

Karakteristik Pengujian Tegangan Tembus Isolasi Gas Nitrogen Dan Karbon Dioksida Menggunakan Tegangan Tembus Dc Polaritas Negatif

Andre Chandra¹⁾, Fri Murdiya²⁾

¹⁾Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro S1, ²⁾Dosen Teknik Elektro
Laboratorium Tegangan Tinggi
Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. H.R.Soebrantas Km 12,5 Simpang Baru Panam,
Pekanbaru, Riau
28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Email: andrechandra36@gmail.com

ABSTRACT

This research is focus on the comparison of breakdown voltage between CO₂ and N₂. In this experiment, the condition of gas pressures were at 1 bar, 2 bar, 3 bar and 4 bar respectively. Configuration of the choosen electrodes were needles and spheres electrodes. Breakdown voltage value for both gases were proportional with gas pressure. It shows that the breakdown voltage of N₂ is higher than CO₂ on the gas pressure condition 4 bar and gap of needles electrodes 1 cm. The same thing is shown by condition on the gap of spheres electrodes 1 cm and gas pressure 4 bar, whereas breakdown voltage of N₂ is also higher than CO₂. The breakdown voltages value for the gap of spheres electrodes 1 cm and gas pressure 4 bar reaches the highest value at 137.07 kV/cm and 121.49 kV/cm for N₂ and CO₂ respectively. This research also varies gas pressure and gap between electrodes. It shows that the breakdown voltage of N₂ is also higher than CO₂ for all conditions.

Keywords— DC Negative Polarity, Electrodes, Isolator, CO₂, N₂, Breakdown Voltage

1. Pendahuluan

Berbagai peralatan kerja yang digunakan dalam sistem kerja memerlukan alat pelindung dan pengaman (isolasi) yang berfungsi melindungi pekerja dari bahaya yang ditimbulkan. Isolasi digunakan sebagai pemisah kawat-kawat penghantar listrik bertegangan agar lompatan listrik atau percikan tidak terjadi diantara keduanya. Terlepasnya muatan dapat mengakibatkan tegangan berlebih diantara kawat-kawat penghantar listrik dan menyebabkan terjadinya kegagalan listrik pada bahan isolasi sehingga pelindung pada alat akan hilang dan terjadinya tembus pada sistem. Hal ini menyebabkan terjadinya kerusakan peralatan dan gangguan pada sistem.

Beberapa faktor yang mempengaruhi daya tahan suatu isolasi dalam menahan tegangan antara lain material penyusun, lingkungan dan faktor lainnya

Karakteristik SF₆ berupa isolator gas yang biasa digunakan dalam peralatan listrik tegangan tinggi memiliki keunggulan seperti inert, tidak beracun, dan memiliki keelektronegatifan yang besar sehingga SF₆ mampu menangkap elektron bebas (sebagai pembawa muatan). Namun, gas SF₆ tidak ramah lingkungan dan sangat berdampak terhadap pemanasan global (Pardede, 2015). Efek buruk pemanasan global bagi lingkungan mendorong peneliti mencari gas alternatif yang ramah lingkungan dan berpotensi sebagai pengganti gas Sulfur Hexafluoride (SF₆).

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besar nilai tegangan tembus (*breakdown voltage*) dan mencari efek DC polaritas negatif terhadap kekuatan dielektrik dari dua jenis gas, yaitu gas CO₂ dan N₂ dengan memfokuskan penggunaan elektroda bola-bola dan jarum-jarum untuk kedua gas ini.

2. Landasan Teori

2.1. Tegangan Tinggi

Tegangan tinggi dapat mengalami pelepasan muatan (*discharge*) atau kegagalan karena adanya tekanan pada dielektrik saat isolasi sehingga menyebabkan hilangnya tegangan sekaligus mengalirkan arus. Terdapat dua jenis pelepasan muatan pada tegangan tinggi, yaitu percikan api (*spark-over*) yang terjadi pada udara atau gas yang tidak menyangkut permukaan isolasi dan lompatan api (*flashover*) yaitu percikan api atau gas di sepanjang permukaan isolasi. Kegagalan ini menandakan telah terjadinya tembus listrik.

2.2. Isolasi

Isolasi digunakan sebagai pemisah kawat-kawat penghantar listrik bertegangan agar lompatan listrik atau percikan tidak terjadi diantara keduanya. Bahan isolasi akan mengalami pelepasan muatan (kegagalan listrik) apabila tegangan yang diberikan melampaui kekuatan isolasinya. Kegagalan yang terjadi pada saat peralatan sedang beroperasi bisa menyebabkan kerusakan alat sehingga kontinuitas sistem terganggu (Syakur dan Facta, 2011).

2.2.1 Isolasi Gas

Kemampuan gas yang cukup baik dalam bidang kelistrikan menyebabkan gas dimanfaatkan sebagai bahan isolasi karena cukup baik dalam memadamkan busur api dan mencegah terjadinya tegangan tembus pada peralatan listrik. Isolator dengan media isolasi gas dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV.

Beberapa gas yang umum digunakan dalam isolasi gas antara lain, gas Sulfur Hexafluoride (SF_6), Nitrogen (N_2) dan Karbondioksida (CO_2). Sifat gas SF_6 murni yang inert (Casanovas dan Casanovas, 2005), tidak berwarna, berbau, dan beracun, serta tidak mudah terbakar (Yulistiawan, 2015) dan dapat mengembalikan kekuatan dielektrik dengan cepat, tidak terbentuk karbon selama terjadi busur api dan tidak menimbulkan bunyi pada saat pemutus tenaga menutup atau membuka (Yulistiawan, 2012) serta kekuatan dielektriknya yang 2 hingga 3 kali lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan dielektrik udara menjadi

landasan banyaknya penggunaan SF_6 pada peralatan tegangan tinggi. Namun, gas SF_6 tidak ramah lingkungan karena serapan inframerah yang kuat dan memiliki potensi pemanasan global sangat tinggi (Global Warming Potential/GWP = 23900).

Tabel 2.1 Sifat-sifat dari Isolasi Gas

	N_2O	CO_2	N_2	O_2	SF_6
Molecular Weight	44,01	44,01	28,01	32	146,06
GWP	320	1	0	0	23900
Boiling Point [K]	184	194	77	90	209
E_a [KV/mm]	5,0	2,25	-	2,71	8,9

Sumber : Hiroki Kozima (2007)

2.2.2 Kegagalan Isolasi Gas

Percikan (*spark breakdown*) atau kegagalan dalam udara adalah peralihan dari peluahan tak bertahan sendiri ke berbagai jenis peluahan yang bertahan sendiri. Sifat mendasar dari kegagalan percikan ini adalah tegangan pada sela antara elektroda akan menurun karena adanya proses yang menghasilkan konduktifitas tinggi antara anoda dan katoda.

Tegangan atau medan elektrik yang menyebabkan isolator kehilangan sifat isolasinya sehingga terjadinya pengaliran arus disebut tegangan tembus. Jarak sela, bentuk elektroda, bentuk permukaan elektroda yang diberi polaritas tertentu mempengaruhi tegangan tembus yang terjadi. Adanya perubahan kerapatan udara dan kuat medan listrik yang ada disekitar elektroda saat proses terjadinya tegangan tembus menjadi penyebab tegangan tembus tersebut terjadi (L.Kumara, 2011)

2.3 Kekuatan Dielektrik

Kekuatan dielektrik tergantung pada sifat atom, molekul bahan itu sendiri, material elektroda, suhu dan jenis tegangan yang diberikan. Suatu dielektrik tidak mempunyai elektron-elektron bebas, melainkan elektron-elektron yang terikat pada inti atom unsur yang membentuk dielektrik tersebut. Jika medan elektrik diantara dua elektroda diberi suatu tegangan, maka medan elektrik akan memberi gaya kepada elektron-elektron agar terlepas dari ikatannya dan menjadi elektron bebas. Elektron awal dapat muncul dalam gas melalui berbagai cara seperti akibat radiasi kosmik, eksitasi termal

atau elektron dari permukaan katoda akibat berbagai proses radiasi atau emisi medan.

Ketersediaan elektron awal di dalam gas dengan medan listrik yang cukup besar akan menyebabkan elektron bergerak dipercepat dan memperoleh energi kinetik yang besar. Energi kinetik besar yang dimiliki elektron memungkinkan mengionisasi molekul/atom gas bila bertumbukan dan mengakibatkan munculnya elektron kedua. Kedua elektron akan memulai proses serupa untuk menghasilkan dua elektron baru dan seterusnya sehingga di dalam gas akan terjadi penggandaan elektron secara eksponensial atau disebut *avalanche*.

2.4 Tembus Listrik

Tegangan tembus merupakan suatu keadaan terionisasinya atom saat tegangan terus menerus dinaikkan. Pengujian terhadap tegangan tembus diperlukan untuk mengetahui titik kritis dari suatu isolasi (Nur Sugeng & Hamzah Berahim, 2009).

Terdapat 2 teori mengenai mekanisme tembus listrik pada udara, yaitu mekanisme Townsend yang hanya berlaku pada medan listrik seragam dan mekanisme Streamer yang berlaku pada medan listrik seragam maupun tidak seragam. (Valentino Tarigan, 2016).

2.4.1 Mekanisme Townsend

Mekanisme townsend menjelaskan kegagalan yang hanya terjadi pada tekanan yang rendah dibawah tekanan atmosfer yang digunakan di daerah yang sempit dan mempunyai tekanan rendah pada jarak sela antara kedua plat sejajar.

2.4.2 Mekanisme Streamer

Mekanisme streamer berlaku pada medan listrik seragam maupun tidak seragam. Udara yang berada di antara dua plat sejajar yang diberi tegangan akan mengalami terpaan medan listrik sebesar E_0 yang seragam.

2.5 Gas Karbondioksida

Karbondioksida (CO_2) merupakan gas residu dari proses respirasi makhluk hidup dan cukup banyak di alam. Karakteristik karbondioksida antara lain tidak berbau, tidak berasa, dan tidak berwarna, tidak dapat terbakar, dapat mematikan nyala api serta larut dalam air. Namun, jumlahnya yang tinggi dapat

membahayakan manusia sehingga menyebabkan hilang kesadaran.

Penggunaan karbondioksida sebagai alternatif pengganti gas SF_6 dikarenakan sifatnya yang nontoksik, inert dan memiliki nilai *global warming potential* (GWP) 1 sehingga lebih ramah terhadap lingkungan. Beberapa sifat karbondioksida lainnya adalah:

- Resistivitas Termal $6880 C^0/W/cm^3$
- Tegangan tembus rendah yaitu $157 V/cm^3$
- Permitivitas relatif pada suhu 0^0C adalah 1,000985

2.6. Gas Nitrogen

Gas Nitrogen (N_2) memiliki ketersediaan mencapai 78% dari 4000 triliun ton gas di alam Nitrogen, pada tabel periodik dengan lambang N dan nomor atom 7 umumnya ditemukan dalam bentuk gas tanpa warna, tanpa bau dan rasa dan merupakan gas diatomik serta sulit bereaksi dengan unsur atau senyawa lain. Nitrogen memiliki karakter inert, tidak beracun dan memiliki nilai *global warming potential* (GWP) 0. Hal ini menjadi salah satu landasan penggunaan nitrogen sebagai alternatif pengganti gas SF_6 untuk isolator gas.

Kekuatan dielektrik dari gas nitrogen dipengaruhi oleh tekanan dimana semakin besar tekanan suatu gas maka semakin besar pula kekuatan dielektriknya.

Tabel 2.2. Tabel kekuatan dielektrik beberapa jenis gas

Jenis Gas	Massa Jenis [kg/m ³]	Konduktivitas Panas [cal/sec/m ⁰ C]	Tegangan Tembus [kV/cm]
Udara	1,228	5×10^{-5}	30
SF_6	6,139	$1,9 \times 10^{-5}$	75
Nitrogen	1,191	$5,4 \times 10^{-5}$	30
Karbondioksida	1,867	$3,2 \times 10^{-5}$	27
Hidrogen	0,086	$3,3 \times 10^{-5}$	18

2.7 Faktor Koreksi Udara

Hasil pengujian dielektrik udara dipengaruhi kondisi udara sekitar. Karena itu, hasil pengujian ketika udara dalam keadaan standar perlu dinyatakan agar bisa dijadikan sebuah standar. Menurut VDE 0433-2, keadaan standar melaksanakan pengujian isolasi adalah

pada suhu udara 20°C dan tekanan udara 760 mmHg.

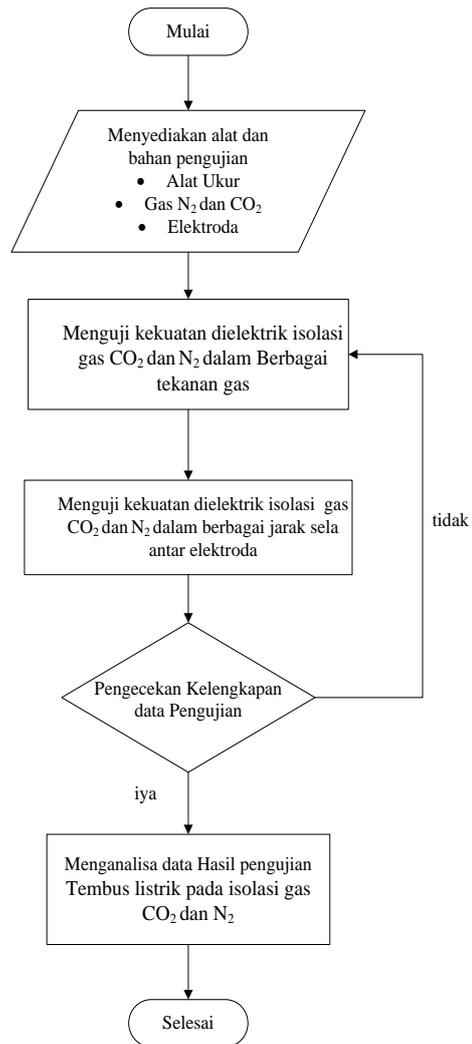
3. Metodologi

3.1. Umum

Penelitian ini dimulai dengan melakukan mempersiapkan gas Nitrogen dan gas Karbondioksida yang akan diujikan. Gas tersebut di tempatkan dalam tabung yang tertutup rapat dan tidak langsung terkena sinar matahari. Lalu berikutnya adalah menyusun rangkaian pembangkit tegangan tinggi searah polaritas negatif. Untuk melaksanakan pengujian tegangan tembus pada gas maka pada rangkaian tersebut ditambahkan tabung uji yang di dalamnya diisi gas yang akan diujikan. Pada tabung tersebut akan dipasangkan sepasang elektroda secara vertikal dengan memperhatikan jarak sela antar elektroda. Tabung gas uji tersebut akan di vakum terlebih dahulu agar nantinya gas yang akan diuji tidak bercampur dengan udara bebas.

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian tegangan tembus pada gas Nitrogen dan Karbondioksida secara terpisah. Pengujian dilakukan dengan mencatat suhu ruangan dan tekanan udara di ruang pengujian. Pengujian dilakukan dalam selang per 3 menit. Hal ini dilakukan agar gas tersebut dapat memperbaiki kekuatan isolasinya terhadap medan listrik.

Setelah data dari seluruh pengujian didapatkan, maka berikutnya adalah menganalisis fenomena tembus listrik pada gas Nitrogen dan gas Karbondioksida. Analisis yang dilakukan adalah untuk memperhatikan pengaruh perubahan tekanan gas uji, jarak sela elektroda, bentuk elektroda, dan perbedaan gas terhadap besarnya tegangan tembus pada masing-masing gas. Berikut adalah diagram alir penelitian ini yang ditunjukkan pada gambar 3.1 :



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli 2017 sampai bulan November 2017 di Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Riau. Bahan pengujian adalah gas Nitrogen dan gas Karbondioksida. Gas tersebut disimpan di dalam tabung penyimpanan.



Gambar 3.2 Tabung Objek Uji

3.2. Variasi Pengujian

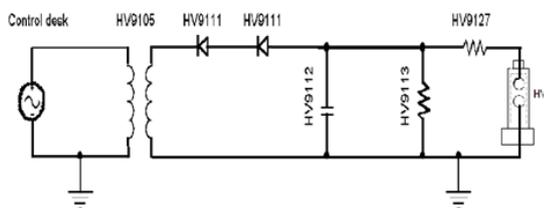
Dalam percobaan ini, variasi pengujian dilakukan untuk mengetahui bagaimana

perubahan nilai tegangan tembus gas Nitrogen dan gas karbondioksida pada :

- Kondisi tekanan gas yang bervariasi yaitu 1 bar, 2 bar, 3 bar dan 4 bar.
- Kondisi jarak antar elektroda bervariasi yaitu 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm.
- Kondisi pengujian menggunakan elektroda bola – bola dan elektroda jarum – jarum.

3.3. Prosedur Pengujian

Prosedur yang dilakukan pada penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. selanjutnya Menyusun rangkaian pengujian seperti pada gambar di bawah ini:



(a)



(b)

Gambar 3.3 (a) Rangkaian pengujian secara teoritis. (b) Rangkaian DC sebagai rangkaian pengujian dan peralatan pengujian

Selanjutnya mengatur jarak sela elektroda bola-bola pada jarak 0,5 cm. Kemudian melakukan proses vakum tabung gas uji hingga menunjukkan nilai 760 mmHg. Setelah itu memasukkan gas uji ke tabung uji hingga menunjukkan tekanan 4 bar dan ukur temperatur dan tekanan pada ruang uji.

Setelah alat dan bahan selesai dipersiapkan maka saklar utama S1 ditutup dan AT diatur hingga tegangan keluarannya nol. Kemudian saklar sekunder S2 ditutup dan tegangan keluaran AT dinaikkan secara bertahap sampai terjadi tembus listrik pada gas uji. Pada saat yang bersamaan, tegangan ketika terjadi tembus listrik dicatat dan tegangan diturunkan dengan cepat hingga menunjukkan 0 V. Lalu buka Saklar S1 dan S2.

Ulangi langkah-langkah tersebut sampai 20 kali hingga diperoleh 20 data tegangan tembus

gas pada kondisi jarak sela 0,5 cm yang nanti dihitung tegangan rata-ratanya guna untuk memperoleh data yang lebih akurat. Setelah itu kurangi tekanan pada gas uji menjadi 3 bar, 2 bar dan 1 bar.

Lakukan langkah-langkah yang telah dijelaskan sebelumnya untuk tiap-tiap jarak sela elektroda bola dan jarum-jarum untuk kedua gas tersebut berturut-turut yaitu 0,5 cm; 1,0 cm; 1,5 cm; dan 2,0 cm.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Hasil pengujian

Pengujian yang telah dilakukan memperoleh data berupa besar tegangan tembus dari isolasi gas Karbondioksida (CO₂) dan Nitrogen (N₂). Selanjutnya data ini diolah dengan program pengolah data yaitu Microsoft Excel untuk menampilkan grafik tegangan tembus dari isolasi gas Karbondioksida (CO₂) dan Nitrogen (N₂). Berdasarkan data yang didapat akan diamati karakteristik dielektrik dari masing-masing gas Karbondioksida (CO₂) dan Nitrogen (N₂).

Karakteristik gas yang diamati berdasarkan perbandingan tekanan gas, perbandingan jarak sela elektroda, perbandingan bentuk elektroda yang divariasikan terhadap ketahanan masing masing gas tersebut saat diberikan tegangan tinggi searah polaritas negatif.

Hasil data pengujian tegangan tembus pada gas Nitrogen dan Karbondioksida terdiri dari :

- Tegangan Tembus gas Nitrogen menggunakan elektroda bola-bola pada jarak sela 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm. Pengujian masing-masing sela terdiri dari tekanan gas yang bervariasi yaitu 1 bar , 2 bar , 3 bar dan 4 bar.
- Tegangan Tembus gas karbondioksida menggunakan elektroda jarum-jarum pada jarak sela 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm. Pengujian masing-masing sela terdiri dari tekanan gas yang bervariasi yaitu 1 bar, 2 bar, 3 bar, dan 4 bar.

Tegangan tembus yang diperoleh masih dalam suhu dan tekanan udara sembarang, sehingga perlu diolah untuk memperoleh tegangan tembus pada keadaan standar, yaitu pada suhu 20⁰C dan tekanan 760 mmHg yang dihitung menggunakan Persamaan faktor koreksi udara VDE 0433-2. Berdasarkan data yang terhimpun dapat dihitung rata-rata dari 20 kali

pengujian dalam kondisi yang sama dan dilakukan perhitungan standarisasi kondisi udara. Hasil dari perhitungan matematis tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2.

Tabel 4.1. Data tegangan tembus standar gas Nitrogen

Elektroda	Tekanan Gas (Bar)	Tegangan Tembus keadaan Standar (Vs)			
		Jarak Sela (cm)			
		0,5	1	1,5	2
Bola – Bola	1	50.95	67.17	99.80	119.47
	2	65.65	94.47	139.51	>140
	3	81.08	121.74	>140	>140
	4	97.40	137.07	>140	>140
Jarum-jarum	1	40.81	47.83	54.88	61.47
	2	49.66	56.33	67.00	76.70
	3	58.96	67.39	80.56	88.15
	4	66.06	77.08	89.49	97.52

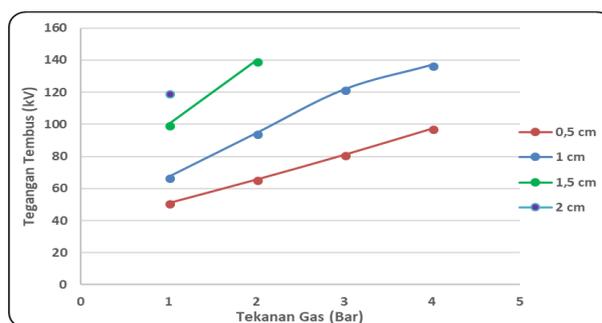
Tabel 4.2. Data tegangan tembus standar gas Karbon dioksida

Elektroda	Tekanan Gas (Bar)	Tegangan Tembus keadaan Standar (Vs)			
		Jarak Sela (cm)			
		0,5	1	1,5	2
Bola – Bola	1	39.70	65.23	90.91	109.85
	2	61.36	85.08	121.61	>140
	3	77.60	110.80	>140	>140
	4	91.77	121.49	>140	>140
Jarum-jarum	1	32.02	40.69	45.79	50.80
	2	39.23	49.33	59.83	64.25
	3	47.93	60.76	71.56	77.41
	4	55.60	71.05	83.20	90.75

4.2. Analisis Pengaruh Tekanan Gas terhadap Tegangan Tembus Isolasi Gas Nitrogen (N₂)

Data pada tabel 4.1 dapat dibuat grafik hubungan antara besar tekanan gas terhadap nilai tegangan tembus pada gas nitrogen pada keadaan standar pengujian pada 2 pasang elektroda di berbagai jarak sela yang telah ditentukan, seperti pada gambar 4.1 hingga 4.2.

1. Pengujian menggunakan elektroda bola-bola



Gambar 4.1. Kurva Tegangan tembus terhadap tekanan gas Nitrogen dengan elektroda bola-bola

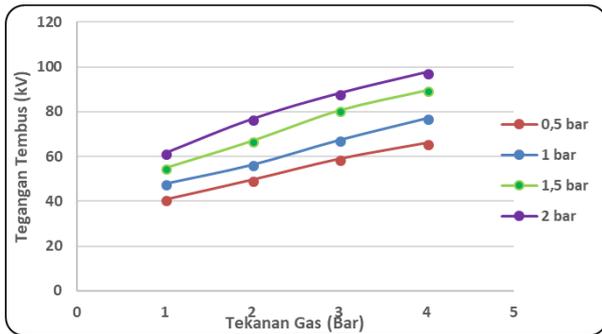
Berdasarkan gambar 4.1 dapat diamati bahwa tekanan isolasi gas nitrogen mempengaruhi besarnya tegangan tembus. Pada sela elektroda bola-bola berjarak 0,5 cm menunjukkan kenaikan tekanan gas akan mempengaruhi kenaikan nilai tegangan tembus pada isolasi gas Nitrogen.

Pada sela elektroda bola-bola berjarak 1 cm menunjukkan kenaikan tekanan gas akan mempengaruhi kenaikan nilai tegangan tembus pada isolasi gas Nitrogen.

Pada sela elektroda bola-bola berjarak 1,5 cm, Pada tekanan 3 dan tekanan 4 bar, besarnya tegangan tembus adalah melebihi 140 kV. Peralatan uji mencapai batas kemampuannya sehingga tidak didapat nilai tegangan tembus yang akurat. Maka terbukti kenaikan tekanan gas akan mempengaruhi kenaikan nilai tegangan tembus pada isolasi gas Nitrogen.

Pada sela elektroda bola-bola berjarak 2 cm, besarnya tegangan tembus pada tekanan 1 bar adalah 119,47 kV. Pada tekanan 2 bar, 3 bar dan 4 bar terukur besarnya tegangan tembus melebihi 140 kV. Peralatan uji mencapai batas kemampuannya sehingga tidak didapat nilai tegangan tembus yang akurat.

2. Pengujian menggunakan elektroda jarum-jarum



Gambar 4.2. Kurva Tegangan tembus terhadap tekanan gas Nitrogen dengan elektroda jarum-jarum

Berdasarkan gambar 4.2 diatas dapat diamati bahwa tekanan isolasi gas nitrogen mempengaruhi besarnya tegangan tembus. Pada sela elektroda jarum-jarum berjarak 0,5 cm menunjukkan kenaikan tekanan gas akan mempengaruhi kenaikan nilai tegangan tembus pada isolasi gas Nitrogen.

Pada sela elektroda jarum-jarum berjarak 1 cm menunjukkan kenaikan tekanan gas akan mempengaruhi kenaikan nilai tegangan tembus pada isolasi gas Nitrogen.

Pada sela elektroda jarum-jarum berjarak 1,5 cm menunjukkan kenaikan tekanan gas akan mempengaruhi kenaikan nilai tegangan tembus pada isolasi gas Nitrogen.

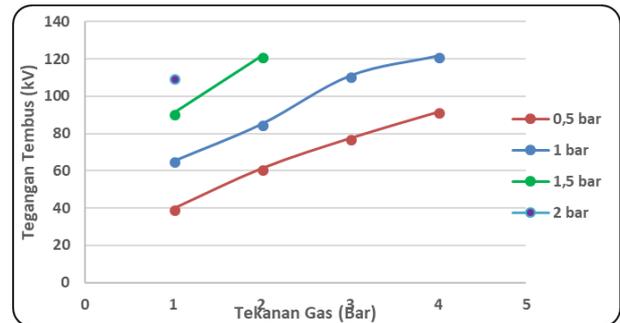
Pada sela elektroda jarum-jarum berjarak 2 cm menunjukkan kenaikan tekanan gas akan mempengaruhi kenaikan nilai tegangan tembus pada isolasi gas Nitrogen.

Pada gambar tersebut dapat diketahui karakteristik tegangan tembus cenderung mengalami kenaikan seiring dengan besarnya tekanan gas Nitrogen (N_2) yang diberikan. Semakin besar tekanan gas dan jarak sela antar elektroda yang diatur maka semakin besar pula tegangan tembusnya. Hal ini disebabkan jika di antara elektroda diterapkan suatu tegangan V, maka akan timbul suatu medan listrik E yang mempunyai besar dan arah menuju Anoda. Karena adanya medan listrik tersebut, maka elektron-elektron bebas yang ada di dalam wadah yang berisi gas Nitrogen (N_2) akan mendapatkan energi yang cukup kuat untuk menimbulkan proses ionisasi.

4.3. Analisis pengaruh Tekanan gas terhadap Tegangan Tembus Isolasi Gas Karbondioksida (CO_2)

Pada tabel 4.2 diatas dapat dibuat grafik hubungan antara besar tekanan gas terhadap nilai tegangan tembus pada gas nitrogen pada keadaan standar pengujian pada 2 pasang elektroda di berbagai jarak sela yang telah ditentukan, seperti pada gambar 4.3 dan gambar 4.4.

1. Pengujian menggunakan elektroda bola-bola



Gambar 4.3. Kurva tegangan tembus terhadap tekanan gas Karbondioksida dengan elektroda bola-bola

Berdasarkan gambar 4.3 diatas dapat diamati bahwa tekanan isolasi gas karbondioksida mempengaruhi besarnya tegangan tembus. Pada sela elektroda bola-bola berjarak 0,5 cm menunjukkan kenaikan tekanan gas akan mempengaruhi kenaikan nilai tegangan tembus pada isolasi gas karbondioksida.

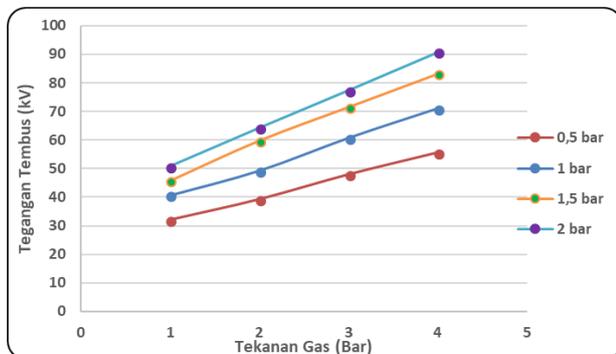
Pada sela elektroda bola-bola berjarak 1 cm menunjukkan kenaikan tekanan gas akan mempengaruhi kenaikan nilai tegangan tembus pada isolasi gas karbondioksida.

Pada sela elektroda bola-bola berjarak 1,5 cm, besarnya tegangan tembus pada tekanan 1 bar adalah 90,91 kV. Besarnya tegangan tembus pada tekanan 2 bar adalah 121,61 kV. Pada tekanan 3 dan tekanan 4 bar, besarnya tegangan tembus adalah melebihi 140 kV. Peralatan uji mencapai batas kemampuannya sehingga tidak didapat nilai tegangan tembus yang akurat. Maka terbukti kenaikan tekanan gas akan mempengaruhi kenaikan nilai tegangan tembus pada isolasi gas karbondioksida dengan pengujian menggunakan elektroda bola-bola pada sela 1,5 cm.

Pada sela elektroda bola-bola berjarak 2 cm, besarnya tegangan tembus pada tekanan 1 bar adalah 109,85 kV. Pada tekanan 2 bar, 3 bar

dan tekanan 4 bar terukur besarnya tegangan tembus melebihi 140 kV. Peralatan uji mencapai batas kemampuannya sehingga tidak didapat nilai tegangan tembus yang akurat.

2. Pada pengujian menggunakan elektroda jarum-jarum



Gambar 4.4. Kurva tegangan tembus terhadap tekanan gas Karbondioksida dengan elektroda jarum-jarum

Berdasarkan gambar 4.4 diatas dapat diamati bahwa tekanan isolasi gas karbondioksida mempengaruhi besarnya tegangan tembus. Pada sela elektroda jarum-jarum berjarak 0,5 cm menunjukkan terbukti kenaikan tekanan gas akan mempengaruhi kenaikan nilai tegangan tembus pada isolasi gas karbondioksida.

Pada sela elektroda jarum-jarum berjarak 1 cm menunjukkan kenaikan tekanan gas akan mempengaruhi kenaikan nilai tegangan tembus pada isolasi gas karbondioksida.

Pada sela elektroda jarum-jarum berjarak 1,5 cm menunjukkan kenaikan tekanan gas akan mempengaruhi kenaikan nilai tegangan tembus pada isolasi gas karbondioksida.

Pada sela elektroda jarum-jarum berjarak 2 cm menunjukkan kenaikan tekanan gas akan mempengaruhi kenaikan nilai tegangan tembus pada isolasi gas karbondioksida.

Dari gambar tersebut dapat diketahui karakteristik tegangan tembus cenderung mengalami kenaikan seiring dengan besarnya tekanan gas karbon dioksida (CO_2) yang dimasukan kedalam wadah. Semakin besar tekanan gas maka semakin besar pula tegangan tembusnya dan juga semakin besar jarak sela antar elektroda yang diatur maka semakin besar pula tegangan tembusnya. Hal ini disebabkan jika di antara elektroda diterapkan suatu tegangan V, maka akan timbul suatu medan listrik E yang

mempunyai besar dan arah tertentu. Karena adanya medan listrik tersebut, maka elektron-elektron bebas yang ada di dalam wadah yang berisi gas karbondioksida (CO_2) akan mendapatkan energi yang cukup kuat untuk menimbulkan proses ionisasi.

5. Kesimpulan

1. Nilai Tegangan tembus pada gas nitrogen berbanding lurus dengan nilai tekanan pada gas
2. Nilai Tegangan tembus pada gas karbon dioksida akan bertambah seiring dengan kenaikan besar tekanan gas
3. Semakin jauh jarak antar elektroda akan menyebabkan semakin besar energi yang dibutuhkan untuk terjadi tembus listrik
4. Pengujian elektroda bola-bola menghasilkan besar tegangan tembus yang lebih besar dibanding elektroda jarum-jarum karena pengaruh distribusi medan listrik.
5. Kekuatan dielektrik gas nitrogen lebih besar daripada gas karbondioksida

Daftar Pustaka

- Cassanovas AM, J Cassanovas. 2005. Decomposition of High-Pressure (400 kPa) $\text{SF}_6\text{-CO}_2$, $\text{SF}_6\text{-CO}$, $\text{SF}_6\text{-N}_2\text{-CO}_2$ and $\text{SF}_6\text{-N}_2\text{-CO}$ Mixtures under Negative DC Coronas. *Journal of Physics D*. 38:1556-1564.
- Kojima Hiroki, Osamu K, Naoki H, Fumihiko E, Hitoshi O. 2007. Breakdown Characteristics of N_2O Gas Mixtures for Quasi-uniform Electric Field under Lightning Impulse Voltage. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 14(6):1492-1497
- Kumara L. 2010. Efek Polaritas dan Fenomena Stres Tegangan Sebelum Kegagalan Isolasi pada Sela Udara Jarum-Plat [skripsi]. Surabaya: Fakultas Teknik, Institut Teknologi Sepuluh November
- L. Bonggas. 2012. *Dasar Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi Edisi Kedua*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Noviansyah. 2016. Karakteristik Tegangan Tembus Isolasi Gas CO_2 Dibawah Tekanan Tegangan Tinggi DC [Skripsi]. Pekanbaru : Fakultas Teknik, Universitas Riau

- Pardede, T. 2015. Karakteristik Tegangan Tembus Isolasi Gas Nitrogen (N_2) dengan Pembangkit Tegangan Tinggi DC. Pekanbaru: Universitas Riau
- S.T Prihatnolo, A. Syakur dan M. Facta. 2011 Pengukuran Tegangan Tembus Dielektrik Udara pada Berbagai Sela dan Bentuk Elektroda dengan Variasi Temperatur Sekitar. Jurnal Teknik Elektro Undip pp. 1-8
- Singgih, Sugeng Nur, Berahim, Hamzah. 2009. Analisis Pengaruh Keadaan Suhu terhadap Tegangan Tembus AC dan DC pada Minyak Transformator. Jurnal Teknik Elektro 1(2).
- Valentino Tarigan. 2016. Pengaruh banyaknya Tembus dan Variasi Tekanan Gas terhadap Kekuatan Dielektrik Gas Nitrogen [skripsi]. Medan. Departemen Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara
- Yulistiawan, Bachtiar Hasan, Hasbullah. 2012. Analisis Penggunaan Gas SF_6 Pada Pemutus Tenaga (PMT) Di Gardu Induk Cigereleng Bandung. *Electrans*. 11:81-93.