

# Sifat Dielektrik Campuran Gas CO<sub>2</sub> Dengan Nitrogen (N<sub>2</sub>) Dibawah Terpaan Medan Tinggi DC Polaritas Positif

Michael Anderson\*, Fri Murdiya\*\*

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293  
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau  
Email: [michaelandersontarigan@gmail.com](mailto:michaelandersontarigan@gmail.com)

## ABSTRACT

*Sulfur hexafluoride gas (SF<sub>6</sub>) is widely used in the power electrical system such as circuit breaker, gas insulated switchgear (GIS) and gas insulated line (GIL). However, this gas has negative impacts such as global warming, so we need to find other gases as alternative gas for example is carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and nitrogen (N<sub>2</sub>) that it is more friendly environmental materials. This research discusses about dielectric characteristics of mixture of carbon dioxide gas (CO<sub>2</sub>) and nitrogen (N<sub>2</sub>) gas under pressure high voltage in positive polarity. This experiment aims to estimate the breakdown voltage in mixture of carbon dioxide gas (CO<sub>2</sub>) and Nitrogen (N<sub>2</sub>). This experiment was carried out by using sphere electrodes and needle-rod electrodes. The result is indicated that the breakdown voltage in gas with sphere electrodes is greater than with needle-rod electrodes and then space electrodes are proportional to breakdown voltage in gas insulation.*

**Keywords :** *electrodes, mixture gas insulation, breakdown voltage, positive polarity*

## 1. PENDAHULUAN

Isolasi adalah komponen penting pada sistem tenaga listrik. Isolasi berfungsi untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan sehingga diantara penghantar–penghantar tersebut tidak terjadi lompatan listrik atau busur api. Lompatan listrik atau busur api itu dikarenakan adanya pelepasan muatan antar penghantar yang merupakan bentuk dari kegagalan isolasi dimana tegangan yang diberikan melebihi batas kekuatan isolasinya. Didalam sistem ketenagalistrikan, kegagalan yang terjadi dapat mengakibatkan kerusakan peralatan sehingga kontinuitas sistem tidak berjalan dengan baik.

Isolasi terbagi menjadi tiga jenis yaitu isolasi gas, cair, dan padat. Ketiga jenis isolasi ini digunakan sesuai dengan kebutuhan pengisolasiannya masing-masing. Dalam penggunaannya isolasi gas merupakan isolasi yang sangat banyak digunakan pada saat ini. SF<sub>6</sub>, udara dan isolai vakum merupakan jenis dari isolasi gas yang sudah terkenal dan luas penggunaannya dalam hal pengisolasian peralatan sampai saat ini. Namun pada penggunaannya ketiga isolasi tersebut masih memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Tegangan tembus isolasi dipengaruhi beberapa

faktor, seperti bentuk, jarak, dan permukaan dari elektroda yang digunakan. Suhu dan tekanan udara pada saat pengujian juga dapat mempengaruhi besarnya tegangan tembus pada isolator.

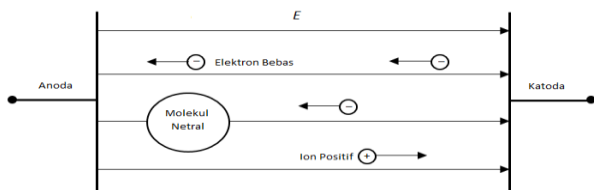
Setiap bahan isolasi termasuk isolasi udara mempunyai batas kemampuan untuk memikul kuat medan elektrik. Kemampuan tertinggi bahan isolasi untuk menahan tembus listrik disebut kekuatan dielektrik. Tiap bahan isolasi memiliki kemampuan yang berbeda-beda, kemampuan inilah yang menjadi salah satu penentu pemilihan penggunaan bahan isolasi. Maka dari itu banyak dilakukan penelitian mengenai sifat dielektrik bahan isolasi guna penggunaan yang lebih baik.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Kekuatan Dielektrik

Setiap bahan isolasi mempunyai batas kemampuan untuk memikul kuat medan elektrik. Jika kuat medan elektrik yang dipikul bahan isolasi melebihi batas tersebut dan kuat medan elektrik tersebut berlangsung cukup lama, bahan isolasi akan menghantar arus tinggi dari anoda ke katoda atau bahan isolasi gagal melaksanakan fungsinya sebagai isolator.

Dalam hal ini bahan isolasi disebut tembus listrik (*electrical breakdown*). Kuat medan elektrik tinggi yang dapat di pikul suatu bahan isolasi tanpa mengakibatkan bahan isolasi tersebut mengalami tembus listrik disebut kekuatan dielektrik (I Made Yulistya Negara. 2013).



**Gambar 1.** Proses ionisasi diantara dua elektroda

Tembus gas dipengaruhi oleh tekanan gas. Makin tinggi tekanan gas maka kerapatan juga semakin tinggi. Hal ini mengakibatkan jarak rata-rata antar molekul atau atom semakin kecil dan sebagai akibatnya energi kinetik elektron lebih kecil dan ionisasi molekul atau atom gas semakin sulit. Dengan demikian secara umum makin tinggi tekanan gas makin tinggi pula kekuatan dielektriknya

**Tabel 1.** Bahan dielektrik gas (L. Bonggas. 2012)

Jenis Gas	Masa Jenis [kg/m <sup>3</sup> ]	Konduktivitas Panas [cal/sec/m <sup>0</sup> C]	Tegangan Tembus [kV/cm]
Udara	1,228	5 x 10 <sup>-6</sup>	30
SF <sub>6</sub>	6,139	1,9 x 10 <sup>-5</sup>	75
Nitrogen	1,191	5,4 x 10 <sup>-6</sup>	30
Karbon Dioksida	1,867	3,2 x 10 <sup>-6</sup>	27
Hidrogen	0,086	3,3 x 10 <sup>-5</sup>	18

Hasil pengujian dielektrik udara tergantung pada kondisi udara. Karena itu, hasil pengujian ketika udara dalam keadaan standar perlu dinyatakan, yaitu pada suhu 200C, tekanan udara 760 mmHg dan kelembaban udara 11 g/m3. Hasil pengujian pada keadaan standar adalah: (L. Bonggas. 2012)

$$V_s = (kh/kd) V_b \quad (2.1)$$

Dimana:

V<sub>s</sub> = hasil pengujian pada keadaan standar

kh = faktor koreksi kelembaban udara

kd = faktor koreksi kerapatan udara

V<sub>b</sub> = hasil pengujian pada sembarang keadaan udara

Faktor koreksi kerapatan udara dihitung dengan persamaan:

$$k_d = \left(\frac{p}{760}\right) \times \left(\frac{293}{273+T}\right) \quad (2.2)$$

Dimana:

kd = faktor koreksi kerapatan udara

p = tekanan udara (mmHg)

T = temperatur udara (0C)

## 2.2. Mekanisme Tembus Listrik pada Udara

Ada 2 teori meklanisme tembus listrik pada udara, yaitu mekanisme Townsend dan mekanisme Streamer. Mekanisme towsend hanya berlaku pada medan listrik seragam, sedangkan mekanisme Streamer berlaku pada medan listrik seragam maupun tidak seragam (Valentino Tarigan. 2016)

### 2.2.1 Mekanisme Townsend

Mekanisme Townsend menjelaskan tentang fenomena kegagalan yang hanya terjadi pada tekanan yang rendah dibawah tekanan atmosfer. Pada tekanan diatas tekanan atmosfer berlaku mekanisme strimer yang mempersyaratkan adanya distorsi medan karena muatan ruang.

### 2.2.2 Mekanisme Streamer

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

1. Positif, atau strimer yang mengarah ke katoda
2. Negatif, atau strimer yang menuju ke anoda

### 2.3. Pengaruh Polaritas Pada Elektroda

Untuk menyelidiki pengaruh polaritas dapat dipakai elektroda yang tak seragam. Percobaan dilakukan dengan polaritas positif dan negatif dengan celah yang di variasikan. Nilai tegangan tembus pada saat polaritas positif lebih rendah dibanding pada menggunakan polaritas negatif (Syamsir Abduh. 2001).

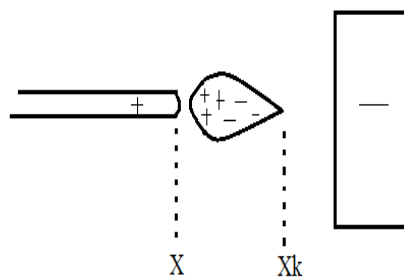
Bila elektroda yang runcing yang bermuatan negatif maka elektron akan bergerak kearah plat. Ion-ion yang tertinggal menyebabkan adanya medan yang tinggi. Pada daerah ujung elektroda tersebut, sisa

daerah medan menunjukkan adanya perbedaan tegangan yang kecil, Hal ini mendorong tumbuhnya kanal pelepasan muatan kearah plat. Bila muatan pada ujung elektroda yang runcing adalah positif, maka elektron bergerak menuju elektroda tersebut dan sisa ion menyebabkan pengurangan kekuatan medan listrik dekat dengan ujung elektroda runcing, karena kekuatan medan listrik dekat dengan ujung elektroda runcing. Karena kekuatan medan arahnya menuju elektroda pelat, kekuatan medan kemudian naik, ini merangsang bertambahnya kanal pelepasan muatan

Dalam pengujian untuk melihat pengaruh polaritas, ada dua variasi urutan elektroda

### 2.3.1 Jarum Positif – Plat

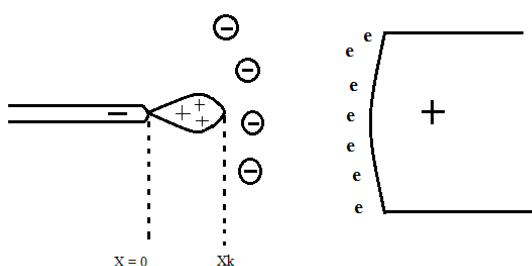
Luruhan pada jarum positif-Plat terbentuk akibat dari adanya elektron mula yang berada di depan jarum sehingga membentuk muatan ruang positif pada medan. Jika muatan ruang positif ini cukup besar, maka kuat medan akan menurun dan peluahan akan terhenti. Proses ini akan kembali terjadi pada saat medan elektrostatis kembali terbentuk dan ion akan bergerak menuju elektroda.



**Gambar 2.** Proses Jarum Positif – Plat

### 1.3.2 Jarum Negatif – Plat

Pada mekanisme korona negatif, variasi ketidakhomogenan suatu medan diperoleh dengan cara memvariasikan jari-jari elektroda jarum. Dalam hal ini elektron mula akan terbentuk tepat di depan jarum melalui proses emisi elektroda jarum. Pengaruh elektroda jarum adalah terkikisnya ujung-ujung dari elektroda jarum sehingga imbas dari adanya peluahan yang terjadi secara konstan



### Gambar 3. Proses Jarum Negatif – Plat

#### 2.4. Gas Nitrogen (Kumara L. 2010)

Nitrogen merupakan unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang N dan nomor atom 7. Biasanya ditemukan sebagai gas tanpa warna, tanpa bau, tanpa rasa dan merupakan gas diatomik bukan logam yang stabil, sangat sulit bereaksi dengan unsur atau senyawa lainnya.

Dinamakan zat lemas karena zat ini bersifat malas, tidak aktif bereaksi dengan unsur lainnya. Nitrogen merupakan senyawa penting seperti asam amino, amoniak, asam nitrat, dan sianida. Nitrogen mengembun pada suhu 77 oK (-196°C) pada tekanan 1 atmosfer dan membeku pada suhu 63 oK (-210oC). Adapun sifat-sifat dari Nitrogen yaitu:

- Mempunyai massa atom 14,0067 sma
- Mempunyai nomor atom 7
- Titik didih -196 oC dan Titik beku -210 oC
- Mempunyai volume atom 17,30 cm<sup>3</sup> /mol
- Mempunyai struktur heksagonal
- Mempunyai massa jenis 1,2151 gram/cm<sup>3</sup>
- Mempunyai kapasitas panas 1,042 J/goK
- Mempunyai potensial ionisasi 14,534 Volt
- Mempunyai nilai elektronegativitas 3,04
- Mempunyai konduktivitas kalor 0,02598 W/mK
- Tegangan tembus 30 kV/cm
- Mempunyai harga entalpi pembentukan 0,36 kJ/mol
- Mempunyai harga entalpi penguapan 2,7928kJ/mol
- Berupa gas tidak berwarna, tidak berasa, tidak berbau, tidak beracun, mudah menguap, tidak reaktif dan bersifat diamagnetik.

#### 2.5. Karbondioksida

Karbondioksida rumus kimia CO<sub>2</sub> atau zat asam arang adalah sejenis senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon. Karbondioksida adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau Pada keadaan standar, rapatannya karbondioksida berkisar sekitar 1,98 kg/m<sup>3</sup>, Molekul karbon dioksida (O=C=O) mengandung dua ikatan rangkap yang berbentuk linear dan ia tidak bersifat dipol. Senyawa ini tidak begitu reaktif dan tidak mudah terbakar, namun bisa membantu pembakaran logam seperti magnesium. Titik Didihnya -78 °C (195<sup>0</sup>K), titik lelehnya -57 °C (216 K).

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober 2016 sampai Desember 2016 di Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Riau.

#### 3.2. Peralatan Penelitian

Alat-alat ukur yang digunakan dalam pengujian, antara lain:

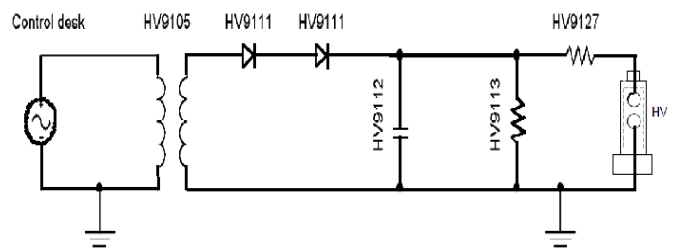
1. Trafo Uji (*HV Test Transformer*)
2. *Control Desk*
3. Dioda (*Rectifier*)
4. Kapasitor (*Smoothing Capacitor*)
5. Tahanan (*Measuring Resistor*)
6. *Insulating Rod*
7. *Connecting cup 4*
8. *Floor Pedestal 3*
9. *Connecting Rod*
10. Elektroda
11. Pentanahan (*Earthing Switch*)
12. Tabung uji
13. *Osilloscope*
14. *Current Clamp*
15. *Vacuum Pump*
16. Tabung Gas Isi Ulang

#### 3.3. Pengumpulan Data Hasil Pengukuran

Data hasil pengukuran penelitian ini berupa data tegangan tembus dari elektroda bola-bola dan elektroda jarum-batang dengan isolasi campuran gas nitrogen ( $N_2$ ) dengan Karbondioksida ( $CO_2$ ).

Data hasil pengukuran dicatat setiap kali dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan sebanyak 20 kali untuk setiap variabel perbandingan tekanan dan besar jara tiap elektroda baik itu menggunakan elektroda bola-bola maupun elektroda jarum-batang. Lalu diambil gambar dan video sampel pengujian saat penelitian untuk membuktikan bahwa penelitian ini benar-benar dilakukan dengan pengujian yang benar. Langkah-langkah pengujian yang dilakukan, antara lain:

1. Mengatur sela elektroda.
2. Memasukan gas uji ke dalam tabung uji.
3. Mengatur tekanan gas uji pada tabung uji.
4. Pengujian tegangan tembus pada isolasi gas uji.
5. Pengujian tegangan tembus untuk ketahanan gas uji



Gambar 4 Rangkaian DC secara teoritis

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Tegangan Tembus Isolasi Campuran Gas Karbondioksida ( $CO_2$ ) dengan Nitrogen ( $N_2$ ) dengan Elektroda Bola-Bola

Pengujian dilakukan menggunakan elektroda bola-bola dengan jarak elektroda sebesar 0,5 dan 1 cm dan perbandingan antar gas sebesar 25%  $CO_2$ :75%  $N_2$ , 50%  $CO_2$  : 50%  $N_2$  dan 75%  $CO_2$  : 25%  $N_2$ . Berikut ini adalah tabel hasil pengujian menggunakan elektroda bola-bola.

Tabel 2. Data tegangan tembus pengujian Isolasi campuran gas Karbondioksida ( $CO_2$ ) dengan Nitrogen ( $N_2$ ) dengan elektroda bola-bola pada jarak 0,5 cm

No	25% $CO_2$ : 75% $N_2$	50% $CO_2$ : 50% $N_2$	75% $CO_2$ : 25% $N_2$
1	64.42	58.46	53.15
2	64.09	57.21	59.13
3	64.43	61.30	59.34
4	65.26	61.84	60.20
5	66.06	61.21	60.44
6	66.01	60.70	59.55
7	66.73	61.13	59.82
8	66.33	62.39	59.51
9	61.13	62.44	60.23
10	60.15	62.48	60.79
11	64.70	61.03	56.24
12	66.33	61.27	59.45
13	64.90	60.17	58.50
14	62.80	60.54	61.34
15	65.58	61.52	60.46
16	64.82	61.80	59.89
17	64.13	60.17	58.43
18	65.06	59.88	58.01
19	65.60	59.76	57.12
20	63.32	58.51	59.62

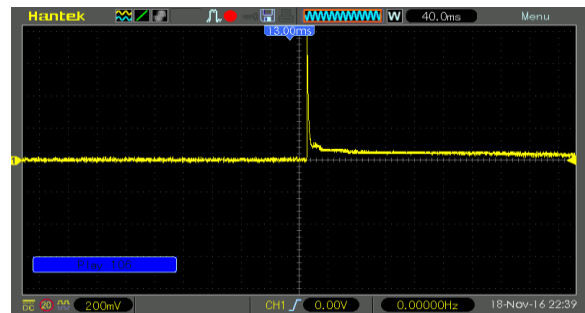
**Tabel 3.** Data tegangan tembus pengujian Isolasi campuran gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dengan Nitrogen (N<sub>2</sub>) dengan elektroda bola-bola pada jarak 1 cm

No	25% CO <sub>2</sub> : 75% N <sub>2</sub>	50% CO <sub>2</sub> : 50% N <sub>2</sub>	75% CO <sub>2</sub> : 25% N <sub>2</sub>
1	107.22	87.00	100.85
2	103.20	87.99	95.24
3	105.07	94.66	106.38
4	110.12	88.77	107.48
5	97.06	91.24	92.30
6	105.53	94.36	98.24
7	99.03	95.53	103.15
8	113.17	97.87	98.46
9	114.65	98.84	101.30
10	113.05	98.89	104.28
11	103.74	95.30	97.60
12	111.50	98.22	101.25
13	112.42	95.12	106.22
14	105.73	98.24	104.21
15	109.26	98.20	103.37
16	97.07	97.37	103.09
17	101.15	96.38	104.82
18	104.32	97.32	102.82
19	107.06	97.43	103.23
20	104.66	96.25	101.32

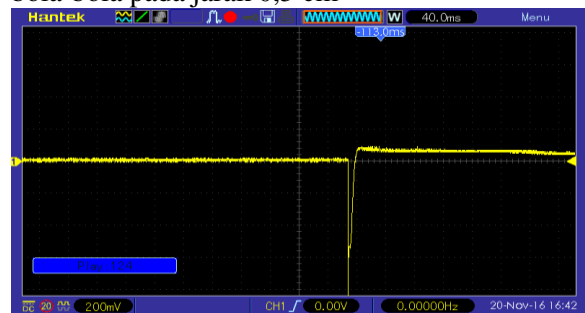
Dari tabel 2 , besar tegangan tembus yang terjadi pada perbandingan 25% CO<sub>2</sub> : 75% N<sub>2</sub> sebesar 67,33 kV, itu lebih besar dibandingkan dengan tegangan tembus yang terjadi menggunakan perbandingan 50% CO<sub>2</sub> : 50% N<sub>2</sub> sebesar 63,54 kV dan dengan tegangan tembus pada perbandingan 75% CO<sub>2</sub> : 25% N<sub>2</sub> sebesar 61,69 kV.

Dari tabel 3 , besar tegangan tembus yang terjadi pada perbandingan 25% CO<sub>2</sub> : 75% N<sub>2</sub> sebesar 110,77 kV, itu lebih besar dibandingkan dengan tegangan tembus yang terjadi menggunakan perbandingan 50% CO<sub>2</sub> : 50% N<sub>2</sub> sebesar 99,06 kV dan dengan tegangan tembus pada perbandingan 75% CO<sub>2</sub> : 25% N<sub>2</sub> sebesar 106,21 kV.

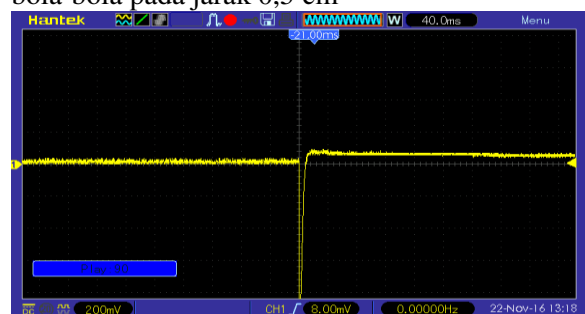
Pengujian juga dilakukan untuk mencari besar arus yang timbul saat tegangan tembus terjadi, data didapat osiloskop digital tipe DS05202B, seperti pada gambar dibawah ini.



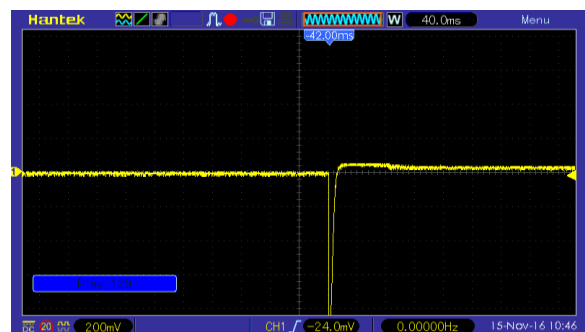
**Gambar 5.** Grafik tegangan tembus isolasi campuran 25% CO<sub>2</sub> : 75% N<sub>2</sub> dengan elektroda bola-bola pada jarak 0,5 cm



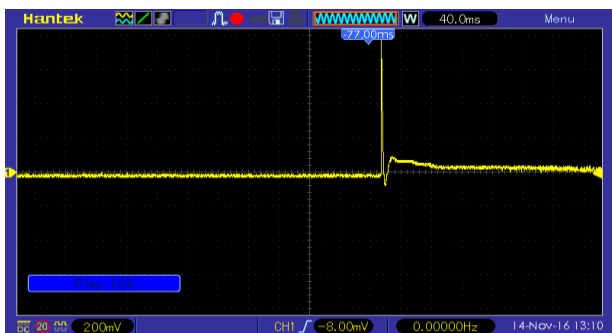
**Gambar 6.** Grafik tegangan tembus isolasi campuran 50% CO<sub>2</sub> : 50% N<sub>2</sub> dengan elektroda bola-bola pada jarak 0,5 cm



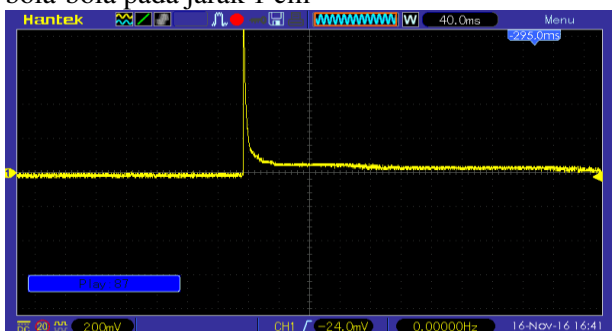
**Gambar 7.** Grafik tegangan tembus isolasi campuran 75% CO<sub>2</sub> : 25% N<sub>2</sub> dengan elektroda bola-bola



**Gambar 8.** Grafik tegangan tembus isolasi campuran 25% CO<sub>2</sub> : 75% N<sub>2</sub> dengan elektroda bola-bola pada jarak 1 cm



**Gambar 9.** Grafik tegangan tembus isolasi campuran 50% CO<sub>2</sub> : 50% N<sub>2</sub> dengan elektroda bola-bola pada jarak 1 cm



**Gambar 10.** Grafik tegangan tembus isolasi campuran 75% CO<sub>2</sub> : 25% N<sub>2</sub> dengan elektroda bola-bola pada jarak 1 cm

Untuk jarak elektroda sebesar 0,5 cm, pada gambar 5 arus yang timbul sebesar 108,8 A selama 4 ms , pada gambar 6 arus yang timbul sebesar 107,2 A selama 6 ms dan pada gambar 7 arus yang timbul sebesar 101.6 A selama 0,8 ms

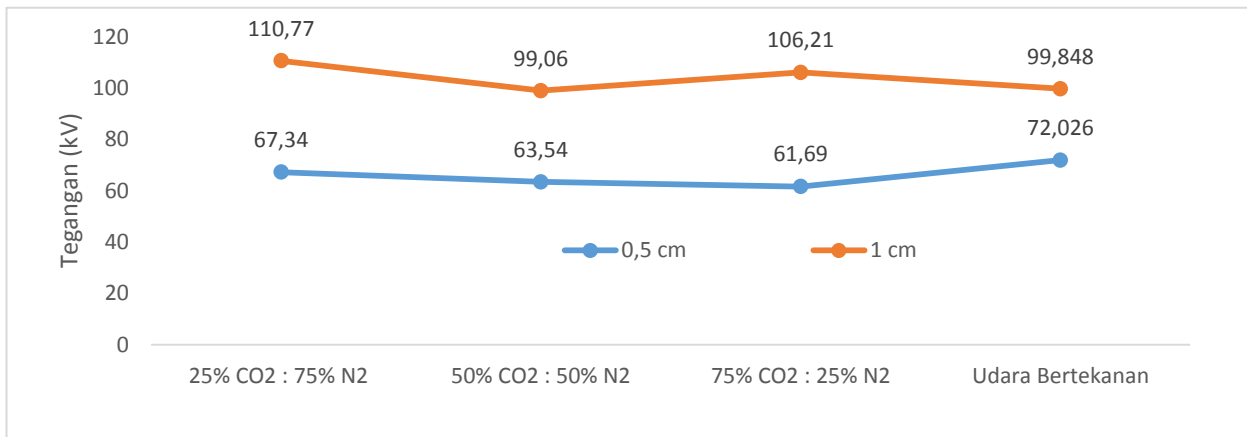
Untuk jarak elektroda sebesar 1 cm, pada gambar 8 arus yang timbul sebesar 113,6 A selama 7 ms, pada gambar 9 arus yang timbul sebesar 103,2 A selama 3 ms dan pada gambar 10 arus yang timbul sebesar 109,6 A selama 5,2 ms.

Sebagai pembanding besarnya tegangan tembus yang terjadi, dilakukan pula pengujian tegangan tembus pada udara bertekanan 4 bar dengan menggunakan elektroda bola-bola jarak 0,5 dan 1 cm, dapat dilihat pada tabel 4.

**Tabel 4.** Data tegangan tembus pengujian Isolasi Udara bertekanan 4 bar pada jarak 0,5 cm dan 1 cm.

Jarak 0,5 cm		Jarak 1 cm	
Perc	V (kV)	Perc	V (kV)
1	66.31	1	95.08
2	66.34	2	95.21
3	67.23	3	95.23
4	67.34	4	95.29
5	67.38	5	95.29
6	67.39	6	95.29
7	67.87	7	95.35
8	68.07	8	95.39
9	68.11	9	95.42
10	68.13	10	95.56
11	68.21	11	95.68
12	68.24	12	95.73
13	68.29	13	95.92
14	68.32	14	96.09
15	68.34	15	96.38
16	68.34	16	96.39
17	68.54	17	96.45
18	69.24	18	96.68
19	69.34	19	97.57
20	69.35	20	97.65

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa besar tegangan tembus pengujian dengan udara bertekanan 4 bar dengan pengujian menggunakan isolator gas campuran memiliki rata-rata besar yang berbeda. Perbandingan besar tegangan dapat dilihat pada gambar 11.



**Gambar 11.** Grafik perbandingan tegangan tembus menggunakan campuran gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dengan Nitrogen (N<sub>2</sub>) dan Udara bertekanan pada jarak 0,5 cm dan 1 cm menggunakan elektroda bola-bola.

#### 4.2 Tegangan Tembus Isolasi Campuran Gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dengan Nitrogen (N<sub>2</sub>) dengan Elektroda Jarum-Batang

Pengujian dilakukan menggunakan elektroda jarum-batang pada jarak 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, dan 2 cm.

**Tabel 5.** Data tegangan tembus pengujian Isolasi campuran gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dengan Nitrogen (N<sub>2</sub>) menggunakan elektroda jarum-batang pada jarak 0,5 cm dengan tegangan tinggi polaritas positif.

NO	POLARITAS POSITIF		
	25% CO <sub>2</sub> : 75% N <sub>2</sub>	50% CO <sub>2</sub> : 50% N <sub>2</sub>	75% CO <sub>2</sub> : 25% N <sub>2</sub>
1	34.26	29.95	34.35
2	30.43	31.52	33.7
3	31.48	33.56	34.55
4	33.4	34.4	33.82
5	32.19	33.03	34.94
6	33.11	32.17	34.35
7	31.66	33.38	35.06
8	33.08	33.61	38.3
9	33.8	35.26	36.68
10	32.86	33.24	37.96
11	32.52	32.34	36.31
12	31.23	33.25	35.84
13	31.53	34.84	34.54
14	32.77	32.55	36.96
15	32.95	33.65	35.16
16	31.26	34.63	37.23

17	30.43	23.11	35.32
18	33.65	31.64	36.02
19	32.05	33.43	34.81
20	31.22	32.65	36.37

**Tabel 6.** Data tegangan tembus pengujian Isolasi campuran gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dengan Nitrogen (N<sub>2</sub>) menggunakan elektroda jarum-batang pada jarak 1 cm dengan tegangan tinggi polaritas Positif

NO	POLARITAS POSITIF		
	25% CO <sub>2</sub> : 75% N <sub>2</sub>	50% CO <sub>2</sub> : 50% N <sub>2</sub>	75% CO <sub>2</sub> : 25% N <sub>2</sub>
1	48.18	53.94	53.58
2	52.37	52.38	51.88
3	51.78	55.1	51.22
4	49.69	53.15	53.41
5	49.62	53.38	51.88
6	50.74	53.44	52.44
7	50.18	54.02	54.1
8	50.5	54.3	51.66
9	50.77	53.77	53.13
10	49.37	52.75	53.32
11	48.7	54.62	52.67
12	48.3	54.17	53.3
13	53.63	55.16	51.44
14	52.46	55.22	50.45
15	51.61	55.59	52.77
16	50.49	54.89	50.58
17	50.02	53.31	53.08

18	51.66	52.9	52.71
19	50.71	52.51	53.19
20	50.71	52.87	50.52

**Tabel 7.** Data tegangan tembus pengujian Isolasi campuran gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dengan Nitrogen (N<sub>2</sub>) menggunakan elektroda jarum-batang pada jarak 1,5 cm dengan tegangan tinggi polaritas Positif

NO	POLARITAS POSITIF		
	25% CO <sub>2</sub> : 75% N <sub>2</sub>	50% CO <sub>2</sub> : 50% N <sub>2</sub>	75% CO <sub>2</sub> : 25% N <sub>2</sub>
1	58.72	76.8	74.57
2	72.3	76.91	73.96
3	71.37	74.73	73.73
4	70.02	76.29	72.76
5	74.56	76.88	73.13
6	73.89	76.48	74.23
7	74.4	77.85	75.66
8	74.37	76.37	74.01
9	72.31	75.84	72.54
10	73.2	78.03	74.73
11	70.36	77.75	72.07
12	73.2	77.1	72.81
13	71.59	75.37	73.6
14	72.74	74.91	74.4
15	75.07	75.67	74.11
16	73.35	77.04	74.45
17	72.74	77.44	74
18	72.6	74.92	73.53
19	74.79	73.02	74.48
20	72.67	73.21	74.74

**Tabel 8.** Data tegangan tembus pengujian Isolasi campuran gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dengan Nitrogen (N<sub>2</sub>) menggunakan elektroda jarum-batang pada jarak 2 cm dengan tegangan tinggi polaritas Positif

NO	POLARITAS POSITIF		
	25% CO <sub>2</sub> : 75% N <sub>2</sub>	50% CO <sub>2</sub> : 50% N <sub>2</sub>	75% CO <sub>2</sub> : 25% N <sub>2</sub>
1	77.15	87.96	89.07
2	81.15	88.3	87.78

3	80.18	87.16	86.94
4	82.07	89.02	90.51
5	86.62	92.66	90.51
6	87.55	90.12	91.06
7	87.47	86.91	89.83
8	83.01	87.74	92.84
9	88.77	86.82	88.84
10	88.39	87.79	90.75
11	89.55	89.9	93.47
12	89.12	87.86	94.07
13	88.73	90.04	88.86
14	88.7	88.38	93.4
15	88.6	90.93	91.43
16	89.2	94.32	91.18
17	87.97	86.11	89.44
18	89.29	87.38	92.6
19	88.29	90.44	93.07
20	88.36	85.85	92.68

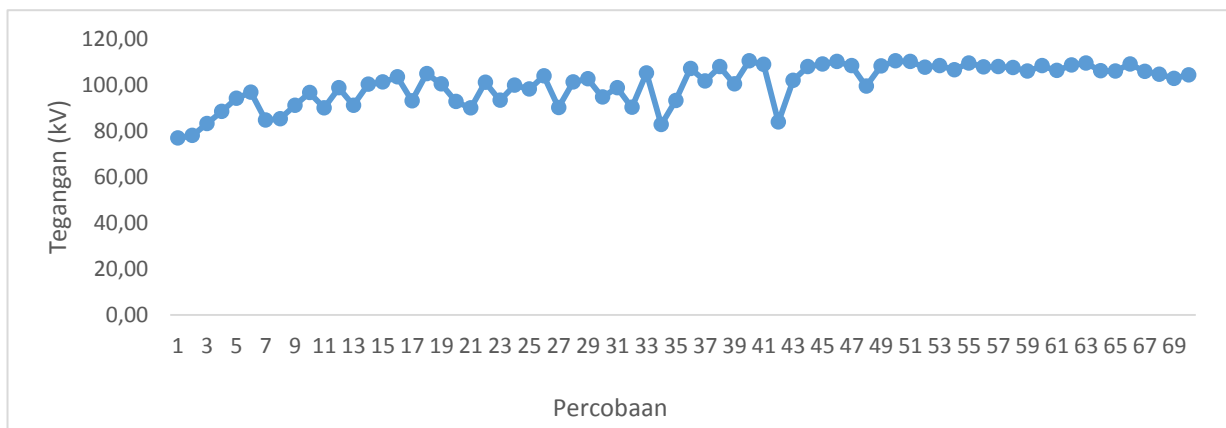
Dari tabel 4 hingga tabel 8, didapat besar tegangan tembus pada menggunakan elektroda jarum-batang. Tegangan tembus akan berubah secara proporsional dengan bertambahnya besar sela yang digunakan.

#### 4.3 Analisa Ketahanan Isolasi Campuran Gas Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dengan Nitrogen (N<sub>2</sub>)

Uji ketahanan isolator dilakukan untuk melihat karakteristik dari isolator gas saat diberikan tegangan tinggi apakah mempengaruhi besar tegangan tembus yang terjadi atau tidak. Pengujian dilakukan sebanyak 70 kali pengujian dengan selang waktu tiap pengujian selama 3 menit. Berikut data pengujian ketahanan pada tabel 7.

Pengujian ketahanan dilakukan dengan menggunakan elektroda bola-bola diameter 5 cm dengan perbandingan gas 50% CO<sub>2</sub> : 50% N<sub>2</sub>. Data percobaan dihitung menggunakan standar VDE 0432-2 sehingga didapat rata-rata tegangan tembus yang terjadi sebesar 104,70 kV.





**Gambar 13.** Grafik tegangan tembus uji ketahanan isolasi campuran gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dengan nitrogen (N<sub>2</sub>) terhadap tegangan tinggi polaritas positif

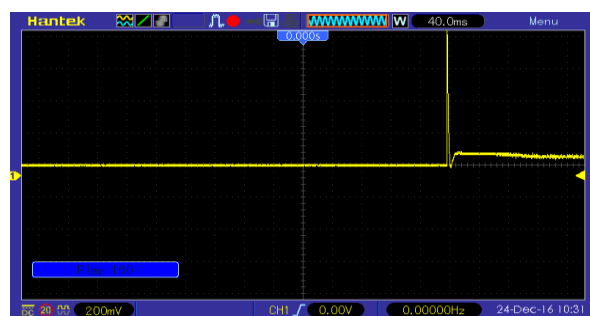
**Tabel 7.** Data tegangan tembus uji ketahanan Isolasi campuran gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dengan nitrogen (N<sub>2</sub>) terhadap tegangan tinggi polaritas positif.

Perc	V (kV)	Perc	V (kV)
1	77.07	36	107.38
2	78.14	37	101.95
3	83.37	38	108.17
4	88.62	39	100.62
5	94.35	40	110.63
6	97.02	41	109.12
7	84.89	42	84.04
8	85.46	43	102.20
9	91.29	44	108.14
10	96.87	45	109.33
11	90.22	46	110.37
12	98.91	47	108.55
13	91.32	48	99.61
14	100.44	49	108.42
15	101.43	50	110.68
16	103.66	51	110.34
17	93.27	52	107.93
18	105.12	53	108.66
19	100.58	54	106.79
20	92.91	55	109.76
21	90.15	56	108.07
22	101.39	57	108.14
23	93.53	58	107.82
24	100.11	59	106.22
25	98.38	60	108.53

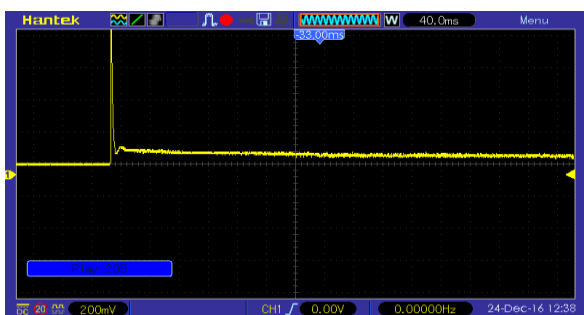
26	104.16	61	106.47
27	90.39	62	108.82
28	101.51	63	109.71
29	102.82	64	106.33
30	94.86	65	106.23
31	99.02	66	109.33
32	90.45	67	106.12
33	105.42	68	104.85
34	82.87	69	103.03
35	93.45	70	104.60

Pada gambar 7 dapat dilihat tren tegangan tembus yang terjadi dari percobaan pertama hingga terakhir mengalami perubahan yaitu mengalami kenaikan besar tegangan tembus. Hal ini dipengaruhi oleh sifat dan karakteristik dari gas yang digunakan.

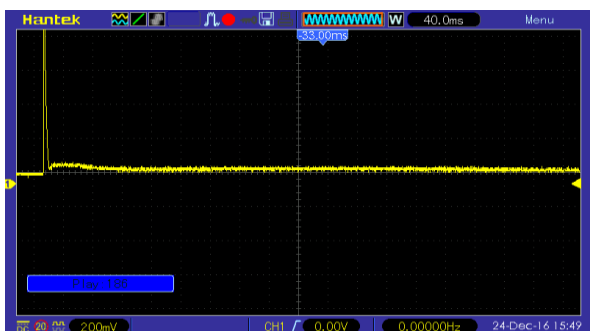
Dari pengujian didapatkan juga grafik tegangan keluaran osiloskop, dari grafik ini dapat dihitung arus dan lama waktu tegangan tembus yang terjadi mulai dari tegangan tembus terjadi hingga kembali ke kondisi normal.



**Gambar 14.** Grafik tegangan tembus uji ketahanan percobaan 1



**Gambar 15.** Grafik tegangan tembus uji ketahanan percobaan 26



**Gambar 16.** Grafik tegangan tembus uji ketahanan percobaan 70

Dari grafik 8 didapat arus yang timbul sebesar 90,4 A selama 2 ms, pada grafik 9 arus yang timbul sebesar 104,8 A selama 4 ms, pada grafik 10 timbul arus sebesar 104,8 A selama 5,6 ms.

Dari perbedaan arus yang timbul menunjukkan adanya perubahan kemampuan gas uji dalam hal ini campuran gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dengan nitrogen ( $\text{N}_2$ ) dalam fungsinya sebagai bahan isolasi.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan hasil pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Semakin luas permukaan elektroda maka semakin besar tegangan tembus.
2. Semakin jauh jarak antar elektroda maka semakin besar tegangan tembus.
3. Pada penggunaan elektroda bola-bola yang diberi tegangan tinggi polaritas positif, tegangan tembus isolasi dengan perbandingan gas sebesar 25%  $\text{CO}_2$  : 75%  $\text{N}_2$  lebih besar jika dibandingkan dengan perbandingan 50%  $\text{CO}_2$  : 50%  $\text{N}_2$  dan 75%  $\text{CO}_2$  : 25%  $\text{N}_2$ .
4. Pada penggunaan elektroda jarum-batang yang diberi tegangan tinggi polaritas positif, tegangan tembus isolasi dengan perbandingan gas 75%  $\text{CO}_2$  : 25%  $\text{N}_2$  lebih besar jika dibandingkan

dengan perbandingan 50%  $\text{CO}_2$  : 50%  $\text{N}_2$  dan 25%  $\text{CO}_2$  : 75%  $\text{N}_2$ .

5. Ketahanan isolasi campuran gas karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ) dengan nitrogen ( $\text{N}_2$ ) yang diberikan tegangan tinggi polaritas positif memiliki tren tegangan tembus yang relatif mengalami kenaikan sebesar 77,07 kV sampai 110,68 kV.

## Daftar Pustaka

- F. Sadaoui and A. Beroual. 2013. Surface Discharges over insulators of various materials in presence of SF6, CO2, N2 and SF6-CO2 and SF6-N2 Mixtures under DC voltage. University of Lyon.
- I Made Yulistya Negara. 2013. *Teknik Tegangan Tinggi Prinsip dan Aplikasi Praktis*. Yogyakarta. Penerbit Graha Ilmu
- 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.
- Lim - Dong-Young , Sungwoo Bae. 2015. Study on Oxygen/Nitrogen Gas Mixtures for the Surface Insulation Performance in Gas Insulated Switchgear.. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 22:1567-1576.
- Syamsir Abduh. 2001. *Dasar Pembangkit dan Pengukuran Teknik Tegangan Tinggi*. Jakarta. Penerbit Salemba Teknika
- Valentino Tarigan. 2016. Pengaruh banyaknya Tembus dan Variasi Tekanan Gas terhadap Kekuatan Dielektrik Gas Nitrogen [skripsi]. Medan. Departemen Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara
- Wildan Rahadian Putra, I Made Yulistya Negara, IGN Satriyadi. 2015. Pengaruh Bentuk dan Material Elektrode terhadap *Partial Discharge*. Surabaya. Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November (ITS).
- William Steven Sijabat. 2015. Pengaruh Kelembaban Terhadap Tegangan Tembus Udara Pada Elektroda Bola Yang Terpolusi Asam [skripsi]. Medan. Departemen Teknik Elektro, Universitas Sumatera Utara
- Zhijie Jia, Ping Liu, Jianming Li, Lin Yang. 2012. Flashover Characteristics along the Epoxy Resin Insulator under DC Voltage in SF6 Gas. International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring.