

Studi Karakteristik Tegangan Tembus DC Polaritas Positif Pada Gas Nitrogen (N_2)

Tumpal Pardede*, Fri Murdiya**

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

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email: tumpalpardede@gmail.com

ABSTRACT

Insulation of Sulfur hexafluoride (SF_6) gas, nitrogen (N_2) gas and Carbon Dioxide (CO_2) gas usually used in circuit breaker. Sulfur hexafluoride (SF_6) gas is widely used in high-voltage system. Sulfur hexafluoride (SF_6) gas has a higher dielectric strength than the dielectric strength of air. However, Sulfur hexafluoride (SF_6) gas is not environmentally friendly and very impact on global warming.

The purpose of this study was to test the breakdown voltage of nitrogen (N_2) gas is more environmentally friendly as an alternative to insulation of sulfur hexafluoride (SF_6) gas. This study use electrodes balls and needles with a distance of 0.5-2 cm and use pressure of 1-4 bar being tested as much as 20 times the experiment. From the test results obtained that the breakdown voltage electrode bigger balls than the electrode needles. Electrode balls with a distance of 2 cm and a pressure of 4 bar has a value of breakdown voltage greater than 140 kV, while the electrode needles with a distance of 2 cm and a pressure of 4 bar has a breakdown voltage of 79 kV.

Keywords : *Electrodes, Nitrogen (N_2) Gas, Insulation of Gas, Dielectric Strength, Breakdown*

1. PENDAHULUAN

Isolasi merupakan salah satu alat penting dalam sistem tenaga listrik yang digunakan untuk memisahkan kawat penghantar listrik sehingga tidak terjadi lompatan listrik. Kegagalan yang terjadi ketika peralatan sedang bekerja dapat mengakibatkan kerusakan peralatan sehingga kontinuitas sistem tidak berjalan dengan baik. Isolasi harus sanggup menahan tegangan tembus dari tegangan tinggi. [1]

Udara adalah salah satu isolasi gas yang sering digunakan untuk peralatan listrik tegangan tinggi. Hal ini dikarenakan kekuatan dielektrik isolasi gas lebih besar dibandingkan isolasi padat dan cair. Namun, kekuatan dielektrik udara untuk isolasi gas termasuk isolasi gas yang terendah. Isolasi gas yang biasanya

digunakan teknisi atau orang-orang pada umumnya, yaitu SF_6 , N_2 dan CO_2 . [2]

Kebanyakan sistem tenaga listrik menggunakan bahan isolasi seperti gas SF_6 . Gas SF_6 memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekuatan dielektrik udara. Namun, gas SF_6 tidak ramah lingkungan sehingga diperlukan penelitian gas alternatif yang ramah lingkungan sebagai pengganti gas SF_6 , seperti: SF_6-N_2 , $SF_6-N_2-O_2$, dan gas-gas lainnya.

Sulfur Hexafluoride (SF_6) sudah berhasil digunakan oleh industri listrik sebagai peralatan isolasi tenaga listrik. Namun, gas itu tidak ramah lingkungan dan menimbulkan efek rumah kaca. Kemudian isolasi gas dilakukan dengan menggabungkan dengan gas nitrogen (N_2) dan dapat menjadi pengganti yang baik

untuk isolasi listrik seperti *Gas Insulated Transmission Lines* (GILs). [3]

Sulfur Hexafluoride (SF_6) telah banyak digunakan untuk isolasi gas pada tegangan tinggi, seperti pada *Gas Insulated Switchgear* (GIS), *Gas Circuit Breaker* (GCB), *Gas Insulated Transmission Lines* (GILs). Sementara di sisi lain, media-media isolasi gas harus ramah lingkungan seperti ditetapkan pada konferensi iklim di Kyoto. [4]

Maka dilakukan penelitian dan percobaan untuk mencari pengganti dari SF_6 sebagai alternatif isolasi gas, yaitu menggunakan gas nitrogen (N_2) yang lebih ramah lingkungan.

2. LANDASAN TEORI

Sistem tegangan tinggi saat ini telah banyak berkembang, baik dari besarnya tegangan yang digunakan pada jaringan transmisi dan distribusi tenaga listrik maupun dari peningkatan isolasi yang digunakan. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem isolasi yang memastikan tidak ada kontak langsung antara tiang penyangga dengan penghantar tegangan tingginya. Namun, suatu isolator dapat berkurang keandalannya karena pengaruh alam seperti hujan. [5]

Isolasi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik. Isolasi berfungsi untuk memisahkan dua atau lebih penghantar listrik yang bertegangan sehingga tidak terjadi lompatan listrik atau busur api. Isolasi terbagi menjadi tiga jenis, yaitu isolasi gas, cair, dan padat. Jenis isolasi tersebut digunakan sesuai dengan kebutuhan pengisolasian masing-masing. [6]

Kemampuan isolasi dalam menahan tegangan mempunyai batas-batas tertentu sesuai dengan material penyusun dan lingkungan sekitarnya. Apabila tegangan yang diterapkan melebihi kuat medan isolasi maka akan terjadi tembus (*breakdown*) yang menyebabkan terjadinya aliran arus antara peralatan tegangan tinggi. [7]

Isolasi gas merupakan isolasi yang sangat banyak digunakan pada saat ini. Udara, *Sulfur Hexafluoride* (SF_6), *Carbon dioxide* (CO_2) dan isolasi vakum merupakan jenis isolasi gas yang sudah banyak digunakan dan semakin luas penggunaannya sampai saat ini. Penggunaan yang luas tentunya menimbulkan masalah dari bahan isolasi ini sehingga dibutuhkan penelitian sebelum digunakan. [8]

Udara pada tekanan atmosfer adalah isolasi gas yang paling umum digunakan. Tegangan tembus pada isolasi gas terjadi karena adanya tumbukan ion-ion yang disebut ionisasi. Elektron pada ionisasi mampu menggandakan elektron kembali secara eksponensial, dan jika tegangan diberi cukup besar maka kerusakan isolasi gas juga akan besar. Contoh isolasi gas yang memiliki kekuatan dielektrik yang besar adalah *Sulfur Hexafluoride* (SF_6), nitrogen (N_2) dan *Carbon dioxide* (CO_2). [9]

Tegangan tembus merupakan suatu keadaan saat medan magnet dinaikan (tegangan terus menerus dinaikan), maka atom-atom akan terionisasi. Ketika sampai batas kemampuan isolator tersebut menahan tegangan, maka isolator tersebut akan berubah menjadi konduktor. Saat kritis ini terjadi disebut tegangan tembus (*breakdown*). Pengujian terhadap tegangan tembus diperlukan untuk mengetahui titik kritis suatu isolasi. [10]

Pengujian tegangan tembus dengan isolasi gas menggunakan beberapa macam elektroda, salah satunya elektroda bola-bola. Elektroda bola standar terdiri dari dua elektroda bola yang disusun pada satu sumbu dengan jarak kedua elektroda yang dapat diatur. Nilai tegangan tembus tetap untuk tegangan ac, tegangan dc maupun tegangan impuls dengan syarat kondisi udara tidak berubah. Sifat dielektrik udara ini menjadi dasar pengukuran tegangan tinggi dengan elektroda bola standar. [11]

2.1 Proses Terjadinya Ionisasi

Ion merupakan gabungan atom yang memiliki muatan listrik. Proses terjadinya pembentukan ion disebut ionisasi. Jika dua elektroda yang berada dalam suatu media gas diberi tegangan (V), maka akan timbul suatu medan listrik (E) yang memiliki besar dan arah tertentu yang menghasilkan elektron bebas untuk merangsang terjadinya ionisasi. Benturan-benturan yang akan membebaskan elektron lebih dapat terjadi karena tiap-tiap elektron menuju ke anoda secara kontiniu. Ionisasi menjadi bagian yang penting dalam proses kegagalan isolasi udara atau gas.

2.2 Proses Dasar Kegagalan Gas

Proses dasar ada dua jenis, yaitu:

- Proses atau mekanisme primer, yang memungkinkan terjadinya banjir (*avalanche*) elektron.
- Proses atau mekanisme sekunder, yang memungkinkan terjadinya banjir elektron.

Proses yang paling penting dalam mekanisme primer adalah proses katoda, yaitu ketika salah satu elektroda melepaskan elektron yang mengawali terjadinya kegagalan percikan.

2.3 Sistem Pengukuran Tegangan Tembus Dielektrik Udara

Apabila suatu bahan isolasi diberi tegangan ac, maka pada bahan isolasi tersebut akan timbul rugi-rugi dielektrik. Rugi-rugi ini berubah menjadi panas yang menyebabkan temperatur bahan isolasi naik. Rugi-rugi ini berasal dari rugi-rugi pada resistansi bahan isolasi (i^2r) atau rugi-rugi konduktif. Sumber kedua ialah rugi-rugi pada resistansi kontak antara dua bahan isolasi berdampingan. Sumber ketiga ialah terjadinya peluahan pada rongga udara yang mungkin ada didalam bahan isolasi. Sumber keempat ialah rugi-rugi dipol, yaitu panas karena adanya gesekan antar molekul dipol bahan isolasi ketika molekul dipol mengikuti arah

medan elektrik yang terjadi pada bahan isolasi tersebut. [11]

Tabel 2.1 Kekuatan dielektrik isolasi beberapa gas

Gas	Massa Jenis kg/m ³	Konduktivitas panas W/Q .m	Tegangan tembus kV/cm
Uda	1,228	$5 \cdot 10^{-6}$	30
SF ₆	6,139	$1,9 \cdot 10^{-5}$	75
N ₂	1,191	$5,4 \cdot 10^{-6}$	30
CO ₂	1,867	$3,2 \cdot 10^{-6}$	27
H ₂	0,086	$3,3 \cdot 10^{-5}$	18

2.4 Distribusi Weibull

Probabilitas dan statistik memiliki beberapa macam metode, salah satunya metode distribusi Weibull yang bersifat kontiniu. Distribusi Weibull dicetuskan oleh Waloddi Weibull pada tahun 1951. Distribusi Weibull merupakan suatu metode yang digunakan untuk memperkirakan probabilitas mesin peralatan berdasarkan data yang ada. Distribusi ini sangat bermanfaat karena kapabilitas dan sedikit sampelnya, serta kemampuannya dapat menunjukkan bentuk distribusi data yang terbaik. [12]

2.4.1 Parameter Distribusi Weibull

Setiap pola distribusi statistika memiliki parameter tersendiri. Distribusi Weibull memiliki 2 parameter yaitu parameter bentuk (*shape parameter*) dan parameter skala (*scale parameter*). Parameter bentuk (*shape parameter*) menunjukkan laju kerusakan data dari distribusi Weibull. Parameter skala (*scale parameter*) menunjukkan besarnya keragaman data dari distribusi Weibull.

2.4.2 Estimasi Dua Parameter Weibull

Ada dua metode untuk estimasi parameter Weibull. Metode yang digunakan untuk mencari parameter distribusi Weibull, yaitu metode grafik dan metode analisis. Metode grafik terdiri atas dua bagian yaitu plot probabilitas Weibull (*Weibull probability plotting*) dan teknik plot Hazard (*Hazard plotting tehnik*).

Metode analisis terdiri atas tiga jenis, yaitu: *Maximum Likelihood Estimator* (MLE), *Method of Moments* (MOM), *Least Square Method* (LSM). *Least Square Method* (LSM) digunakan untuk menghitung parameter distribusi Weibull karena lebih simpel dan praktis.

Fungsi peluang kumulatif:

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2.1)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (2.2)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (2.3)$$

$$1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (2.4)$$

$$F(t) = \frac{1}{(n+1)} \quad (2.5)$$

Lakukan $2x$ logaritma natural pada persamaan agar dapat persamaan linier:

$$\ln \ln \frac{1}{1-F(t)} = \beta \ln(t) - \beta \ln \alpha \quad (2.6)$$

$$\text{Misalkan : } \ln \ln \frac{1}{1-F(t)} = Y \quad (2.7)$$

$$\ln(t) = X \quad (2.8)$$

$$y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln(\ln(\frac{1}{1-F(t)}))) \quad (2.9)$$

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln t(i) \quad (2.10)$$

$$\beta = \frac{\{n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln t(i)) \cdot (\ln(\ln(\frac{1}{1-F(t)})))\} - \{\sum_{i=1}^n \ln(\ln(\frac{1}{1-F(t)}))\} \cdot \sum_{i=1}^n \ln t(i)}{\{n \cdot \sum_{i=1}^n \ln t(i)^2\} - \{\sum_{i=1}^n \ln t(i)\}^2} \quad (2.11)$$

$$\alpha = e^{y-x/\beta} \quad (2.12)$$

Dimana :

$F(t)$ = Fungsi Peluang Kumulatif

β = *Shape Parameter*

α = *Scale Parameter*

n = Jumlah Komulatif Kegagalan

3. Metodologi Penelitian

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2016 sampai Juli 2016 di Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Riau.

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan penelitian 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. Udara bertekanan
14. Gas Nitrogen (N_2)

3.3 Metode Pengumpulan Data

Data hasil pengukuran dicatat setiap kali dilakukan pengujian. Pengujian dilakukan sebanyak 20 kali untuk setiap variabel pengujian.

Adapun langkah-langkah pengujian yang dilakukan, antara lain:

1. Mengatur sela elektroda
2. Memasukkan gas nitrogen (N_2) ke dalam tabung uji.
3. Mengatur tekanan gas nitrogen (N_2) pada tabung uji.
4. Pengujian tegangan tembus pada isolasi gas nitrogen (N_2).

Data hasil pengujian dianalisa menggunakan microsoft excel dengan metode distribusi Weibull.

Selanjutnya akan dihasilkan kurva karakteristik yang menggambarkan probabilitas Weibull terhadap tegangan tembus jenis elektroda bola-bola dan elektroda jarum-jarum dengan jarak dan tekanan yang berbeda-beda. ^(2.12)

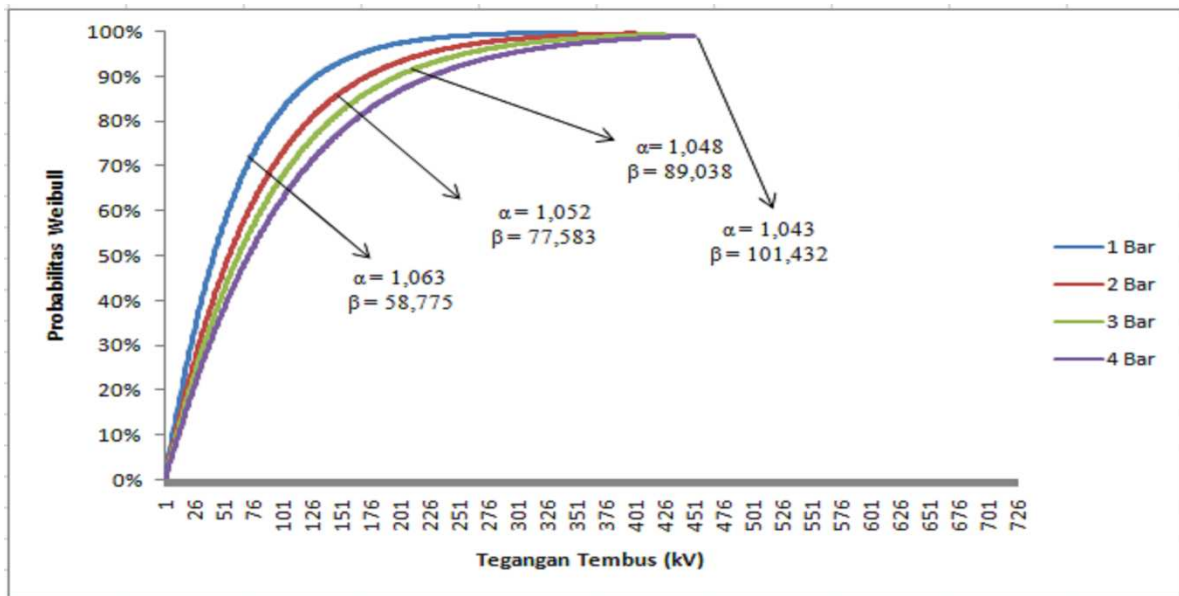
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Pengujian

Data diolah menggunakan metode distribusi Weibull melalui program pengolah data yaitu microsoft excel untuk melihat grafik tegangan tembus dari isolasi

gas nitrogen (N_2) dan udara. Pengujian dilakukan sebanyak 20 kali untuk setiap variabel menggunakan dua jenis elektroda dengan jarak berbeda dan tekanan yang berbeda. Awalnya, setiap sampel dimasukkan ke dalam wadah pengujian gas yang diisi gas nitrogen (N_2)

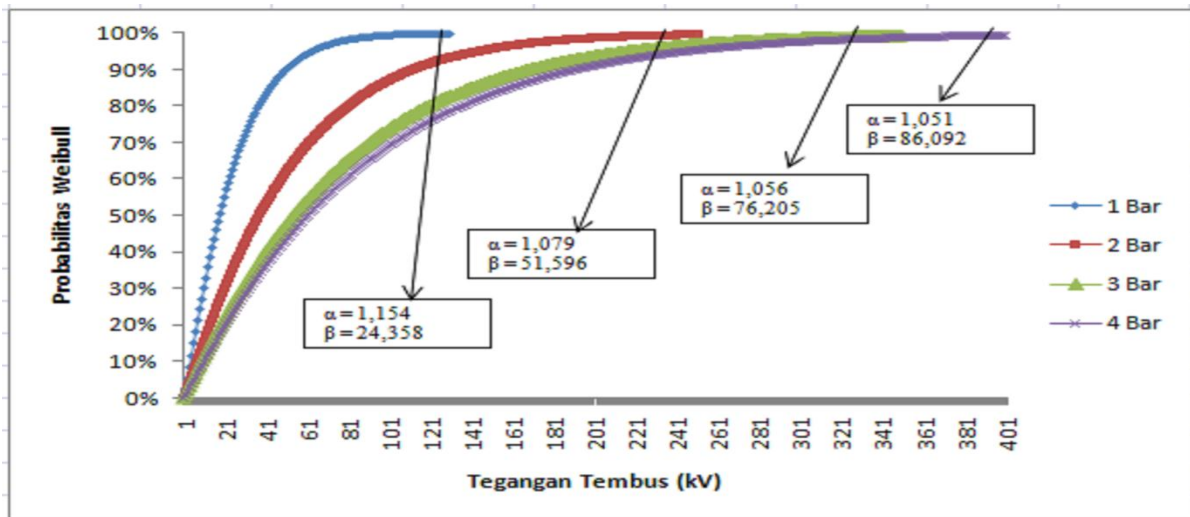
atau udara bertekanan (udara kompresor) dengan elektroda berbeda dan jarak berbeda. Selanjutnya, tegangan dinaikkan perlahan-lahan sampai terlihat tegangan tembus berupa api diantara kedua elektroda



Gambar 4.1 Kurva tegangan tembus isolasi gas nitrogen (N_2) elektroda bola-bola jarak sela 0,5 cm dengan tekanan 1-4 bar

Berdasarkan Gambar 4.1 dapat dilihat hasil pengujian isolasi gas nitrogen (N_2) elektroda bola-bola dengan jarak sela 0,5 cm pada probabilitas Weibull 100% diperoleh tegangan tembus sebesar 350 kV pada tekanan 1 bar, probabilitas Weibull 100% diperoleh tegangan tembus sebesar 400 kV pada tekanan 2 bar, probabilitas Weibull 100% diperoleh tegangan tembus sebesar 425 kV pada tekanan 3 bar dan probabilitas Weibull 100% diperoleh tegangan tembus sebesar 450 kV pada tekanan 4 bar. Gambar 4.1 menunjukkan probabilitas Weibull 50% diperoleh tegangan tembus sebesar 42 kV pada tekanan 1 bar, probabilitas Weibull 50% diperoleh tegangan tembus sebesar 55 kV

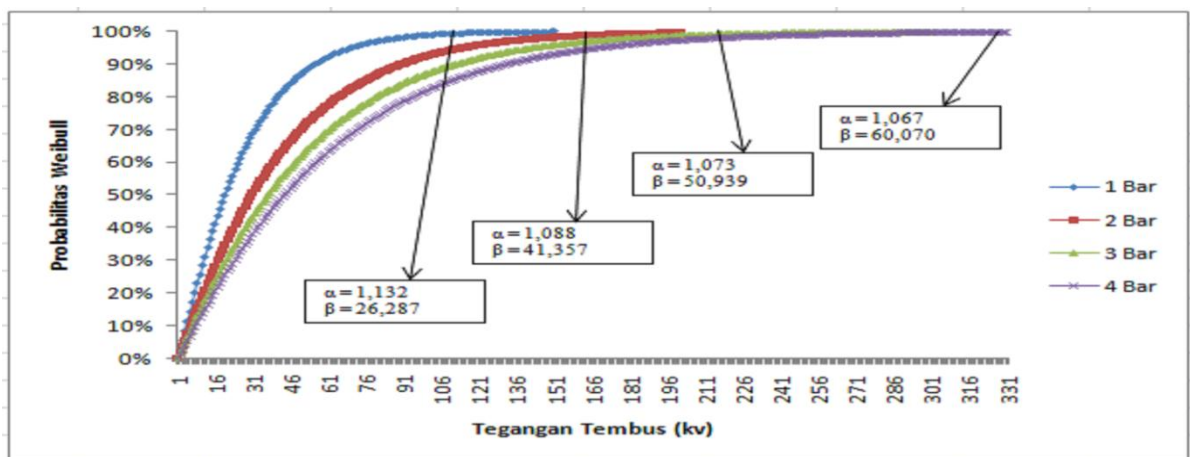
pada tekanan 2 bar, probabilitas Weibull 50% diperoleh tegangan tembus sebesar 63 kV pada tekanan 3 bar dan probabilitas Weibull 50% diperoleh tegangan tembus sebesar 74 kV pada tekanan 4 bar. Probabilitas Weibull sebesar 50% pada tekanan 1-4 bar, artinya bahwa sebanyak 20 kali pengujian menghasilkan 10 kali pengujian tembus listrik dan 10 kali pengujian tidak tembus listrik. Berdasarkan kurva karakteristik pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa tegangan tembus berbanding lurus dengan tekanan, artinya semakin besar tekanan yang diberikan, maka semakin besar pula tegangan tembus yang dihasilkan.



Gambar 4.2 Kurva tegangan tembus isolasi udara elektroda bola-bola jarak sela 0,5 cm dengan tekanan 1-4 bar

Dari Gambar 4.2 dapat dilihat hasil pengujian isolasi udara menggunakan elektroda bola-bola dengan jarak sela 0,5 cm dengan nilai probabilitas Weibull 100% menghasilkan tegangan tembus sebesar 130 kV pada tekanan 1 bar, nilai probabilitas Weibull 100% menghasilkan tegangan tembus sebesar 250 kV pada tekanan 2 bar, nilai probabilitas Weibull 100% menghasilkan tegangan tembus sebesar 350 kV pada tekanan 3 bar dan nilai probabilitas Weibull 100% menghasilkan tegangan tembus sebesar 400 kV pada tekanan 4 bar. Gambar 4.2 menunjukkan bahwa nilai probabilitas Weibull 50% menghasilkan tegangan tembus sebesar 18 kV pada tekanan 1 bar, nilai probabilitas Weibull 50% menghasilkan tegangan tembus sebesar 37

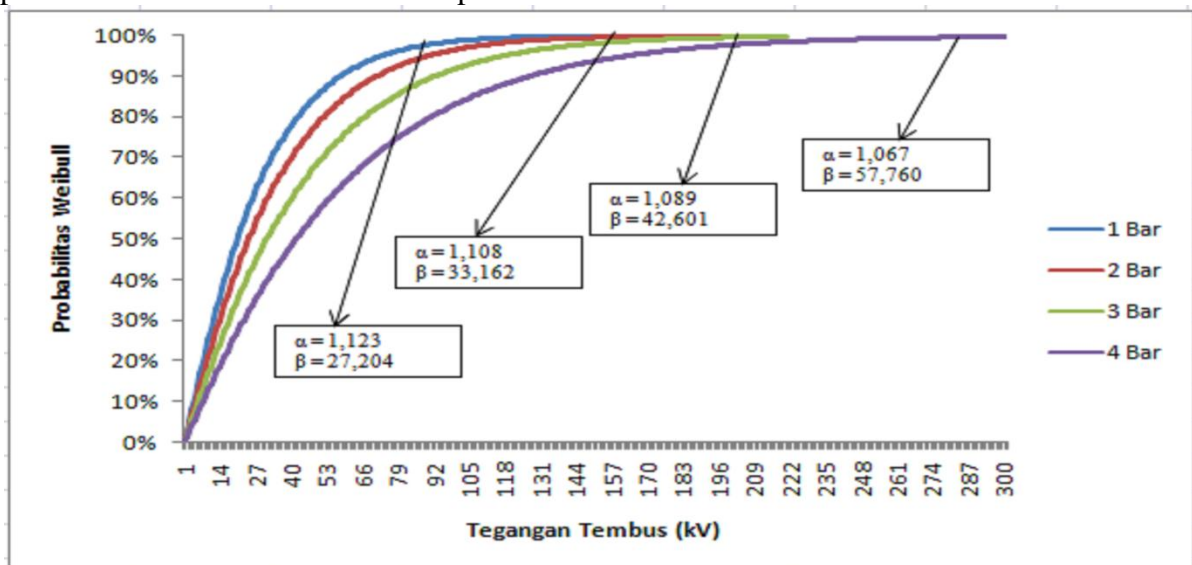
kV pada tekanan 2 bar, nilai probabilitas Weibull 50% menghasilkan tegangan tembus sebesar 54 kV pada tekanan 3 bar dan nilai probabilitas Weibull 50% menghasilkan tegangan tembus sebesar 61 kV pada tekanan 4 bar. Probabilitas Weibull sebesar 50% pada tekanan 1 bar sampai 4 bar yaitu, bahwa sebanyak 20 kali dilakukannya pengujian menghasilkan sebanyak 10 kali pengujian tembus listrik (*breakdown*) dan sebanyak 10 kali pengujian tidak tembus listrik. Berdasarkan kurva karakteristik pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa tegangan tembus berbanding lurus dengan tekanan gas, artinya semakin besar tekanan gas yang diberikan, maka semakin besar juga tegangan tembus yang dihasilkan.



Gambar 4.3 Kurva tegangan tembus isolasi gas nitrogen (N₂) elektroda jarum-jarum jarak sela 0,5 cm dengan tekanan 1-4 bar

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat dilihat kurva hasil pengujian dari isolasi gas nitrogen (N₂) elektroda jarm-jarum dengan jarak sela 0,5 cm dengan nilai probabilitas Weibull 100% menghasilkan besar tegangan tembus sebesar 150 kV pada tekanan 1 bar, nilai probabilitas Weibull 100% menghasilkan besar tegangan tembus sebesar 200 kV pada tekanan 2 bar, nilai probabilitas Weibull 100% menghasilkan besar tegangan tembus sebesar 300 kV pada tekanan 3 bar dan nilai probabilitas Weibull 100% menghasilkan besar tegangan tembus sebesar 330 kV pada tekanan 4 bar. Gambar 4.3 menunjukkan probabilitas Weibull 50% diperoleh tegangan tembus sebesar 20 kV pada tekanan gas 1 bar, probabilitas Weibull 50% diperoleh

tegangan tembus sebesar 30 kV pada tekanan gas 2 bar, probabilitas Weibull 50% diperoleh tegangan tembus sebesar 37 kV pada tekanan gas 3 bar dan probabilitas Weibull 50% diperoleh tegangan tembus sebesar 43 kV pada tekanan gas 4 bar. Probabilitas Weibull sebesar 50% pada tekanan 1 bar sampai 4 bar yaitu, bahwa sebanyak 20 kali dilakukannya pengujian menghasilkan sebanyak 10 kali pengujian tembus listrik (*breakdown*) dan sebanyak 10 kali pengujian tidak tembus listrik. Berdasarkan kurva karakteristik pada Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa tegangan tembus berbanding lurus dengan tekanan gas, artinya semakin besar tekanan gas yang diberikan, maka semakin besar juga tegangan tembus yang dihasilkan.



Gambar 4.4 Kurva tegangan tembus isolasi udara elektroda jarum-jarum jarak sela 0,5 cm dengan tekanan 1-4 bar

Berdasarkan dari Gambar 4.4 dilihat bahwa kurva hasil pengujian isolasi udara elektroda jarm-jarum dengan jarak sela 0,5 cm pada probabilitas Weibull 100% diperoleh tegangan tembus sebesar 150 kV dengan tekanan gas 1 bar, probabilitas Weibull 100% diperoleh tegangan tembus sebesar 200 kV dengan tekanan gas 2 bar, probabilitas Weibull 100% diperoleh tegangan tembus sebesar 220 kV dengan tekanan gas 3 bar dan probabilitas Weibull 100% diperoleh tegangan tembus sebesar 300 kV dengan tekanan gas 4 bar. Gambar 4.4

menunjukkan besar nilai probabilitas Weibull 50% diperoleh tegangan tembus sebesar 20 kV pada tekanan gas 1 bar, besar nilai probabilitas Weibull 50% diperoleh tegangan tembus sebesar 24 kV pada tekanan gas 2 bar, besar nilai probabilitas Weibull 50% diperoleh tegangan tembus sebesar 31 kV pada tekanan gas 3 bar dan besar nilai probabilitas Weibull 50% diperoleh tegangan tembus sebesar 41 kV pada tekanan gas 4 bar. Probabilitas Weibull sebesar 50% pada tekanan 1 bar sampai 4 bar yaitu bahwa sebanyak 20 kali

pengujian yang dilakukan menghasilkan 10 kali pengujian tembus listrik (*breakdown*) dan 10 kali pengujian tidak tembus listrik. Berdasarkan kurva karakteristik pada Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa tegangan tembus berbanding lurus dengan tekanan gas, artinya semakin besar tekanan gas yang diberikan, maka semakin besar pula tegangan tembus yang dihasilkan.

4.2 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan data yang telah diolah menghasilkan grafik yang berbanding lurus. Artinya, semakin besar tekanan gas pada wadah maka semakin besar juga tegangan tembusnya. Dan apabila semakin besar jarak antar elektroda maka semakin besar juga tegangan tembusnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa elektroda bola-bola jauh lebih besar tegangan tembusnya dibandingkan elektroda jarum-jarum dengan tekanan gas yang sama dan jarak yang sama antar elektroda. Hal ini dikarenakan elektroda bola-bola memiliki medan elektromagnetik yang seragam (*uniform*), sementara elektroda jarum-jarum medan elektromagnetiknya tidak seragam.

Probabilitas Distribusi Weibull bisa digunakan untuk menganalisa besar probabilitas tegangan tembus pada isolasi gas nitrogen (N_2) dan karbon dioksida (CO_2) dengan beberapa jenis tekanan dan jenis elektroda yang digunakan [13]

Untuk isolasi pada saluran tegangan tinggi, isolasi gas nitrogen (N_2) sangat layak dan bagus untuk digunakan dan juga isolasi gas nitrogen (N_2) bagus untuk tegangan tinggi, terutama pada pemutus daya (*circuit breaker*) namun untuk kekuatan dielektriknya sendiri isolasi gas nitrogen (N_2) tidak sebanding dengan *heksa fluoride* (SF_6) tetapi gas nitrogen (N_2) jauh lebih ramah lingkungan dibandingkan (SF_6). [4]

Hasil pengujian isolasi gas nitrogen (N_2) dan isolasi udara menunjukkan bahwa tegangan tembus isolasi gas nitrogen (N_2) lebih besar dibandingkan isolasi udara

pada elektroda bola-bola dan elektroda jarum-jarum dengan tekanan 1-4 bar. Artinya kekuatan dielektrik isolasi gas nitrogen (N_2) lebih besar dibandingkan kekuatan dielektrik isolasi udara. Gas nitrogen (N_2) juga bersifat dingin dan juga gas nitrogen mampu memadamkan api. Hal ini mengindikasikan bahwa gas nitrogen (N_2) lebih baik digunakan untuk isolasi gas pada CB (*circuit breaker*) atau *switchgear* dibandingkan dengan udara.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Tegangan tembus isolasi gas nitrogen (N_2) lebih besar dibandingkan isolasi udara pada tekanan 1-4 bar, elektroda bola-bola dan elektroda jarum-jarum dengan jarak 0,5-2,0 cm.
2. Tekanan isolasi gas nitrogen (N_2) berbanding lurus dengan tegangan tembus pada elektroda bola-bola dan elektroda jarum-jarum dengan jarak 0,5-2,0 cm.
3. Tegangan tembus pada elektroda bola-bola lebih besar bila dibandingkan dengan tegangan tembus pada elektroda jarum-jarum.

5.2 Saran

Penelitian ini masih perlu dilanjutkan dan dikembangkan dengan melakukan penelitian untuk menghitung besar arus pada tegangan tembus dan menghitung pulse menggunakan osiloskop tegangan tembus di Laboratorium Tegangan Tinggi Teknik Elektro Universitas Riau. Selain itu, penelitian ini juga dapat dilanjutkan dengan polaritas negatif untuk melihat karakteristik tegangan tembus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] Abdel-Salam M, Hussein A, Ahdab E, Roshdy R. 2000. High-Voltage Engineering Theory and Practice. Di dalam: Marlin OT, editor. *Electrical and Computer Engineering*. Columbus: The Ohio State University Department of Electrical Engineering.
- [3] Cassanovas AM, J Cassanovas. 2005. Decomposition of High-Pressure (400 kPa) SF₆-CO₂, SF₆-CO, SF₆-N₂-CO₂ and SF₆-N₂-CO Mixture under Negative DC Coronas. *Journal of Physics D*. 38:1556-1564
- [4] 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.
- [5] Anggara S. 2013. Pengaruh Curah Hujan pada Tegangan Bolak-Balik Lewat Denyar Isolator Gantung Keramik [skripsi]. Yogyakarta: Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- [6] Ueno H, N Sakomoto, T Hoshida, H Nakayama. 2004. Corona and Breakdown Characteristics between Sphere Electrode with a Protrusion and Plane Electrode under Negative Pulse Voltage in N₂ Gas. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 11:1065-1072.
- [7] Siswanto. 2013. Analisa Perbandingan Nilai Tegangan Tembus Dielektrik Udara pada Kondisi Basah dengan Cairan Dominan Asam, Basa, Garam, Cairan Hujan di Wilayah Pantai, dan di Kawasan Industri dengan Elektroda Bola-Bola dan Elektroda Jarum-Jarum [jurnal skripsi]. Semarang: Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.
- [8] Toyota Hiroyuki, Shigeyuki Z, Yotaro A, Shigeyasu M, Kunihiro H. 2002. Gaseous Electrical Discharge Characteristics in Air and Nitrogen at Cryogenic Temperature. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*. 9:891-898.
- [9] Naidu MS, V Kamaraju. 1996. *High Voltage Engineering Second Edition*. Amerika: The McGraw-Hill Companies
- [10] Nur Sugeng, Hamzah Berahim. 2009. Analisis Pengaruh Keadaan Suhu Terhadap Tegangan Tembus AC dan DC pada Minyak Transformator. *Jurnal Teknik Elektro*. 1:93-99.
- [11] L. Bonggas. 2012. Dasar-Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi Edisi Kedua. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [12] Christian John. 2013. Analisa Keandalan Transformator Daya Menggunakan Distribusi Weibull [skripsi]. Medan: Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- [13] Kiyon Tsuyoshi, T Ihara, S Kameda, T Furosato, M Hara, H Akiyama. 2011. Weibull Statistical Analysis of Pulsed Breakdown Voltages In High-Pressure Carbon Dioxide Including Supercritical Phase. *IEEE Transaction On Plasma Science*. 39: 1729-1735