

Karakteristik Tegangan Tembus Dielektrik Isolasi Vakum

Tommy Rizky Krisnadi*, Fri Murdiya**

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau**Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Pekanbaru 28293

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau

Email : tommy_1007133817@yahoo.com

ABSTRACT

The sulfur hexafluorida (SF_6) is the best insulators for high voltage. However, SF_6 has a very serious problem for the environment that this gas has make a big contribution for global warming. Of course, the study of other insulators is necessary to get the efficient insulation than SF_6 . Required alternative insulation gases such as carbon dioxide (CO_2), nitrogen (N_2) or vacuum insulation. From experiment testing with needle electrodes and sphere electrodes for vacuum pressure on -100 mmHg, -150 mmHg, -250 mmHg and -500 mmHg, respectively show the breakdown voltage is lowest than to the air pressure insulation. Then, the data from the study also found that the vacuum breakdown voltage is smaller than air. The use of linear method can show the vacuum breakdown voltage is inversely proportional to the air. But vacuum breakdown voltage is directly proportional to the distance between the needle electrode or sphere electrode.

Key words: vacuum insulation, linear method, breakdown voltage

1. PENDAHULUAN

Udara dan gas termasuk bahan isolasi yang banyak digunakan untuk mengisolasi peralatan listrik tegangan tinggi karena biayanya lebih murah dibandingkan bahan isolasi yang lainnya. Isolasi dimaksudkan untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan, sehingga antara penghantar - penghantar yang bertegangan tidak terjadi lompatan listrik (flashover) atau percikan (sparkover).

Selain udara dan gas, bahan isolator ruang hampa juga dapat digunakan untuk menjadi salah satu isolator yang efektif. Selain tidak perlu mengeluarkan banyak biaya, isolator ruang hampa juga tidak memiliki limbah yang dapat merusak lingkungan sekitar.

Ide untuk menggunakan ruang hampa untuk tujuan isolasi sangat tua. Menurut teori townsend, pertumbuhan arus pada sebuah jarak tergantung pada penyimpanan partikel bermuatan. Dalam tidak adanya partikel tersebut, seperti dalam kasus ruang hampa sempurna, harus tidak ada konduksi dan ruang hampa harus menjadi media isolasi sempurna. Namun, dalam praktiknya, kehadiran elektroda logam dan permukaan isolasi dalam ruang hampa mempersulit masalah dan, oleh karena itu, bahkan dalam ruang hampa, tegangan

yang cukup tinggi akan menyebabkan kerusakan (breakdown).

Dalam beberapa tahun terakhir sejumlah besar pekerjaan telah dilakukan untuk menentukan sifat listrik ruang hampa tinggi. Hal ini terutama ditujukan untuk menerapkan suatu media untuk berbagai aplikasi di perangkat seperti kontraktor dan penyela ruang hampa, kapasitor dan relay frekuensi tinggi, generator elektrostatis, tabung microwave, dsb. Kontakor dan pemutus sirkuit menggunakan ruang hampa sebagai isolasi menemukan peningkatan aplikasi dalam sistem tenaga.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mekanisme Kegagalan Townsend

Pada mekanisme primer, medan listrik yang ada di antara elektroda akan menyebabkan elektroda yang dibebaskan bergerak cepat, sehingga timbul energi yang cukup kuat untuk menimbulkan banjiran elektron. Jumlah elektron n_e yang terdapat dalam banjiran elektron pada lintasan sejauh dx akan bertambah dengan dne elektron, sehingga elektron bebas tambahan yang terjadi dalam lapisan dx adalah $dne = \alpha \cdot n_e \cdot dx$.

Ternyata jumlah elektron bebas dne yang bertambah akibat proses ionisasi sama besarnya dengan jumlah ion positif $dn+$ baru yang

dihasilkan, sehingga $dn_e = dn_+ = \alpha \cdot n_e \cdot dx = \alpha \cdot n_e \cdot (t) \cdot v_d \cdot dt$.

dn_+ = jumlah ion positif baru yang dihasilkan.

n_e = jumlah total elektron.

v_d = kecepatan keluyur elektro.

Pada medan uniform (α konstan, dengan syarat mula) $n_e = n_0$, $x = 0$ sehingga $n_e = n_0 e^{\alpha x}$. Jumlah elektron yang menumbuk anoda per detik sejauh d dari katoda sama dengan jumlah ion positif: $n_+ = n_0 \epsilon \alpha x$. Selanjutnya jumlah elektron yang meninggalkan katoda dan mencapai anoda:

$$n_s = \frac{n_0 e^{\alpha d}}{1 - \gamma (e^{\alpha d} - 1)}$$

Pada proses sekunder, Ion positif hasil ionisasi akan bergerak menuju katode dan dipercepat oleh medan listrik. Ketika ion positif menumbuk katode maka elektron akan dibebaskan ke luar permukaan katode dan terjadi penambahan elektron yang akan membentuk banjir muatan ruang yang lama kelamaan menjembatani terjadinya kanal peluahan antara anode-katode pada sela elektroda, sehingga terjadi tembus total.

2.2 Mekanisme Tembus Udara Menurut Streamer

Mekanisme strimer (*streamer*) menjelaskan pengembangan pelepasan percikan langsung dari banjir tunggal di mana muatan ruang (*space charge*) yang terjadi karena banjir itu sendiri mengubah banjir tersebut menjadi strimer plasma. Sesudah itu kehantaran naik dengan cepat dan kegagalan terjadi dalam alur (*channel*) banjir ini.

Ciri utama teori kegagalan streamer, di samping proses ionisasi benturan (α) *townsend*, adalah postulasi sejumlah besar fotoionisasi molekul gas dalam ruang depan strimer dan pembesaran medan listrik setempat oleh muatan ruang ion pada ujung strimer, dimana ruangan ini menimbulkan distorsi medan dalam sela. Ion-ion positif dapat dianggap stasioner dibandingkan dengan elektron-elektron yang bergerak lebih cepat, dan banjir terjadi dalam sela dalam bentuk awan elektron yang membelakangi muatan ruang ion positif.

2.3. Mekanisme Tembus Listrik Vakum Pada Isolasi Vakum Listrik

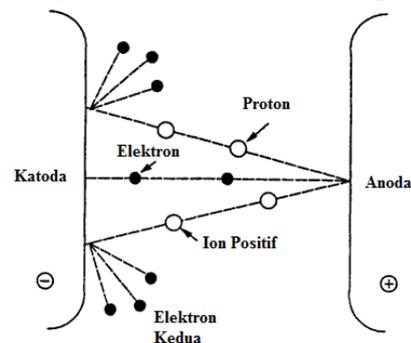
Dalam tipe *townsend* debit dalam gas, elektron bisa dikalikan karena berbagai proses ionisasi dan sebuah longSORan elektron terbentuk. Dalam ruang hampa tinggi, bahkan jika elektroda

dipisahkan oleh, katakanlah, beberapa sentimeter, elektron melintasi jarak tanpa menemui tabrakan. Oleh karena itu, perkembangan arus sebelum breakdown tidak dapat disebabkan oleh pembentukan elektron longSORan. Namun, jika gas dibebaskan dalam ruang hampa, kemudian, breakdown dapat terjadi dengan cara yang dijelaskan oleh proses *townsend*.

Selama 70 tahun terakhir atau lebih, banyak mekanisme yang berbeda untuk breakdown dalam ruang hampa telah diusulkan. Ini dapat secara luas dibagi menjadi dua kategori:

a. Mekanisme Pertukaran Partikel

Dalam mekanisme ini diasumsikan bahwa sebuah partikel bermuatan akan dipancarkan dari satu elektroda dalam aksi dari medan elektrik tinggi, dan ketika itu menimpa elektroda yang lain, membebaskan partikel bermuatan secara berlawanan. Partikel-partikel ini yang dipercepat dengan menerapkan tegangan balik pada elektroda pertama dimana mereka melepas lebih dari jenis partikel aslinya. Ketika proses ini menjadi kumulatif, sebuah rantai reaksi timbul dimana mengarah kepada breakdown dari selang tersebut.



Gambar 2.1 Mekanisme Pertukaran Partikel Tegangan Tembus Vakum

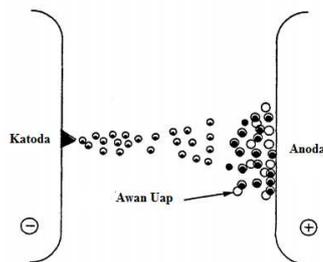
b. Teori Medan Emisi

(i) Mekanisme Pemanasan Anoda

Teori ini mendalilkan bahwa elektron dihasilkan pada mikro-proyeksi kecil pada katoda karena emisi lapangan membombardir anoda menyebabkan kenaikan lokal di suhu dan pelepasan gas dan uap ke dalam celah ruang hampa. Elektron ini mengionisasi atom-atom gas dan menghasilkan ion-ion positif.

Ion-ion positif yang tiba di katoda, meningkatkan emisi elektron primer karena pembentukan ruang muatan dan menghasilkan elektron sekunder dengan membombardir permukaan. Proses berlanjut sampai jumlah yang memadai elektron diproduksi untuk menimbulkan

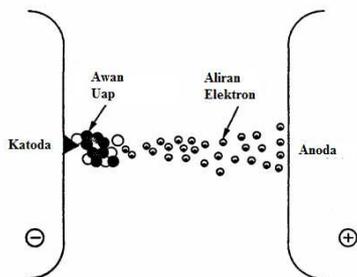
kerusakan, seperti dalam kasus *townsend* jenis debit gas tekanan rendah.



Gambar 2.2 Mekanisme Pemanasan Anoda Tegangan Tembus Vakum

(ii) Mekanisme Pemanasan Katoda

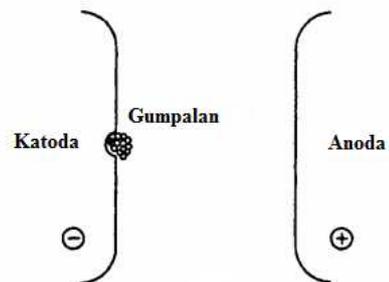
Mekanisme ini mendalilkan bahwa dekat celah tegangan breakdown, titik yang tajam pada permukaan katoda bertanggung jawab atas keberadaan arus pre-breakdown, yang dihasilkan sesuai dengan proses medan emisi dijelaskan di bawah ini. Arus ini menyebabkan pemanasan resistif di ujung titik dan ketika kepadatan arus kritis tercapai, ujung meleleh dan meledak, sehingga memulai debit ruang hampa. Mekanisme ini disebut medan emisi. Dengan demikian, inisiasi kerusakan tergantung pada kondisi dan sifat dari permukaan katoda. Bukti eksperimental menunjukkan bahwa kerusakan terjadi oleh proses ini ketika medan listrik katoda efektif adalah urutan 10^6 sampai 10^7 V/cm.



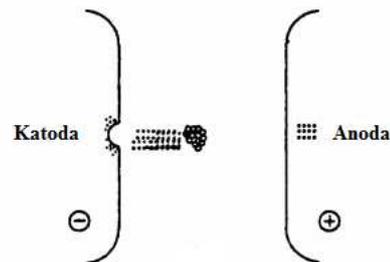
Gambar 2.3 Tegangan Tembus Disebabkan oleh Pemanasan Mikroproyektor Katoda

c. Teori Gumpalan

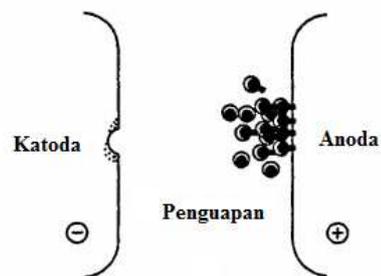
Cranberg adalah orang pertama yang mengusulkan teori ini. Dia awalnya mengasumsikan breakdown yang akan terjadi ketika energi per satuan luas, W , dikirim ke elektroda target dengan gumpalan melebihi nilai C , sebuah konstanta, karakteristik dari sepasang elektroda tertentu. Kuantitas W adalah produk dari tegangan celah (V) dan kerapatan muatan pada gumpalan. Yang terakhir adalah sebanding dengan medan listrik E pada elektroda asal.



Gambar 2.4. Pembentukan Gumpalan di Permukaan Katoda



Gambar 2.5. Gumpalan Melepaskan dari Katoda dan Bergerak Menuju Anoda Melalui Jarak Sela



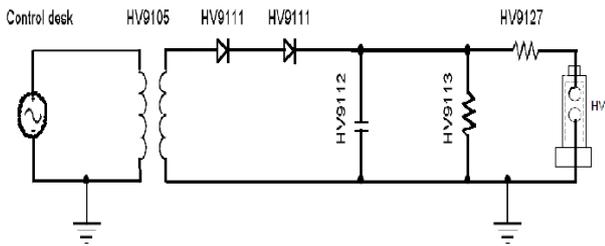
Gambar 2.6. Dampak Menempelnya Gumpalan Membentuk Awan Uap Logam

3 METODE PENELITIAN

3.1. Cara dan Alat

Untuk mencapai tujuan dari penelitian ini digunakan metode *eksperimen* yang mana data-data tersebut didapat dari hasil pengukuran sesuai dengan parameter-parameter yang telah ditetapkan dalam penelitian ini. Langkah-langkah yang dilakukan dalam *eksperimen* tersebut terutama adalah:

1. Mengatur sela elektroda.
2. Menghisap gas didalam tabung uji sehingga mendapatkan tekanan vakum tertentu.
3. Pengujian tegangan tembus pada isolasi vakum dengan tekanan vakum yang telah ditentukan.



Gambar 3.1. Rangkaian Percobaan tegangan Tembus Vakum

Selain dengan menggunakan isolasi vakum, pengujian juga menggunakan isolasi udara bertekanan dan udara untuk sebagai pembanding. Untuk udara bertekanan, menggunakan alat tabung uji HV 1935 dan untuk tegangan tembus isolasi udara menggunakan HV 1933.



Gambar 3.2. Tabung Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Vakum dan Udara Bertekanan



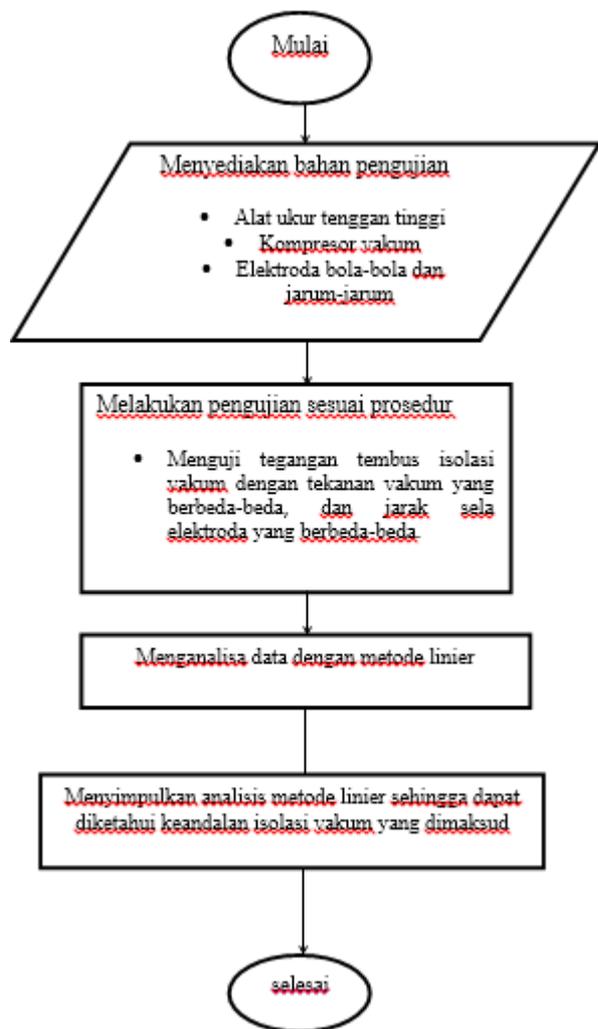
Gambar 3.3. Alat Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Udara

Dalam pengujian tegangan tembus isolasi, digunakan elektroda bola-bola dan jarum jarum yang di atur jarak selanya sesuai dengan yang di inginkan.



Gambar 3.4. Elektroda Bola-Bola dan Elektroda Jarum-Jarum

3.2. Diagram Alir



4. HASIL DAN ANALISA

Pada penelitian ini juga menghitung pengaruh tegangan tembus terhadap suhu udara dan tekanan udara sekitar pengujian. Pengaruh ini dapat dicari dengan menggunakan persamaan faktor koreksi keadaan udara sebagai berikut:

$$V_s = \frac{V_b}{d}$$

$$d = \frac{0,386 \times b_B}{273 + t_B}$$

Dimana:

V_s = tegangan lompatan pada keadaan standar

V_b = tegangan lompatan yang diukur pada keadaan sebenarnya

d = kepadatan udara relatif (*relative air density*)

b_B = tekanan udara pada waktu pengujian (mm Hg)

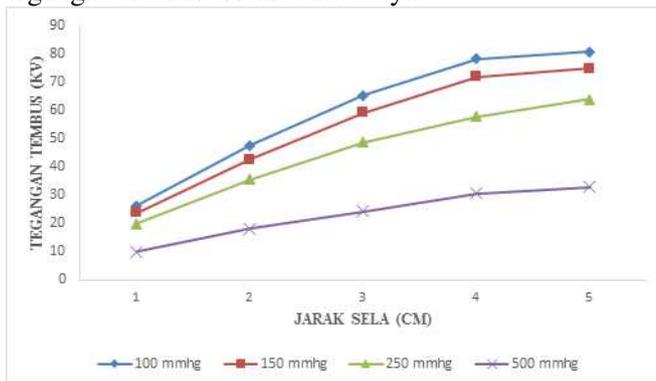
t_B = suhu keliling pada waktu pengujian (0° C).

4.1. Rata-rata Tegangan Tembus Sebenarnya Isolasi Vakum Elektroda Bola-Bola

Tekanan Vakum (mmhg)	Jarak Sela				
	1 cm (KV)	2 cm (KV)	3 cm (KV)	4 cm (KV)	5 cm (KV)
-100	26.26213	47.57282	65.35112776	78.1497032	80.68070223
-150	23.81525	42.60014	59.0387696	71.8598555	74.76598936
-250	19.88712	35.67492	48.62684781	57.7784579	63.7915367
-500	9.5755	17.3265	23.21	29.3715	31.477

Tabel 4.1. Rata-rata Tegangan Tembus Isolasi Vakum Elektroda Bola-Bola

Maka dari tabel 4.1 diatas, dapat dibuat karakteristik tegangan tembus isolasi vakumnya.



Gambar 4.1. Karakteristik Tegangan Tembus Isolasi Vakum dengan Elektroda Bola-Bola

Dari kurva gambar 4.1 dapat dilihat karakteristik tegangan tembus isolasi vakum untuk elektroda bola-bola bahwa pada saat jarak sela elektroda 1 cm dengan tekanan -100 mmhg tegangan tembusnya 26.26213 KV dan pada tekanan -500 mmhg tegangan tembusnya akan turun dengan tegangan 9.5755 KV. Pada jarak sela 2 cm dengan tekanan -100 mmhg tegangan tembusnya mencapai 47.57282 KV dan pada

tekanan -500 mmhg, tegangan tembusnya menjadi 17.3265 KV. Pada jarak sela elektroda 3 cm dengan tekanan vakum -100 mmhg tegangan tembusnya 65.35112776 KV dan tekanan vakum -500 mmhg tegangan tembusnya menjadi 23.21 KV. Pada jarak sela 4 cm dengan tekanan vakum -100 mmhg tegangan tembusnya 78.1497032 KV dan pada tekanan vakum -500 mmhg tegangan tembusnya 29.3715 KV. Pada jarak sela 5 cm dengan tekanan vakum -100 mmhg tegangan tembusnya 80.68070223 KV dan tekanan -500 mmhg tegangan tembusnya menjadi 31.477 KV. Tegangan tembus akan semakin meningkat jika jarak selanya semakin jauh.

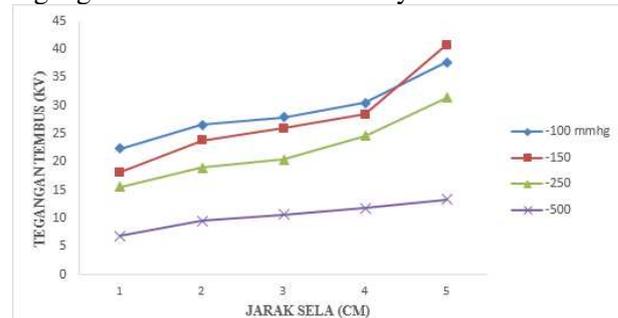
Dari pernyataan diatas, dapat kita simpulkan bahwa karakteristik tegangan tembus isolasi vakum, pada elektroda bola-bola sangat berpengaruh terhadap tekanan vakum dan jarak sela elektroda. Tekanan vakum berbanding terbalik dengan tegangan tembus dan jarak sela elektroda berbanding lurus dengan tegangan tembus, jadi apabila tekanan gas dinaikan maka tegangan tembus akan turun, tetapi jika jarak sela ditambah maka tegangan tembusnya akan naik.

4.2. Rata-rata Tegangan Tembus Sebenar Isolasi Vakum Elektroda Jarum-Jarum

Tekanan Vakum	Jarak Sela				
	1 cm (KV)	2 cm (KV)	3 cm (KV)	4 cm (KV)	5 cm (KV)
-100	22.36534	26.57754	27.9229	30.49059	37.65743
-150	18.21602	23.78935	25.94133	28.40029	40.74388
-250	15.58233	19.03842	20.407	24.5971	31.45462
-500	6.91982	9.599802	10.69254	11.80846	13.36568

Tabel 4.2. Rata-rata Tegangan Tembus Isolasi Vakum Elektroda Jarum-Jarum

Maka dari tabel 4.2, dapat dibuat karakteristik tegangan tembus isolasi vakumnya.



Gambar 4.2. Karakteristik Tegangan Tembus Isolasi Vakum dengan Elektroda Jarum-Jarum

Dari kurva gambar 4.2 dapat dilihat karakteristik tegangan tembus isolasi vakum pada elektroda jarum-jarum bahwa jika jarak elektroda 1 cm dengan tekanan vakum -100 mmhg, tegangan tembusnya 22.36534 KV dan pada tekanan -500 mmhg tegangan tembusnya akan turun menjadi

6.91982 KV. Pada jarak sela 2 cm dengan tekanan vakum -100 mmhg, tegangan tembusnya 26.57754 KV dan pada -500 mmhg, tegangan tembusnya menjadi 9.599802 Kv. Pada jarak sela elektroda 3 cm dengan tekanan vakum -100 mmhg tegangan tembusnya 27.9229 KV dan tekanan vakum -500 mmhg tegangan tembusnya menjadi 10.69254 KV. Pada jarak 4 cm dengan tekanan vakum -100 mmhg, tegangan tembusnya menjadi 30.49059 KV dan pada tekanan vakum -500 mmhg, tegangan tembusnya menjadi 11.80846 KV. Pada jarak sela 5 cm dengan tekanan vakum -100 mmhg, tegangan tembusnya menjadi 37.65743 KV dan pada tekanan vakum -500 mmhg, tegangan tembusnya menjadi 13.36568 KV.

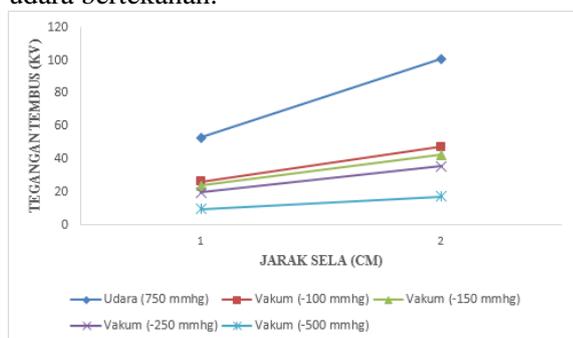
Dari pernyataan diatas, dapat kita simpulkan bahwa karakteristik tegangan tembus isolasi vakum pada elektroda jarum-jarum sangat berpengaruh terhadap tekanan gas dan jarak sela elektroda. Tekanan vakum berbanding terbalik dengan tegangan tembus dan jarak sela elektroda berbanding lurus dengan tegangan tembus, jadi apabila tekanan vakum dinaikan maka tegangan tembus akan turun, dan jika jarak sela ditambah, maka tegangan tembusnya akan naik.

4.3. Perbandingan Tegangan Tembus Vakum dengan Udara Bertekanan Elektroda Bola-Bola

Tekanan (mmhg)	Jarak Sela	
	1 cm (KV)	2 cm (KV)
Udara (750)	53.1783844	100.866965
Vakum (-100)	26.2621277	47.5728249
Vakum (-150)	23.81524863	42.6001443
Vakum (-250)	19.88712252	35.6749176
Vakum (-500)	9.5755	17.3265

Tabel 4.3. Perbandingan Tegangan Tembus Vakum dengan Udara Bertekanan Elektroda Bola-Bola

Maka dari tabel 4.3, dapat dibuat karakteristik perbandingan tegangan tembus isolasi vakum dan udara bertekanan.



Gambar 4.3 Karakteristik Perbandingan Tegangan Tembus Vakum dan Udara Bertekanan

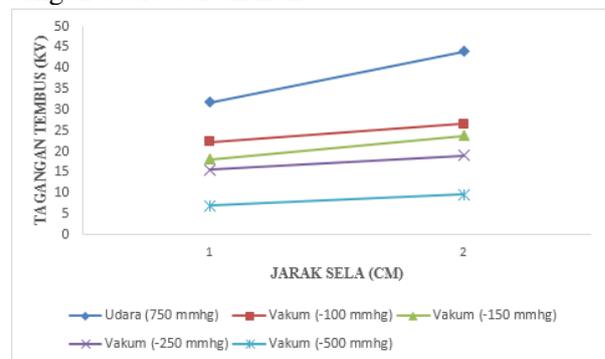
Dari kurva gambar 4.3 dapat dilihat karakteristik perbandingan tegangan tembu isolasi vakum dengan udara bertekanan untuk elektroda bola-bola. Untuk isolasi udara bertekanan, terlihat lebih curam kurva pada saat jarak sela 1 cm dan 2 cm. Sedangkan pada kurva karakteristik tegangan tembus isolasi vakum, kurva lebih landai dengan perubahan yang tidak begitu mencolok. Untuk jarak sela, di sini terlihat semakin jauh jarak sela elektroda, semakin besar tegangan tembusnya, begitu juga sebaliknya.

4.4. Perbandingan Tegangan Tembus Vakum dengan Udara Bertekanan Elektroda Jarum-Jarum

Tekanan (mmhg)	Jarak Sela	
	1 cm (KV)	2 cm (KV)
Udara (750)	31.8015	43.988
Vakum (-100)	22.36534	26.57754
Vakum (-150)	18.21602	23.78935
Vakum (-250)	15.58233	19.03842
Vakum (-500)	6.91982	9.599802

Tabel 4.4. Perbandingan Tegangan Tembus Vakum dengan Udara Bertekanan Elektroda Jarum-Jarum

Maka dari tabel 4.4, dapat dibuat karakteristik perbandingan tegangan tembus isolasi Vakum dengan udara bertekanan.



Gambar 4.4. Karakteristik Perbandingan Tegangan Tembus Isolasi Vakum dengan Udara Bertekanan Elektroda Jarum-Jarum

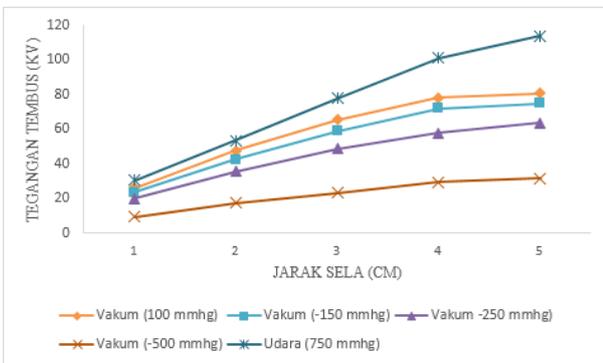
Dari kurva gambar 4.4 dapat dilihat karakteristik perbandingan tegangan tembu isolasi vakum dengan udara bertekanan untuk elektroda jarum-jarum. Untuk isolasi udara bertekanan, terlihat lebih curam kurva pada saat jarak sela 1 cm dan 2 cm. Sedangkan pada kurva karakteristik tegangan tembus isolasi vakum, kurva lebih landai dengan perubahan yang tidak begitu mencolok. Untuk tekanan vakum -150, kurvanya lebih curam dibandingkan dengan kurva vakum yang lainnya. Untuk jarak sela, di sini terlihat semakin jauh jarak

sela elektroda, semakin besar tegangan tembusnya, begitu juga sebaliknya.

4.5. Perbandingan Tegangan Tembus Isolasi Vakum dengan Udara Elektroda Bola-Bola

Tekanan Vakum	Jarak Sela				
	1 cm (KV)	2 cm (KV)	3 cm (KV)	4 cm (KV)	5 cm (KV)
-100	26.26213	47.57282	65.35112776	78.1497032	80.68070223
-150	23.81525	42.60014	59.0387696	71.8598555	74.76598936
-250	19.88712	35.67492	48.62684781	57.7784579	63.7915367
-500	9.5755	17.3265	23.21	29.3715	31.477
Udara	30.67346	53.60809	77.75551792	101.085159	113.7930874

Tabel 4.5. Perbandingan Tegangan Tembus Isolasi Vakum dengan Udara Elektroda Bola-Bola
Maka dari tabel 4.5, dapat dibuat karakteristik perbandingan tegangan tembus isolasi vakum dan udara.



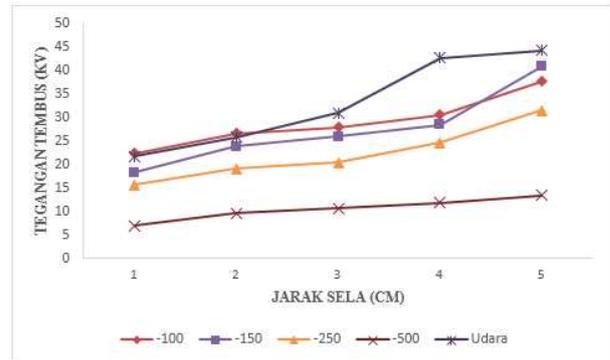
Gambar 4.5. Karakteristik Perbandingan Tegangan Tembus Vakum dan Udara Elektroda Bola-Bola

Dari gambar 4.5, perbandingan tegangan tembus isolasi vakum dengan isolasi udara sekitar. Dari kurva tersebut dapat dilihat bahwa kurva isolasi udara lebih curam dibanding dengan isolasi vakum. Sedangkan isolasi vakum lebih stabil. Pada tekanan vakum -500 mmhg, tegangan tembus vakum tidak terlalu banyak mengalami perubahan dibandingkan dengan tegangan tembus vakum lainnya. Untuk jarak sela, semakin jauh jarak sela, maka tegangan tembusnya akan semakin tinggi.

4.6. Perbandingan Tegangan Tembus Isolasi Vakum dengan Udara Elektroda Jarum-Jarum

Tekanan Vakum	Jarak Sela				
	1 cm	2 cm	3 cm	4 cm	5 cm
-100	22.36534	26.57754	27.9229	30.49059	37.65743
-150	18.21602	23.78935	25.94133	28.40029	40.74388
-250	15.58233	19.03842	20.407	24.5971	31.45462
-500	6.91982	9.599802	10.69254	11.80846	13.36568
Udara	21.71688	25.71653	30.93499	42.64908	44.15013

Tabel 4.6. Perbandingan Tegangan Tembus Isolasi Vakum dengan Udara Elektroda Jarum-Jarum
Maka dari tabel 4.6, dapat dibuat karakteristik perbandingan tegangan tembus isolasi vakum dengan udaranya.



Gambar 4.6. Karakteristik Perbandingan Tegangan Tembus Vakum dengan Udara Elektroda Jarum-Jarum

Dari gambar 4.6, perbandingan tegangan tembus isolasi vakum dengan tegangan tembus isolasi udara sekitar, dapat kita lihat bahwa isolasi udara lebih tinggi tegangan tembusnya dibandingkan dengan tegangan tembus vakum. Grafik yang di tunjukan isolasi udara lebih curam dibandingkan dengan tegangan tembus vakum. Jarak sela sangat mempengaruhi perubahan tegangan tembus. Semakin jauh jarak sela, maka semakin besar tegangan tembusnya. Pada kurva tegangan tembus vakum -150 mmhg, terjadi lompatan tegangan yang cukup besar di jarak sela 5 cm.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Pada penelitian ini menggunakan tegangan tinggi DC polaritas positif.
2. Hasil penelitian, tekanan vakum sangat berpengaruh pada tegangan tembus, karena semakin tinggi tekanan vakum, maka tegangan tembusnya semakin rendah
3. Dari hasil penelitian, jarak sela sangat berpengaruh terhadap tegangan tembus. Semakin jauh jarak sela elektroda maka tegangan tembusnya juga akan naik.
4. Pada kurva karakteristik tegangan tembus dapat dilihat bahwa pada elektroda bola-bola kurvanya lebih curam dibandingkan kurva elektroda jarum-jarum, karena pada elektroda bola-bola tegangan lebih besar jaraknya, sedang akan pada elektroda jarum-jarum tegangan tembusnya tidak terlalu jauh.
5. Perbandingan dengan udara pada penelitian ini tegangan tembusnya tidak terlalu jauh berbeda, namun pada tekanan vakum -500 mmhg, tegangan tembusnya cukup jauh meninggalkan tegangan tembus udara.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan media lain, media gas atau dengan menggunakan campuran gas lain.
2. Diharapkan juga pada penelitian selanjutnya menggunakan tegangan tinggi DC dengan polaritas negatif ataupun menggunakan tegangan AC.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Arismunandar, "Teknik Tegangan Tinggi Suplemen", Galia Indonesia, 1983
- C. Mayonx and C. Laurent, "Contribution of PD to Electrical Breakdown of Solid Insulation Material", IEEE Trans on Dielectrics and Electrical Insulation, August 1995, vol. 2 No. 4, p.641
- Manjang, Salama. Dr. Ir. "Modul Perkuliahan : Kegagalan Isolasi Pada Benda Gas". Makasar : Universitas Hassanudin.
- Tadjuddin. 1998. *Partial Discharge dan Kegagalan Bahan Isolasi*, (online), (<http://elektroindonesia.com/elektro/energi13.html>, diakses 23 Agustus 2016).
- Teguh Prihatmolo, Sasmito. "Pengukuran Tegangan Tembus Dielektrik Udara Pada Berbagai Sela Dan Bentuk Elektroda Dengan Variasi Temperatur Sekitar". Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektroteknik Universitas Diponegoro Semarang.
- Naidu M.S. dan Kamaraju V, 1995. *High Voltage Engineering second Edition*, Mc. Graw Hill, Boston
- Matsui, Yoshihiko, 2006. "Development and Technology of High Voltage VCB's : Brief History and State of Art". Shizuoka, Japan
- I Made Indra Wijaya, *Karakteristik Korona Dan Tegangan Tembus Isolasi Minyak Pada Konfigurasi Elektroda Jarum-Plat*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Bonggas L Tobing, 2012. *Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, edisi kedua*, Erlangga, Jakarta.
- Wildan Rahadian Putra, I Made Yulistya Negara, IGN Satriyadi, *Pengaruh Bentuk dan Material Elektrode terhadap Partial Discharge*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015
- Abdul Syakur, Mochammad Facta, 2005, *Perbandingan Tegangan Tembus Media Isolasi Udara Dan Media Isolasi Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Bidang-Bidang*, Semarang: Universitas Diponegoro
- Y. Matsui, H. Saitoh, K. Nagatake, H. Ichikawa and M. Sakaki. "Development of Eco-friendly 72/84kV Vacuum Circuit Breakers", Proc. Of ISDEIM, vol.3, 2005, Japan
- Ide Naotaka, Tanaka Osamu, Yanabu Satoru, Kaneko Shuhei, Okabe Shigemitsu, "Interruption Characteristics of Double-Break Vacuum Circuit Breakers", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol.4, 2008, Japan
- Shipp David, Dionise Thomas, "Vacuum Circuit Breaker Transients During Switching of an LMF Transformer", IEEE Transaction on Industry Application, United State of America.