luasan yang basah pada permukaan akan menghubungkan isolator melalui jalur elektrolit yang konduktif. Permukaan air yang konduktif memberikan jalan kecil untuk busur api listrik yang bertambah, Jika Ebusur > Efilamen. Busur api listrik akan berjalan pada permukaan dari lapisan elektrolit yang mengakibatkan lewat denyar (flashover)<sup>[7]</sup>.

Dalam pengujian tegangan lewat denyar, tegangan dinaikkan secara bertahap sampai dengan tegangan kritis pada permukaan bahan isolasi yang diuji. Kondisi pengujian dipengaruhi oleh kondisi udara sekitar. Data hasil pengujian dikoreksi dengan udara standar IEC dengan menggunakan persamaan berikut<sup>[8]</sup>.

$$V_s = \frac{V_B}{d} \quad (2)$$

$$d = \frac{b_B}{760} \times \frac{273 + 20}{273 + t_B} = \frac{0,385 + b_B}{273 + t_B} \quad (3)$$

dengan

$V_s$  = Tegangan kritis lewat denyar dalam keadaan standar

$V_B$  = Tegangan kritis lewat denyar dalam yang terukur

D = Keypadatan udara relative

$t_B$  = Suhu sekeliling pada saat pengujian (°C)

$b_B$  = Tekanan udara pada saat pengujian (mmHg)

### Tembus Listrik (Puncture)

Tegangan tembus adalah tegangan ketika pada sebuah isolator sudah tidak mampu menghadapi stress tegangan di antara elektroda yang terpisah yang memiliki beda potensial. Mekanisme tembus listrik dielektrik padat tergantung kepada durasi tegangan yang dibebankan oleh dielektrik tersebut. Dengan demikian tegangan tembus dielektrik padat tergantung kepada waktu pengujian. Metode dalam memberikan tegangan pengujian sebagai berikut<sup>[10]</sup> :

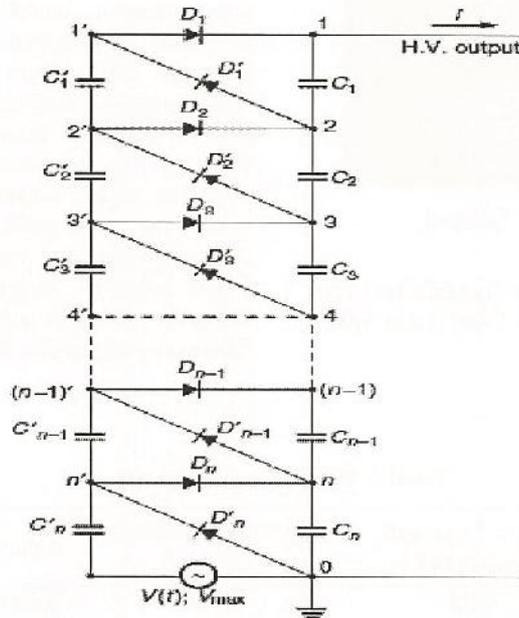
1. Metode A : Pengujian waktu singkat (*Short Time Test*)
2. Metode B : Pengujian Bertangga (*Step-by-step-Test*)
3. Metode C : Pengujian kenaikan tegangan perlahan (*Slow Rate-of-Rise Test*)

### Generator Cockcroft- Walton

Pembangkit tegangan ini terdiri dari dua bagian utama yaitu osilator dan pelipat tegangan. Osilator berfungsi menghasilkan tegangan osilasi sebagai masukan bagi pelipat tegangan dengan daya yang cukup untuk mengatasi seluruh rugi-rugi dan keluaran generator<sup>[9]</sup>. Pelipat tegangan berfungsi merubah dan meningkatkan tegangan osilasi menjadi suatu tegangan tinggi searah (DC) sebagai keluaran generator. Pada generator Cockcroft-Walton tegangan keluaran yang dihasilkan diperoleh dengan menggandakan tegangan masukan pelipat tegangan dari generator pulsa. Skema rangkaian Cockcroft-Walton seperti Gambar 3.

Prinsip pengandaannya adalah dengan proses pengisian pelipat tegangan secara parallel dan pelepasannya secara seri. Susunan pelipat tegangan Cockcroft-Walton secara sederhana seperti dalam gambar di atas. Generator Cockcroft-Walton terdiri dari dua baris kapasitor tegangan tinggi, yaitu baris kiri dan baris kanan yang masing-masing dihubungkan oleh dioda tegangan tinggi. Pada waktu sesaat semua kapasitor diisi terjadi hubungan parallel dan pada waktu sesaat lainnya terjadi hubungan seri. Jika besar tegangan masukan besarnya adalah V dan banyaknya tingkat kapasitor adalah N, maka akan terjadi peningkatan tegangan sebesar 2NV. Apabila puncak tegangan masukan adalah  $V_i$ , yaitu tegangan keluaran dari generator pulsa, frekuensi generator pulsa adalah f, kapasitansi masing-masing kapasitor sama dengan C dan arus yang mengalir pada beban adalah I, maka tegangan keluaran maksimum yang dapat dicapai oleh generator Cockcroft-Walton adalah

$$V_{maks} = 2NV, \quad 1/fc(2/3 n^3 + 1/3 n^2 - 1/6 n) \quad (4)$$



Gambar 3. Rangkaian sumber tegangan tinggi dc tipe Cockcroft-Walton

Sedangkan tegangan ripple dapat ditentukan berdasarkan rumusan

$$\delta V = (I/fC) N(N+1) \quad (5)$$

### METODOLOGI

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Membuat lima buah sampel uji dari resin dengan variasi campuran perbandingan seperti dalam Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan campuran resin dengan pengeras

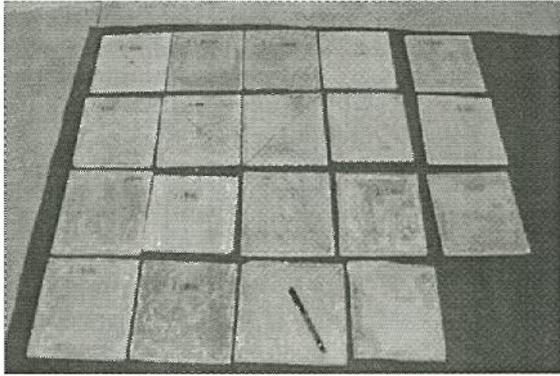
Sampel Uji	Pengeras	Resin
A	1	: 400
B	1	: 600
C	1	: 800
D	1	: 1000
E	1	: 1250

- b. Membuat cetakan dari bahan kaca dengan ukuran (200x200x2) mm.
- c. Melapisi cetakan dengan mirror glaze.
- d. Mencampur Resin dengan pengeras dengan cara diaduk secara perlahan sesuai dengan variasi setiap campuran yang telah ditentukan.

- e. Melakukan proses pencampuran resin dengan bahan pengeras sesuai perbandingan yang telah ditentukan.
- f. Menuang ke dalam cetakan kaca yang telah disiapkan secara lembut untuk menghindari banyaknya gelembung udara yang timbul.
- g. Menunggu proses pengeringan.
- h. Menggunakan elektrode jarum-jarum dan sumber tegangan tinggi untuk melakukan pengujian tegangan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sampel yang telah kering setelah dicetak selanjutnya dilakukan pengujian tembus dan flashover dengan menggunakan sumber tegangan tinggi Cockcroft-Walton. Sampel yang telah kering ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Cetakan Sampel

Langkah-langkah pengujian ini seperti dalam diagram alir pada Gambar 5. Dari Tabel 1 terlihat bahwa sampel uji yang diberi campuran pengeras dengan prosentasi yang besar memiliki kekuatan dielektrik yang rendah. Kekuatan dielektrik terus meningkat dengan semakin berkurangnya bahan pengeras yang dicampurkan. Akan tetapi dengan semakin sedikitnya campuran bahan pengeras, karakteristik sampel uji kembali memiliki kekuatan dielektrik menurun dan bersifat lembek. Dari pengujian tembus tegangan hasil uji yang terbaik adalah komposisi bahan B, yang memiliki sifat bahan yang ulet dan kekuatan dielektrik yang tinggi. Langkah pengujian seperti dalam Gambar 8. Dari Tabel 2 terlihat bahwa jarak elektrode sangat mempengaruhi besarnya tegangan flashover yang terjadi. Komposisi campuran hanya memberi pengaruh sedikit terhadap terjadinya flashover. Semakin jauh jarak elektrode dapat mengatasi flashover yang terjadi di permukaan bahan isolator.

Hasil dari pengujian tembus tegangan (breakdown) dan lewat denyar (flashover) seperti dalam Tabel 2 dan Tabel 3.

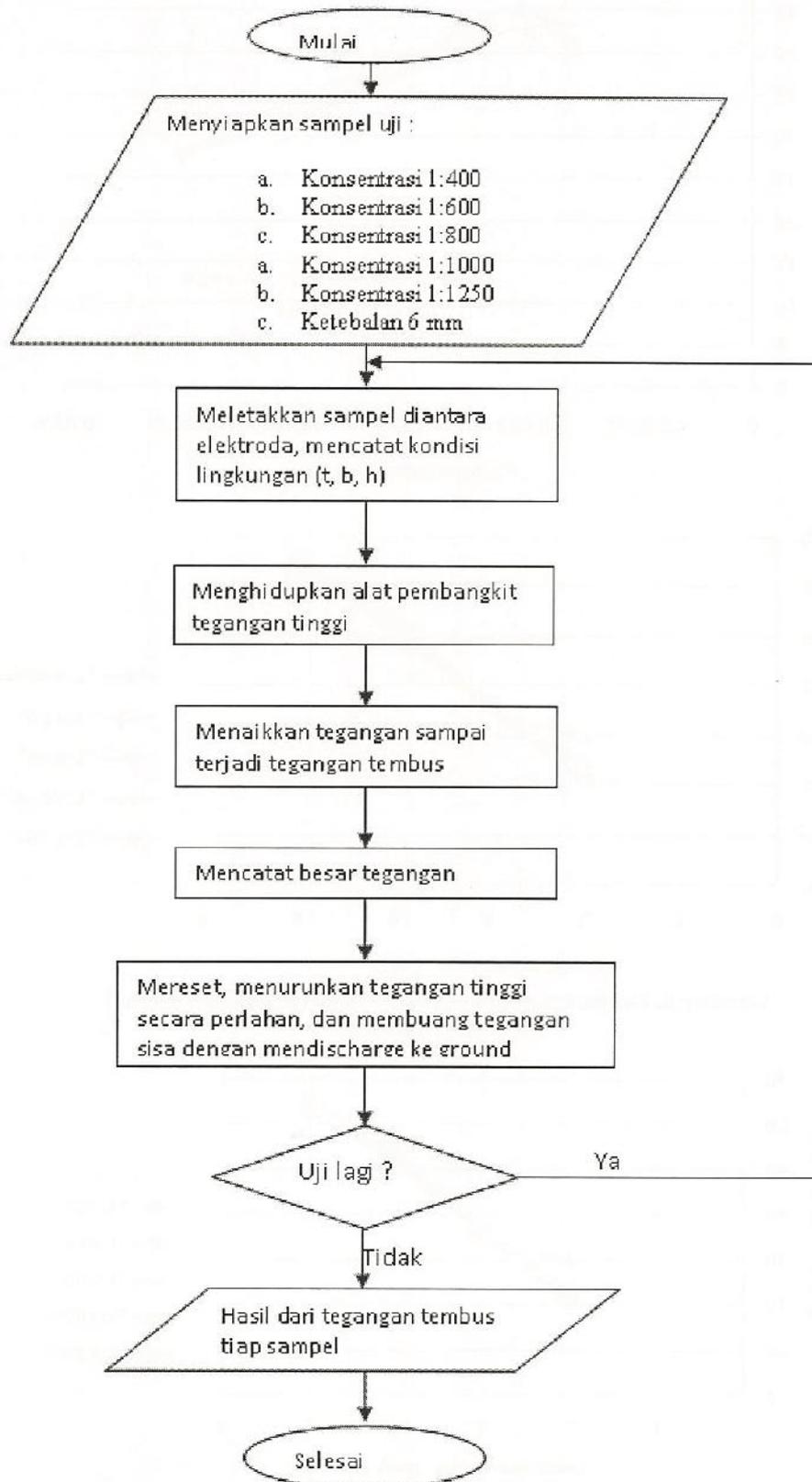
1. Pengujian Breakdown

Tabel 2 Pengujian *Breakdown*

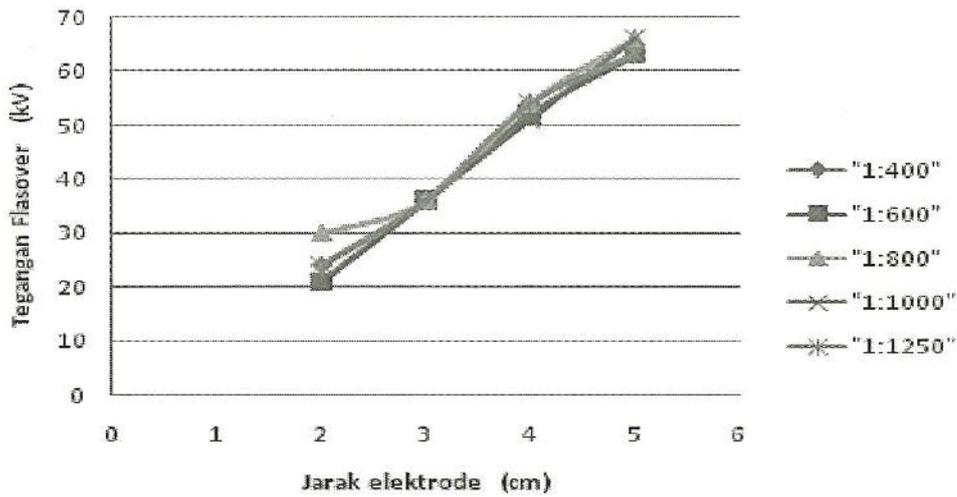
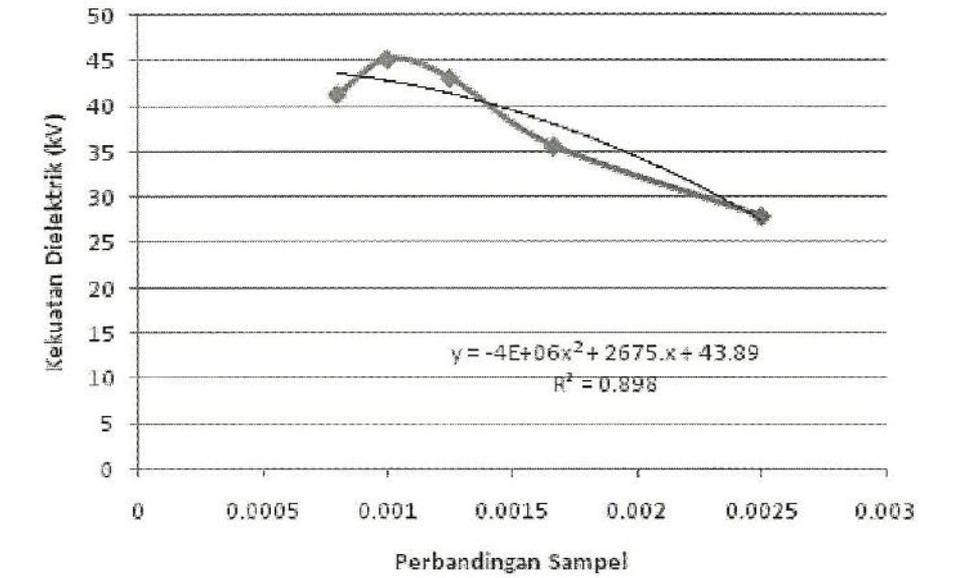
Sampel Uji	Rerata Tegangan Tembus (kV)	Kekuatan Dielektrik (kV/mm)	Kondisi Fisik
A	55,8	27,9	Keras mudah patah
B	71,4	35,7	Keras mudah patah
C	86,4	43,2	Ulet
D	90,6	45,3	Relatif Lentur
E	82,8	41,4	Lembek

Tabel 3 Hasil Pengujian *Flashover*

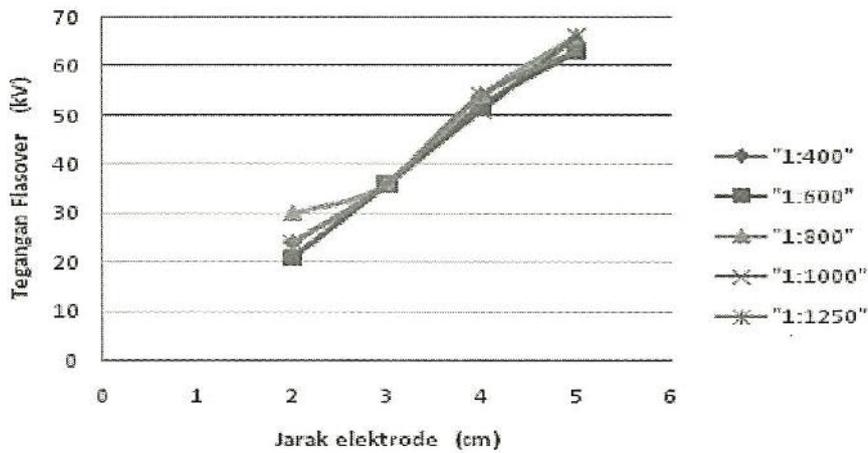
No	Jarak elektrode (cm)	Sampel uji	Tegangan Flashover (kV)
1	2	A	24
		B	21
		C	30
		D	21
		E	24
2	3	A	36
		B	36
		C	36
		D	36
		E	36
3	4	A	54
		B	52
		C	54
		D	51
		E	54
4	5	A	63
		B	63
		C	66
		D	66
		E	63



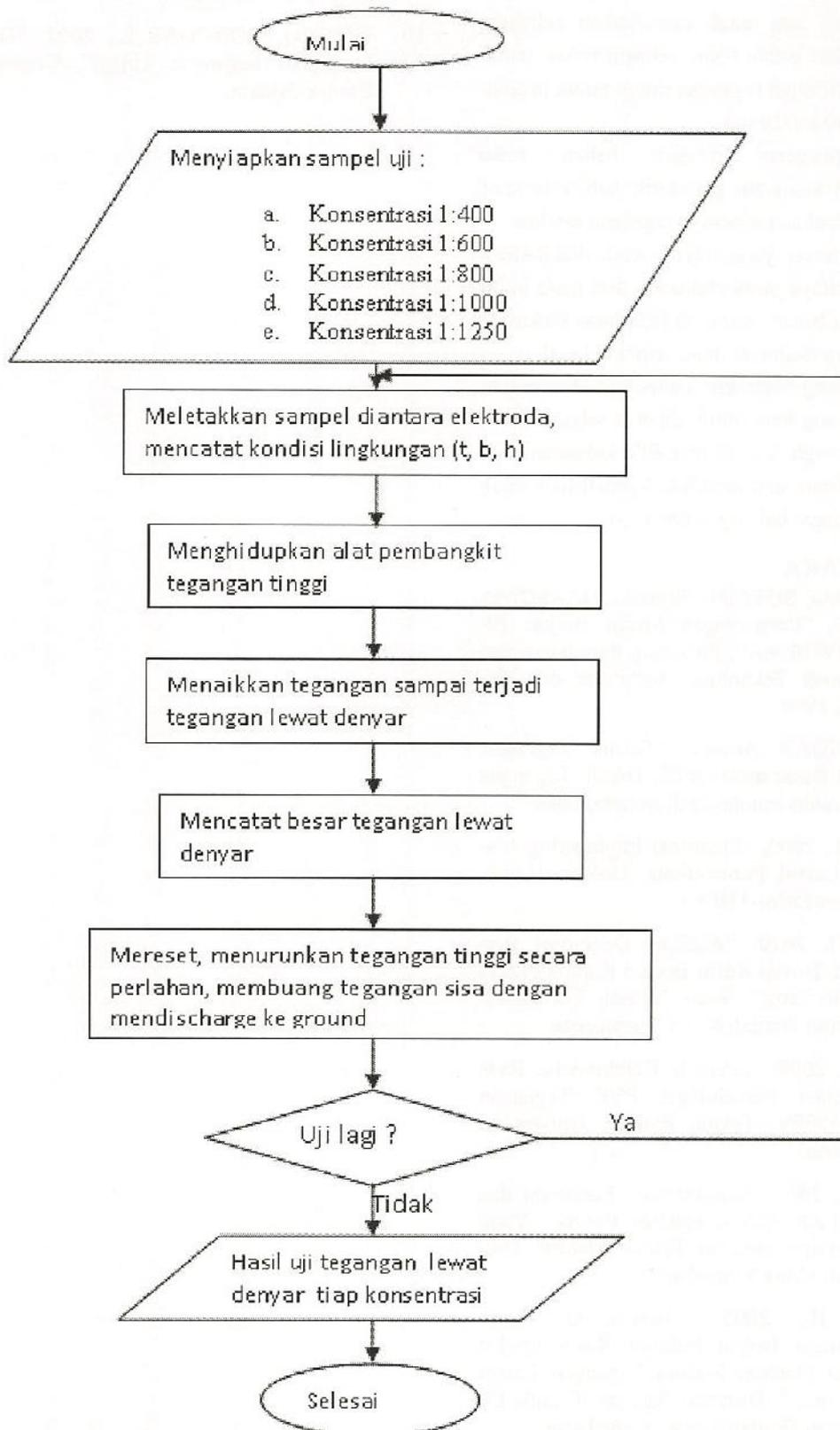
Gambar 5. Diagram Alir Pengujian *Breakdown*



Gambar 6. Grafik kekuatan dielektrik vs perbandingan sampel Pengujian Flashover



Gambar 7. Grafik Tegangan Flashover vs Jarak Elektrode



Gambar 8. Diagram Alir Pengujian *Flashover*

## KESIMPULAN

1. Telah diperoleh cara untuk menentukan kekuatan dielektrikum dari bahan resin, sebagai bahan untuk membuat feedthrough tegangan tinggi untuk irradiator elektron 300 kV/20 mA.
2. Campuran pengeras dengan bahan resin mempengaruhi kekuatan dielektrik bahan isolator yang mengakibatkan terjadinya tegangan tembus.
3. Tegangan flashover yang terjadi lebih diakibatkan oleh besar kecilnya jarak elektrode dari pada komposisi campuran bahan. Semakin jauh jarak elektrode maka terjadinya flashover akan semakin kecil.
4. Dari analisis yang dilakukan sampel uji D memiliki karakteristik yang baik untuk dipakai sebagai pembuatan feedthrough, karena memiliki kekuatan dielektrik 45,3 kV/mm dan memiliki kondisi fisik yang paling baik sebagai bahan *feedthrough*.

## DAFTAR PUSTAKA

1. SUDJATMOKO, SUTADJI Sugiarto, DARSONO, SUDIYANTO, "Perancangan Mesin Berkas Elektron 500 keV/10 mA", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi akselerator dan Aplikasinya, Juli, 1999
2. ARISMUNANDAR Artono, "Teknik Tegangan Tinggi", Guru Besar mata kuliah Teknik Tegangan Tinggi, Universitas Indonesia di Jakarta, 1984
3. R.K. RAJPUT, 2002, "Electrical Engineering Materials", 22, Laxmi Publications, Golden House, Daryaganj, New Delhi-110002
4. NURLAILATI, 2010. "Analisis Degradasi Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi Karena Proses Penjejakan dan Erosi", Tesis Jurusan Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
5. ARIFianto, 2008, "Analisis Karakteristik Pada Kabel Berisolasi Berselubung PVC Tegangan Pengenal 300/500V, Teknik Elektro, Universitas Indonesia Jakarta
6. AMRIADI, I., 2000. "Karakteristik Flashover dan Arus Bocor Pada Bahan Isolator Polimer Yang Terpolutan, Skripsi Jurusan Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta
7. BERAHIM, H., 2005. "Metodologi Untuk Mengkaji Kinerja Isolasi Polimer Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tegangan Tinggi Di Daerah Tropis", Disertasi Jurusan Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
8. International Standard IEC 60-1, "High Voltage Test Techniques", second edition 1089-11.
9. DJASIMAN, 1999. "Perancangan Osilator Daya Untuk Sumber Tegangan Tinggi Tipe Cockcroft-Walton 500 kV/20 mA", Prosiding PPITA BATAN, Yogyakarta.
10. TOBING, BONGGAS L., 2003, "Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi", Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.