

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam perkembangan teknologi modern, kebutuhan akan sistem isolasi listrik yang andal dan efisien semakin meningkat, terutama dalam aplikasi tegangan tinggi seperti pada sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik, peralatan laboratorium, serta perangkat elektronik canggih. Salah satu aspek penting dalam sistem isolasi listrik adalah kemampuan bahan isolasi untuk menahan tegangan tembus, yaitu tegangan maksimum yang dapat diterima oleh suatu bahan isolasi sebelum terjadi peristiwa pelepasan muatan listrik atau *breakdown*. Gas nitrogen (N_2) merupakan salah satu bahan isolasi gas yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi kelistrikan karena sifat dielektriknya yang baik, ketersediaannya yang melimpah, serta sifat kimiawinya yang relatif inert dan tidak mudah bereaksi dengan bahan lain.

Selain memiliki sifat dielektrik yang baik dan stabil secara kimia, gas nitrogen (N_2) juga lebih unggul dari segi biaya dibandingkan Sulfur Hexafluoride. SF_6 memang memiliki kekuatan isolasi tinggi, namun biaya pengadaan dan pengelolaannya mahal serta berdampak terhadap lingkungan. Sebaliknya, nitrogen melimpah di atmosfer, mudah diperoleh, dan lebih ekonomis, sehingga menjadi alternatif yang menarik baik dari sisi teknis maupun biaya dalam aplikasi kelistrikan.

Secara umum, fenomena tegangan tembus pada isolasi gas sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya adalah tekanan gas, suhu, kelembapan, serta bentuk dan konfigurasi elektroda yang digunakan. Dalam konteks ini, bentuk elektroda memegang peranan penting dalam menentukan distribusi medan listrik di sekitar elektroda dan isolasi gas. Variasi bentuk elektroda dapat menyebabkan konsentrasi medan listrik yang berbeda, sehingga mempengaruhi nilai tegangan tembus yang terjadi pada gas nitrogen sebagai media isolasi.

Kondisi ideal dalam sistem isolasi gas adalah tercapainya tegangan tembus tinggi dengan distribusi medan listrik yang merata, sehingga sistem dapat bekerja optimal dan aman tanpa terjadi *breakdown*. Namun, variasi bentuk elektroda sering menyebabkan konsentrasi medan listrik pada titik tertentu, yang menurunkan tegangan tembus dan meningkatkan risiko kegagalan.

Fenomena ini penting dikaji karena kegagalan isolasi pada sistem tegangan tinggi dapat menimbulkan gangguan besar, kerusakan peralatan, serta membahayakan keselamatan. Oleh karena itu, pemahaman hubungan antara variasi bentuk elektroda dan tegangan tembus pada isolasi gas nitrogen menjadi sangat penting untuk meningkatkan keandalan dan keamanan sistem.

Penelitian-penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa bentuk elektroda seperti bola, pelat, dan jarum memiliki karakteristik distribusi medan listrik yang berbeda-beda. Elektroda berbentuk bola cenderung menghasilkan distribusi medan listrik yang lebih merata, sehingga nilai tegangan tembus yang dihasilkan relatif lebih tinggi

dibandingkan dengan elektroda berbentuk jarum yang memiliki ujung tajam dan menyebabkan konsentrasi medan listrik yang tinggi pada ujungnya.

Selain itu, faktor-faktor lain seperti jarak antar elektroda, tekanan gas nitrogen, dan kondisi lingkungan juga turut mempengaruhi nilai tegangan tembus yang dihasilkan. Namun, dalam penelitian ini, fokus utama adalah pada variasi bentuk elektroda sebagai variabel utama yang mempengaruhi tegangan tembus pada isolasi gas nitrogen. Dengan membandingkan berbagai bentuk elektroda, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai mekanisme terjadinya breakdown pada isolasi gas nitrogen serta solusi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan nilai tegangan tembus.

Kondisi faktual di lapangan menunjukkan bahwa masih banyak sistem isolasi gas yang mengalami kegagalan akibat pemilihan bentuk elektroda yang kurang tepat. Hal ini seringkali disebabkan oleh kurangnya pemahaman mengenai pengaruh bentuk elektroda terhadap distribusi medan listrik dan tegangan tembus yang dihasilkan. Akibatnya, sistem isolasi menjadi rentan terhadap terjadinya breakdown, yang dapat menyebabkan kerusakan peralatan dan gangguan pada sistem kelistrikan secara keseluruhan.

Oleh karena itu, penelitian mengenai analisis hubungan variasi bentuk elektroda dengan tegangan tembus pada isolasi gas nitrogen menjadi sangat relevan untuk dilakukan. Penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik elektro, khususnya dalam bidang isolasi tegangan tinggi, tetapi juga memberikan solusi praktis bagi industri kelistrikan dalam meningkatkan keandalan dan keamanan sistem isolasi gas. Dengan memahami secara mendalam pengaruh variasi bentuk elektroda terhadap tegangan tembus, diharapkan dapat dihasilkan rekomendasi bentuk elektroda yang optimal untuk digunakan pada sistem isolasi gas nitrogen, sehingga risiko terjadinya breakdown dapat diminimalisir.

Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat menjadi acuan bagi para perancang dan praktisi di bidang teknik elektro dalam memilih dan merancang sistem isolasi gas yang lebih baik. Dengan demikian, penelitian ini memiliki nilai strategis tidak hanya dari segi akademis, tetapi juga dari segi aplikasi praktis di lapangan. Keberhasilan dalam meningkatkan nilai tegangan tembus pada isolasi gas nitrogen melalui pemilihan bentuk elektroda yang tepat akan berdampak positif terhadap efisiensi, keandalan, dan keselamatan sistem kelistrikan secara keseluruhan.

Dengan latar belakang tersebut, penelitian dengan judul "**ANALISIS HUBUNGAN VARIASI BENTUK ELEKTRODA TERHADAP KEKUATAN TEMBUS TEGANGAN ISOLASI GAS NITROGEN (N₂)**" bertujuan untuk menganalisis hubungan variasi bentuk elektroda dengan tegangan tembus pada isolasi gas nitrogen. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan sistem isolasi gas yang lebih andal, efisien, dan aman, serta memberikan solusi rasional terhadap permasalahan yang selama ini dihadapi dalam aplikasi isolasi gas pada sistem tegangan tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Apa pengaruh variasi bentuk elektroda terhadap kekuatan tembus tegangan isolasi gas N₂?
2. Bagaimana hubungan antara tegangan tembus dan bentuk elektroda pada isolasi gas N₂?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh variasi bentuk elektroda terhadap kekuatan tembus tegangan isolasi gas N₂.
2. Mengetahui hubungan antara tegangan tembus dan bentuk elektroda pada gas N₂.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian kali ini, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Sebagai bahan referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan.
2. Memberikan wawasan tentang studi tembus tegangan isolasi gas N₂ dengan berbagai bentuk elektroda

1.5 Batasan Masalah

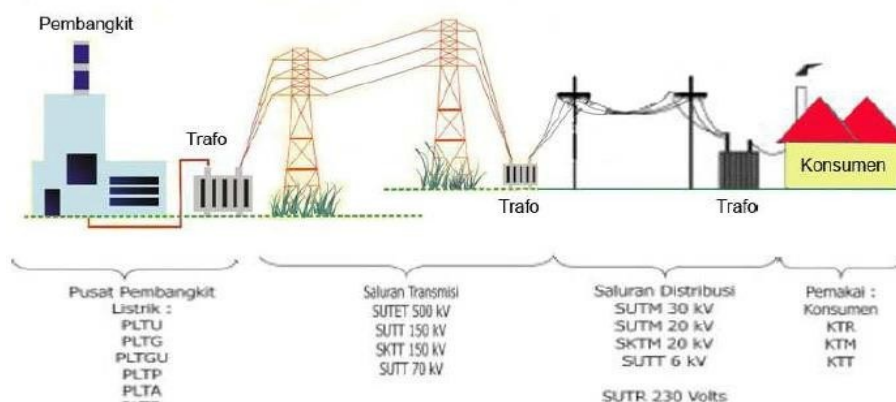
Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Jenis isolasi yang digunakan yaitu gas N₂
2. Pada pengujian ini menggunakan elektroda seragam (bola-bola, jarum-jarum, batang-batang, piring-piring) dan elektroda tidak seragam (jarum-piring, bola-piring) dengan jarak elektroda 0,5cm, 1cm, dan 3cm.
3. Tegangan yang di terapkan pada pengujian ini adalah tegangan tinggi AC (arus bolak-balik) dengan satu buah transformator *step up*
4. Pengambilan data tegangan tembus tiap variable sebanyak 5 (lima) kali dan menghitung nilai rata-ratanya setiap variable
5. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi dan Infrastruktur Ketenagalistrikan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

1.6 Kajian Pustaka

1.6.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum sistem tenaga listrik merupakan sekumpulan pusat kelistrikan yang dihubungkan melalui jaringan transmisi dan jaringan distribusi sehingga membentuk menjadi sebuah kesatuan sistem. Pada dasarnya sistem tenaga listrik terdiri dari 3 bagian pokok yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. (Mufid., 2024). Rangkaian dari sistem tenaga listrik dapat dilihat pada gambar 2.1:



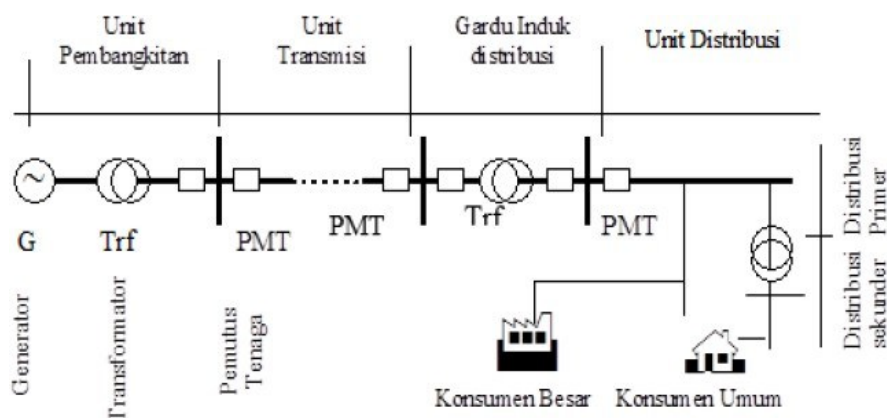
Gambar 1. Sistem Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik merupakan suatu kesatuan sistem yang berfungsi untuk membangkitkan dan memproduksi energi listrik dengan cara mengubah suatu energi lain menjadi energi listrik. Tenaga Listrik ini dibangkitkan di pusat-pusat tenaga listrik seperti PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas), PLTP (Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi) dan juga PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel). Energi listrik yang diproduksi kebanyakan memiliki nilai tegangan dengan rata-rata sebesar 11 kV sampai dengan 25 kV. Pada umumnya pembangkit tenaga listrik berlokasi pada daerah yang dekat dengan bahan bakar dengan tujuan untuk menghemat biaya transportasi sumber energi dan biasanya berlokasi jauh dari pemukiman warga atau sumber beban, sehingga untuk menyalurkan energi listrik yang telah dibangkitkan menuju konsumen diperlukan suatu sistem transmisi. Energi listrik yang telah dibangkitkan pada pusat pembangkitan dinaikkan tegangannya melalui trafo penaik tegangan atau trafo *step up* menjadi tegangan tinggi atau rata-rata berkisar sebesar 70 kV hingga 500 kV. Setelah itu energi listrik disalurkan melalui sistem transmisi menuju gardu induk untuk kemudian disalurkan menuju pusat beban atau menuju gardu induk yang lainnya. Tegangan listrik ini dinaikkan tegangannya dengan tujuan untuk mengurangi jumlah arus yang melalui penghantar pada sistem transmisi sehingga dapat mengurangi kebutuhan luas penampang penghantar yang dipakai. Dengan begitu, arus listrik yang melewati penghantar pada saluran transmisi memiliki tegangan yang tinggi dan nilai arus yang rendah sehingga dapat mengurangi rugi-rugi tegangan yang dapat terjadi selama proses penyaluran

energi listrik (Mufid., 2024)

Kemudian setelah energi listrik disalurkan menuju gardu induk, tegangan listrik pada sistem transmisi ini diturunkan teganganya melalui trafo penurun tegangan atau trafo *step down* yang terdapat pada gardu induk tersebut. Tegangan ini diturunkan menjadi tegangan distribusi atau tegangan menengah yaitu dengan nilai sebesar 20 kV untuk selanjutnya disalurkan menuju gardu distribusi melalui jaringan tegangan menengah atau JTM. Selanjutnya setelah mencapai gardu distribusi, tegangan kembali diturunkan menjadi tegangan rendah dengan nilai sebesar 220/380 V dan setelah itu energi listrik dapat disalurkan ke pusat-pusat beban melalui jaringan tegangan rendah atau biasa disebut dengan JTR (Mufid., 2024).

Sistem tenaga listrik juga merupakan sekumpulan atau gabungan dari beberapa komponen-komponen tenaga listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan pusat-pusat beban yang berhubungan satu sama lain hingga membentuk suatu sistem. Komponen pada sistem tenaga listrik dapat digambarkan seperti pada gambar 2 berikut:



Gambar 2. Single Line Diagram Sistem Transmisi

Komponen pada sistem tenaga listrik tersebut tak lepas dari adanya suatu permasalahan yang mungkin saja terjadi di lapangan. Permasalahan-permasalahan itu dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti permasalahan yang disebabkan oleh ulah manusia, oleh ulah hewan, umur peralatan yang sudah cukup tua atau kegagalan sistem. Oleh karena itu perlu diadakan suatu pemeliharaan rutin untuk memastikan keandalan pendistribusian listrik menuju konsumen berjalan secara lancar (Mufid., 2024).

1.6.2 Kekuatan Dielektrik

Kekuatan dielektrik merupakan parameter penting yang menggambarkan kemampuan suatu bahan isolator untuk menahan medan listrik tanpa mengalami kerusakan atau gangguan isolasi (*breakdown*). Dalam konteks sistem tegangan tinggi, kekuatan dielektrik menentukan batas maksimal medan listrik yang dapat diterapkan sebelum bahan tersebut kehilangan sifat isolatifnya dan mulai menghantarkan arus secara tidak terkendali. Bahan dengan kekuatan dielektrik tinggi mampu mempertahankan kestabilan

sistem kelistrikan dan mencegah terjadinya loncatan listrik (*flashover*) atau pelepasan muatan listrik (*partial discharge*). Nilai kekuatan dielektrik umumnya diukur dalam satuan kilovolt per milimeter (kV/mm), dan sangat bergantung pada jenis bahan, tekanan, suhu, serta kelembapan lingkungan. Misalnya, gas isolasi seperti sulfur heksafluorida (SF_6) memiliki kekuatan dielektrik yang jauh lebih tinggi dibandingkan udara biasa, sehingga banyak digunakan dalam sistem isolasi tegangan tinggi seperti Gas Insulated Switchgear (GIS). Namun, dalam kondisi tertentu, gas hasil dekomposisi seperti NO_2 dan O_2 dapat muncul dan menurunkan kekuatan dielektrik sistem, sehingga evaluasi terhadap performa gas isolasi sangat krusial untuk memastikan keandalan sistem tenaga. Studi oleh Owens et al. (2021) menekankan pentingnya pemahaman tentang kekuatan dielektrik dalam desain dan pengujian sistem isolasi gas modern, terutama ketika mempertimbangkan gas alternatif yang lebih ramah lingkungan dibandingkan SF_6 (Owens et al., 2021).

1.6.3 Tegangan Tinggi

Tegangan tinggi identik dengan isolasi peralatan isolasi, yakni kemampuannya suatu bahan menahan kuat medan listrik. Jika suatu penghantar diberi tegangan maka daerah sekitar bahan akan timbul medan listrik. Medan listrik memiliki kuat medan listrik (V/cm) yang merupakan stress pada isolasi. Sementara media isolasi memiliki kekuatan dielektrik (kd), kemampuan dari isolasi untuk menahan terpaan medan listrik (E). Semakin besar kuat medan listrik yang menghantam isolasi, maka harus semakin besar pula kekuatan dielektrik isolasi tersebut (Tobing., 2012).

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 (*sparkover*) yang terjadi pada udara atau gas yang tidak menyangkut permukaan isolasi dan lompatan api (*flashover*) yaitu percikan atau busur api di sepanjang permukaan isolasi. Kegagalan ini menandakan telah terjadinya tembus listrik (Tobing., 2012).

1.6.4 Bahan Isolasi

Bahan Isolasi adalah sifat bahan yang berfungsi dapat memisahkan secara elektrik dua buah atau lebih penghantar listrik bertegangan yang berdekatan, sehingga tidak terjadi kebocoran arus, lompatan api (*flashover*), ataupun percikan api (*sparkover*). Isolasi mempunyai pengertian memisahkan daerah yang bertegangan dengan daerah yang tidak bertegangan. Kemampuan bahan isolasi untuk menahan tegangan disebut kekuatan dielektrik. Kekuatan dielektrik dari bahan isolasi sangat penting dalam hal menentukan kualitas isolator yang nantinya akan mendukung keseluruhan sistem tenaga listrik. Semakin tinggi kekuatan dielektrik bahan isolasi, semakin baik kualitasnya. Bahan isolasi yang digunakan pada sistem tenaga listrik dibagi menjadi beberapa golongan yaitu: padat, cair, dan hampa (Heri et al., 2012).

1.6.5 Bahan Isolasi Gas

Bahan isolasi gas pada dasarnya merupakan isolator listrik dasar dan murni yang menerapkan medan listrik didalamnya. Ada tiga bahan isolasi yaitu vakum, padat, cairan dan gas. Bahan isolasi gas disebut juga sebagai gas isolator. Bahan isolasi gas praktis tidak bebas dari partikel bermuatan listrik yang dimana medan listrik perifer diterapkan

pada gas, maka elektron bebas terbentuk. Elektron bebas ini dipercepat dari katoda ke anoda oleh tekanan listrik yang menerapkan gaya. Sebenarnya ini adalah penurunan resistansi bahan isolasi gas ini akan terjadi ketika tegangan yang diberikan meningkat daripada tegangan tembus (kekuatan dielektrik). Akibatnya gas akan mulai mengalir sehingga ada kenaikan tegangan yang kuat di area kecil di dalam gas. Area kenaikan tegangan yang kuat ini adalah alasan ionisasi parsial gas di dekatnya dan memulai konduksi. Ini dibuat dengan sengaja dalam pelepasan tekanan rendah (dalam presipitator elektrostatik atau dalam lampu neon). Pada tekanan standar tegangan tembus berkurang dengan panjang celah hingga suatu titik ketika panjang celah berkurang melebihi titik itu, maka tegangan tembus mulai meningkat dan melebihi nilai aslinya. Pada tekanan tinggi dan kondisi panjang celah meningkat tegangan tembus kurang lebih sebanding dengan produk keduanya. Ini kira-kira proporsional karena efek elektroda (ketidakteraturan mikroskopis elektroda dapat menyebabkan kerusakan). Tegangan tembus gas dielektrik juga secara kasar sebanding dengan densitas. Ketika elektron ini mencapai energi yang cukup untuk melepaskan elektron dari atom atau molekul gas dan setelah itu, elektron tidak terlibat oleh molekul, dan kemudian konsentrasi elektron akan mulai meningkat secara eksponensial akibatnya terjadi kerusakan (Setiawan et al., 2022).

Berikut adalah tabel kekuatan dielektrik berbagai jenis gas yang umum digunakan sebagai bahan isolasi dalam sistem tegangan tinggi:

Tabel 1. Kekuatan Dielektrik Gas (Setiawan et al., 2022).

No.	Jenis Gas	Kekuatan Dielektrik (kV/cm)	Keterangan
1	Udara (Air)	30	Referensi standar (pada tekanan 1 atm)
2	Sulfur Hexafluoride (SF ₆)	89 – 120	Sangat tinggi; populer pada GIS dan CB
3	Nitrogen (N ₂)	30 – 40	Tidak beracun; biasa digunakan sebagai pengisi
4	Karbon Dioksida (CO ₂)	25 – 35	Ramah lingkungan; lebih rendah dari SF ₆
5	Oksigen (O ₂)	35 – 40	Digunakan dalam campuran gas
6	Nitrogen Dioksida (NO ₂)	±50*	Digunakan sebagai aditif dalam campuran gas
7	Helium (He)	20 – 25	Ringan; digunakan dalam kondisi khusus
8	Argon (Ar)	30 – 40	Stabil; digunakan dalam lingkungan terkendali
9	Campuran SF ₆ /N ₂	50 – 90	Performa tergantung rasio campuran
10	Campuran CO ₂ /O ₂ /NO ₂	40 – 70	Alternatif ramah lingkungan untuk SF ₆

1.6.6 Isolator Gas Sederhana

Isolator gas sederhana merupakan salah satu jenis isolator berwujud gas yang proses untuk mendapatkannya paling sederhana atau dengan kata lain mudah didapatkan, Isolator gas sederhana memiliki beberapa jenis bahan isolasi diantaranya adalah (Setiawan et al., 2022).

a. Udara

Bahan isolasi yang mudah diperoleh dan murah adalah udara. Udara memiliki karakteristik tegangan tembus yang relatif besar sekitar 30 kV/cm. Pemasangan jaringan distribusi baik tegangan rendah (JTR), menengah (JTM) maupun tinggi (JTT) dipisahkan dengan jarak tertentu dengan memanfaatkan udara sebagai isolatornya. Udara di alam yang secara umum terdiri dari 78% nitrogen, 21% oksigen dan 1% uap air, karbondioksida, dan gas-gas lainnya. Gas ideal adalah gas yang hanya terdiri dari molekul-molekul netral, sehingga tidak dapat mengalirkan arus listrik (Setiawan et al., 2022).

b. Oksigen

Oksigen secara definisi dapat diartikan sebagai unsur kimia yang dilambangkan dengan huruf "O" dan masuk pada golongan VI A pada table unsur periodik kimia. Pada kondisi alamiah. Oksigen adalah unsur yang sangat mudah bereaksi dengan jenis unsur-unsur tunggal lainnya, oksigen digunakan oleh semua makhluk hidup maka unsur oksigen akan sangat mudah dijumpai pada berbagai belahan bumi pada manusia dan hewan, oksigen digunakan untuk proses respirasi yaitu dengan menghirup oksigen dan mengeluarkan karbondioksida sebagai hasil dari proses respirasi (Ariadi et al., 2021).

Oksigen (O_2) adalah molekul diatomik yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat melalui ikatan rangkap dua. Setiap atom oksigen memiliki 6 elektron valensi, sehingga untuk mencapai konfigurasi stabil, kedua atom berbagi dua pasang elektron, membentuk ikatan kovalen rangkap. Struktur molekul O_2 adalah linier, dengan sudut ikatan sebesar 180° (Widodo., 2021).

Oksigen dalam keadaan murni adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa pada suhu dan tekanan kamar. Oksigen memiliki sifat paramagnetik karena memiliki dua elektron yang tidak berpasangan di orbital molekulernya, yang menyebabkan oksigen tertarik ke medan magnet eksternal. (Widodo., 2021).

Dalam konteks isolasi listrik, oksigen murni bukanlah bahan isolator yang ideal. Sebagai gas, oksigen dapat mengalami ionisasi di bawah tegangan listrik tinggi, yang menghasilkan plasma dan menyebabkan kehilangan sifat isolatif. Ini menjadikan oksigen kurang cocok digunakan sebagai isolator listrik, terutama dalam kondisi di mana tegangan tinggi terlibat (Widodo., 2021).

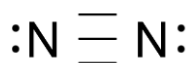
c. Nitrogen

Tabel 2. Karakteristik Nitrogen.

Karakteristik	Keterangan
Persentase di atmosfer	75% (bobot) dan 8% (volume) atmosfer bumi
Sifat fisik utama	Gas diatomik, tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, tidak beracun, inert
Titik didih	-196 °C (77 K)
Titik beku	-210 °C (63 K)
Volume atom	17,30 cm ³ /mol
Massa jenis	1,2151 g/cm ³
Kapasitas panas	1,042 J/g·K
Potensial ionisasi	14,534 Volt
Kekuatan Dielektrik	≈30 kV/cm

Nitrogen merupakan suatu gas yang membentuk 75% (bobot) dan 8 (volume) atmosfer, nitrogen dapat didaur ulang untuk mendapatkan perubahan dalam senyawa nitrogen dan pergerakan senyawa senyawa nitrogen yang disebabkan oleh tumbuhan, binatang dan bakteri. Nitrogen penting untuk industri kimia karena digunakan untuk membuat pupuk, asam nitrat, nilon, pewarna dan bahan peledak. Untuk membuat produk ini, nitrogen pertama-tama harus direaksikan dengan hidrogen untuk menghasilkan amonia. Hal tersebut dilakukan oleh proses Haber. 150 juta ton amonia diproduksi dengan cara ini setiap tahun (Setiawan et al., 2022).

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°K (-196°C) pada tekanan 1 atmosfer dan membeku pada suhu 63°K (-210°C). Adapun sifat-sifat dari Nitrogen yaitu mempunyai massa atom 14,0067 sma, mempunyai nomor atom 7, titik didih -196 °C dan titik beku -210 °C, mempunyai volume atom 17,30 cm³ /mol, mempunyai struktur heksagonal, mempunyai massa jenis 1,2151 gram/cm³, 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 (L. Kumara., 2010).



Gambar 3. Struktur Lewis Nitrogen (N_2).

d. Helium

Helium merupakan gas paling ringan setelah hidrogen, helium terdapat dalam bagian atmosfer sekitar 1 berbanding 200.000. Helium merupakan unsur kimia yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, tidak beracun, tidak mudah terbakar dan merupakan unsur pertama pada golongan gas mulia dalam tabel periodik. Perlu diingat bahwa perpindahan panas suhu dari gas helium adalah 10 kali lebih besar dibandingkan SF_6 . Kemudian helium juga memiliki sifat perpindahan panas yang terjadi lebih tinggi dari SF_6 . Helium digunakan sebagai media pendingin untuk *Large Hadron Collider* (LHC), dan magnet superkonduktor dalam pemindai MRI dan spektrometer NMR. Itu juga digunakan untuk menjaga instrumen satelit tetap dingin dan digunakan untuk mendinginkan oksigen cair dan hidrogen yang menggerakkan kendaraan ruang angkasa Apollo. Karena densitasnya yang rendah, helium sering digunakan untuk mengisi balon dekoratif, balon cuaca, dan kapal udara. Hidrogen pernah digunakan untuk mengisi balon tetapi sangat reaktif. Helium juga digunakan untuk memberikan atmosfer pelindung inert untuk membuat serat optik dan semikonduktor, dan untuk pengelasan busur. Helium juga digunakan untuk mendeteksi kebocoran, seperti pada sistem AC mobil, dan karena berdifusi dengan cepat, helium digunakan untuk mengembang kantung udara mobil setelah benturan. Campuran 80% helium dan 20% oksigen digunakan sebagai atmosfer buatan untuk penyelam laut dalam dan lainnya yang bekerja di bawah kondisi bertekanan (Setiawan et al., 2022).

e. Gas Oksida

Isolator gas oksida adalah salah satu jenis isolator berwujud gas yang terdiri dari satu atau lebih unsur oksigen yang bergabung dengan elemen lain. Nitrous oxide (N_2O), juga disebut dinitrogen monoksida, gas tertawa atau nitrous, salah satu dari beberapa oksida nitrogen, gas tidak berwarna dengan bau dan rasa manis yang menyenangkan, yang bila dihirup menghasilkan ketidakpekaan terhadap rasa sakit yang didahului oleh histeria ringan, terkadang tawa (karena menghirup dalam jumlah kecil memberikan efek euforia singkat dan nitrous oxide tidak ilegal untuk dimiliki, zat tersebut telah digunakan sebagai obat rekreasional.) Nitrous oxide ditemukan oleh ahli kimia Inggris Joseph Priestley pada tahun 1772, ahli kimia Inggris lainnya Humphry Davy, kemudian menamakannya dan menunjukkan efek fisiologisnya. Penggunaan utama nitrous oxide adalah sebagai anestesi dalam operasi bedah dengan durasi singkat; inhalasi berkepanjangan menyebabkan kematian. Gas ini juga digunakan sebagai propelan dalam aerosol makanan. Dalam balap mobil, nitrous oxide disuntikkan ke asupan udara mesin, oksigen ekstra memungkinkan mesin untuk membakar lebih banyak bahan bakar per langkah. Ini dibuat oleh aksi seng pada asam nitrat encer, oleh aksi hidrosilamin hidroklorida ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) pada

natrium nitrit (NaNO_2), dan paling umum, oleh dekomposisi amonium nitrat (NH_4NO_3) (Setiawan et al., 2022).

f. Gas Karbondioksida

Gas karbondioksida merupakan karbon dioksida (CO_2), gas tidak berwarna yang memiliki bau tajam yang samar dan rasa asam. Ini adalah salah satu gas rumah kaca paling penting yang terkait dengan pemanasan global, tetapi merupakan komponen kecil dari atmosfer bumi (sekitar 3 volume dalam 10.000), terbentuk dalam pembakaran bahan yang mengandung karbon, dalam fermentasi, dan dalam respirasi hewan dan digunakan oleh tumbuhan dalam fotosintesis karbohidrat. Kehadiran gas di atmosfer membuat sebagian energi radiasi yang diterima bumi tidak dikembalikan ke luar angkasa, sehingga menghasilkan apa yang disebut efek rumah kaca. Secara industri, itu dipulihkan untuk berbagai aplikasi beragam dari gas buang, sebagai produk sampingan dari persiapan hidrogen untuk sintesis amonia, dari limekiln, dan dari sumber lainnya. Karbon dioksida diakui sebagai gas yang berbeda dari yang lain (Setiawan et al., 2022).

g. Gas Sulphurdioksida

Gas sulphurdioksida adalah senyawa anorganik, gas beracun yang berat, tidak berwarna. Gas ini diproduksi dalam jumlah besar dalam langkah-langkah antara pembuatan asam sulfat. Sulfur dioksida memiliki bau yang menyengat dan menjengkelkan, akrab seperti bau korek api. Terjadi di alam dalam gas vulkanik dan dalam larutan di perairan beberapa mata air hangat, sulfur dioksida biasanya dibuat secara industri dengan pembakaran di udara atau oksigen dari belerang atau senyawa belerang seperti pirit besi atau pirit tembaga. Sejumlah besar belerang dioksida terbentuk dalam pembakaran bahan bakar yang mengandung belerang. Di atmosfer ia dapat bergabung dengan uap air untuk membentuk asam sulfat, komponen utama hujan asam; pada paruh kedua abad ke-20, langkah-langkah untuk mengendalikan hujan asam diadopsi secara luas. Sulfur dioksida adalah prekursor trioksida (SO_3) yang digunakan untuk membuat asam sulfat. Di laboratorium, gas dapat dibuat dengan mereduksi asam sulfat (H_2SO_4) menjadi asam sulfat (H_2SO_3), yang terurai menjadi air dan sulfur dioksida, atau dengan mengolah sulfit (garam dari asam sulfat) dengan asam kuat, seperti asam klorida, lagi. Membentuk asam sulfat. Sulfur dioksida dapat dicairkan di bawah tekanan sedang pada suhu ruangan, cairan membeku pada 73°C ($-99,4^\circ\text{F}$) dan mendidih pada 10°C (14°F) dibawah tekanan atmosfer. Meskipun kegunaan utamanya adalah dalam pembuatan asam sulfat, sulfur trioksida, dan sulfit, sulfur dioksida juga digunakan sebagai desinfektan, zat pendingin, zat pereduksi, pemutih, dan pengawet makanan, terutama pada buah-buahan kering (Ariadi., 2021).

h. Gas Hidrokarbon

Gas hidrokarbon merupakan suatu senyawa yang terdiri dari unsur karbon dan unsur hidrogen. Seluruh hidrokarbon memiliki rantai karbon dan atom-atom hidrogen yang berikatan dengan rantai tersebut. Hidrokarbon merupakan salah satu sumber energi paling penting di bumi, penggunaan yang utama merupakan sebagai sumber bahan bakar. Dalam bentuk padat hidrokarbon merupakan salah satu komposisi pembentuk aspal. Hidrokarbon yang berwujud gas metana dan etana dalam suhu ruangan dan tidak mudah untuk dicairkan dengan tekanan. Propana lebih mudah untuk dicairkan dan biasanya dijual dalam tabung-tabung dalam bentuk cair. Isolator gas hidrokarbon memiliki beberapa jenis bahan isolasi diantaranya adalah (Setiawan et al., 2022).

- **Metana**

Metana adalah metana, gas tidak berwarna, tidak berbau yang banyak terdapat di alam dan sebagai produk aktivitas manusia tertentu. Metana adalah anggota paling sederhana dari rangkaian hidrokarbon parafin dan merupakan salah satu gas rumah kaca yang paling kuat. Rumus kimianya adalah CH_4 (Setiawan et al., 2022).

- **Etana**

Etana adalah gas hidrokarbon gas yang tidak berwarna, tidak berbau, (senyawa hidrogen dan karbon), yang termasuk dalam seri parafin; rumus kimianya adalah C_2H_6 . Etana secara struktural adalah hidrokarbon paling sederhana yang mengandung ikatan karbon-karbon tunggal. Konstituen terpenting kedua dari gas alam, juga terjadi terlarut dalam minyak bumi dan sebagai produk sampingan dari operasi kilang minyak dan karbonisasi batubara (Setiawan et al., 2022).

- **Propana**

Gas propana adalah hidrokarbon gas yang tidak berwarna, mudah dicairkan (senyawa karbon dan hidrogen), anggota ketiga dari seri parafin setelah metana dan etana. Rumus kimia propana adalah C_3H_8 . Ini dipisahkan dalam jumlah besar dari gas alam, minyak mentah ringan, dan gas penyulingan minyak dan tersedia secara komersial sebagai propana cair atau sebagai konstituen utama gas LPG (Setiawan et al., 2022).

i. **Gas Elektronegatif**

Gas elektronegatif merupakan gas yang banyak digunakan di lingkungan Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai media isolasi dan pendingin pada ruang (chamber) pemutus PMT atau pada kompartemen kompartemen Gas Insulation Substation (GIS) (Setiawan et al., 2022).

j. **Gas Sulfur Heksafluorida**

Sulfur heksafluorida (SF_6) adalah molekul dengan struktur oktahedral, di mana satu atom sulfur terikat oleh enam ikatan kovalent tunggal dengan atom fluor di sekelilingnya. Struktur ini dihasilkan dari hibridisasi sp^3d^2 pada atom sulfur, menghasilkan enam ikatan sigma yang kuat dan simetris. Panjang ikatan S-F sekitar 1,56 Å, dan molekul SF_6 sangat stabil serta tidak reaktif dalam kondisi normal. Stabilitas ini dan sifat isolasi gas yang tinggi menjadikan SF_6 sangat cocok untuk digunakan sebagai isolator dalam peralatan kelistrikan bertegangan tinggi (Widodo., 2021).

Sulfur Heksafluorida atau SF_6 adalah isolator listrik yang sangat baik dan secara efektif dapat memadamkan busur, yang membuat aparatus tegangan tinggi. SF_6 dapat ditemukan pada jutaan peralatan listrik di seluruh dunia, contoh peralatan listrik yang mengandung SF_6 adalah pemutus busur di circuit breaker. Gas SF_6 dibentuk oleh reaksi kimia antara belerang cair dan fluor. Fluor diperoleh dengan elektrolisis asam hidrofluorat (HF). Gas SF_6 murni tidak beracun. Gas tidak berbahaya untuk dihirup, asalkan kandungan oksigennya cukup tinggi. Pada prinsipnya manusia dapat menghirup campuran 20% oksigen dan 80% SF_6 tanpa bahaya. SF_6 sekitar 6 kali lebih berat dari udara, hal itu berarti bahwa SF_6 dapat terkumpul di saluran kabel atau di bagian bawah tangki. SF_6 tidak berbahaya untuk dihirup tetapi jika terakumulasi pada ruangan tempat bekerja, ada risiko mati lemas karena kekurangan oksigen. SF_6 adalah gas yang tidak mudah terbakar yang digunakan dalam peralatan listrik. Unsur sulfur dengan fluor terjadi reaksi eksotermis membentuk Sulfur Heksafluorida (SF_6). Penggunaan paling umum untuk SF_6 , baik domestik maupun internasional adalah sebagai isolator listrik pada peralatan bertegangan tinggi yang mentransmisikan dan mendistribusikan listrik. Gas SF_6 masih menduduki posisi sebagai gas terberat dengan densitas sebesar $6,139 \text{ Kg/m}^3$ hingga saat ini. Densitas ini 5 kali dari berat udara pada temperatur 100°C pada tekanan 1 atm. Karakteristik lainnya adalah tidak larut pada air namun terlarut dalam etanol, heksana dan benzena, tidak beracun, tidak terbakar, tidak berbau dan tidak berwarna. Gas SF_6 memiliki kemampuan isolasi yang baik yaitu 2,5 kali dari udara (Setiawan et al., 2022).

Sifat gas SF_6 murni yang inert, tidak berwarna, berbau, dan beracun, serta tidak mudah terbakar 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 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 (Hasan.,2012).

1.6.7 Isolator Gas Sederhana

Medan listrik merupakan area di sekitar muatan di mana gaya listrik masih berpengaruh. Menurut Michael Faraday, medan listrik digambarkan sebagai garis vektor yang memancar keluar dari muatan positif dan menuju muatan negatif. Semakin kuat medan listrik, semakin rapat garis-garis medan yang menggambarkannya. Distribusi medan listrik adalah cara penyebaran medan listrik di ruang antara elektroda positif (anoda) dan negatif (katoda). Intensitas medan listrik bervariasi pada setiap titik dalam jarak tersebut. Intensitas ini memberikan tekanan listrik pada bahan dielektrik, yang dikenal sebagai stress listrik. Kekuatan maksimum bahan dalam menahan stress listrik tanpa mengalami breakdown disebut kekuatan dielektrik. Kekuatan dielektrik dan tekanan listrik biasanya diukur dalam satuan kV/cm (Harry et al., 2008).

Distribusi medan listrik dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu seragam dan tidak seragam. Keseragaman distribusi medan listrik di antara elektroda dapat diukur melalui nilai efisiensi medan listrik, yang didefinisikan oleh Schwaiger. Besar faktor

efisiensi medan listrik tergantung pada bentuk geometris susunan elektroda. Untuk susunan elektroda yang menghasilkan distribusi medan listrik yang homogen, efisiensinya mendekati 1, sementara untuk susunan yang menghasilkan distribusi medan listrik yang tidak homogen, nilai efisiensinya kurang dari 1 (Harry et al., 2008).

1.6.8 Proses Dasar Kegagalan Gas

Ion merupakan atom atau gabungan atom yang memiliki muatan listrik, ion terbentuk apabila pada peristiwa kimia suatu atom unsur menangkap atau melepaskan elektron. Proses terbentuknya ion dinamai dengan ionisasi. Dalam proses pelepasan listrik ada beberapa mekanisme pembangkitan atau kehilangan ion baik dalam bentuk tunggal maupun dalam kombinasi. Proses dasar pelepasan dalam gas meliputi (Prihatnolo et al., 2011):

- Pembangkitan ion dengan cara benturan (collision) elektron, fotoionisasi, ionisasi oleh benturan ion positif, ionisasi termal, pelepasan (detachment) elektron, ionisasi kumulatif dan efek sekunder.
- Kehilangan ion dengan cara penggabungan (attachment) elektron, rekombinasi dan difusi.

1.6.9 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 (Pardede & Murdiya., 2017).

1.6.10 Mekanisme Kegagalan Townsend

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 banjir elektron. Jumlah elektron n_c yang terdapat dalam banjir elektron pada lintasan sejauh dx akan bertambah dengan dn_c elektron, sehingga elektron bebas tambahan yang terjadi dalam lapisan dx adalah

$$dn_e = a \cdot n_e \cdot dx \dots\dots\dots 1$$

Sehingga jumlah elektron bebas dn_c yang bertambah akibat proses ionisasi sama besarnya dengan jumlah ion positif dn_+ baru yang dihasilkan, sehingga

$$dn_c = dn_+ = a \cdot n_e \cdot dx = a \cdot n_e \cdot (t) \cdot v_d \cdot dt \dots\dots\dots 2$$

Dimana,

dn_+ = jumlah ion positif baru yang dihasilkan.

a = kecepatan terbentuknya partikel

n_e = jumlah total elektron.

t = waktu

v_d = kecepatan elektron.

Pada medan uniform (α konstan, dengan syarat awal):

$$n_e = n_0, x = 0 \dots\dots\dots 3$$

sehingga,

$$n_e = n_0 e^{\alpha x} \dots\dots\dots 4$$

Jumlah elektron yang menumbuk anoda per detik sejauh d dari katoda sama dengan jumlah ion positif.

$$n_+ = n_0 e^{\alpha d} \dots\dots\dots 5$$

maka jumlah elektron yang meninggalkan katoda dan mencapai anoda:

$$n_e = \frac{n_0 e^{\alpha d}}{1 - e^{-\alpha d}} \dots\dots\dots 6$$

Dimana:

n_0 : arus yang meninggalkan katoda

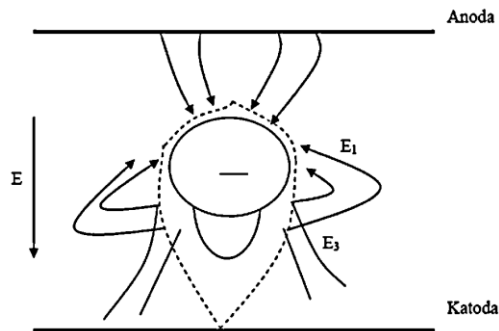
d : jarak sela

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 (Prihatnolo et al., 2011):

1.6.11 Mekanisme Kegagalan *Streamer* (Kanal)

Mekanisme strimer (*streamer*) menjelaskan pengembangan pelepasan percikan langsung dari banjirang tunggal di mana muatan ruang (*space charge*) yang terjadi karena banjirang itu sendiri mengubah banjirang tersebut menjadi strimer plasma. Sesudah itu kehantaran naik dengan cepat dan kegagalan terjadi dalam alur (*channel*) banjirang ini. Ciri utama teori kegagalan strimer, di samping proses ionisasi benturan (α) Townsend, adalah postulasi sejumlah besar fotoionisasi molekul gas dalam ruang didepan 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 banjirang terjadi dalam sela dalam bentuk awan elektron yang membelakangi muatan ruang ion positif seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1. Ada dua jenis strimer (Prihatnolo et al., 2011):

- Positif, atau strimer yang mengarah ke katoda
- Negatif, atau strimer yang menuju ke anoda



Gambar 4. Mekanisme *Streamer* (Prihatnolo et al., 2011):

Teori tentang streamer positif menjelaskan bahwa pada waktu banjir telah menyeberangi sela, elektron-elektron tersedot ke dalam anoda, ion-ion tinggal dalam sela membentuk kerucut. Medan muatan ruang yang tinggi terjadi dekat anoda tetapi di tempat lain dengan kerapatan ion rendah, dan karena itu kehadiran ion-ion positif saja tidak akan menimbulkan kegagalan dalam sela. Namun, akan timbul fotoelektron-fotoelektron dalam gas yang mengelilingi banjir yang disebabkan oleh pancaran foton-foton gas yang terionisasi pada tangkai (stem) banjir. Elektron-elektron ini mengawali timbulnya banjir bantu (auxiliary), yang jika medan muatan ruang yang terjadi karena banjir utama kira-kira sama besarnya dengan medan luar, akan mengarah kepada tangkai banjir utama. Pelipat gandaan terbesar dalam banjir bantu ini terjadi sepanjang sumbu banjir utama di mana medan muatan ruang menunjang medan luar (Prihatnolo et al., 2011):

Ion-ion positif yang tertinggal di belakang banjir akan memanjang dan mengintensitas muatan ruang banjir utama ke arah katoda, dan proses ini berkembang menjadi streamer atau kanal yang merambat sendiri, artinya tindakan ini membentuk plasma penghantar yang memperdekat jarak antara katoda dan anoda. Sesudah itu streamer terus memanjang sehingga merentangi sela membentuk saluran penghantar berupa gas terionisasi antara elektroda (Winoto et al., 2011).

1.7 Penelitian Terdahulu

Sehubungan dengan penelitian ini, ada beberapa penelitian sebelumnya yang sesuai. Namun demikian, tetap terdapat variabel yang berbeda pada penelitian ini dengan penelitian sebelumnya. Adapun beberapa dari penelitian sebelumnya ialah sebagai berikut:

No	Nama Penulis	Judul Penelitian	Metode yang digunakan	Parameter Ukur	Kesimpulan
1	Abednego Setiabudi Sianturi & Josie Sidharta (2021)	Partial Discharge yang Merusak Isolasi pada Gas Insulated Switchgear (GIS) Tiga Fasa Pengaruh Keberadaan Partikel Asing	Metode Finite Element Method (FEM) pada GIS tiga fasa	Distribusi medan listrik, partikel asing, intensitas medan listrik	Partikel asing meningkatkan konsentrasi medan listrik pada ujung partikel dan mengubah distribusi medan listrik
2	Arief Goeritno & Bambang Irawan Syaputra (2014)	Kelayakan Operasi PMT Tegangan Ekstra Tinggi Bermedia Gas SF6	Pengujian kualitas gas, resistansi, dan keserempakan kontak	Tekanan, kemurnian, kelembapan, resistansi, waktu operasi	Seluruh parameter memenuhi standar operasi dan kelayakan
3	Michael Anderson & Fri Murdiya (2017)	Sifat Dielektrik Campuran Gas CO ₂ dengan N ₂	Elektroda bola-bola dan jarum-batang	Tegangan tembus, jarak sela, komposisi gas	Tegangan tembus meningkat dengan jarak dan komposisi tertentu
4	Zulfianto Danial (2019)	Karakteristik Tegangan Tembus DC pada Gas CO ₂	Elektroda bola-bola	Tekanan gas dan jarak sela	Tegangan tembus meningkat seiring tekanan dan jarak
5	Iman Setiono (2017)	Gas SF ₆ sebagai Pemadam Busur Api pada PMT	Studi literatur	Kekuatan dielektrik dan kemampuan pemadaman	SF ₆ efektif namun berisiko terhadap lingkungan

6	Abdul Syakur & Mochammad Facta (2005)	Perbandingan Tegangan Tembus Udara dan Minyak Trafo	Elektroda bidang-bidang	Tegangan tembus	Minyak memiliki tegangan tembus lebih tinggi
7	Sasmito Teguh Prihatnolo (2011)	Pengukuran Tegangan Tembus Udara	Variasi elektroda dan temperatur	Jarak sela, bentuk elektroda, temperatur	Semua parameter mempengaruhi tegangan tembus
8	Tumpal Pardede & Fri Murdiya (2017)	Tegangan Tembus DC pada Gas N ₂	Elektroda bola dan jarum	Tekanan dan jarak sela	N ₂ memiliki tegangan tembus lebih baik dari udara
9	Evander Steanly Ponganan (2020)	Tegangan Tembus DC pada SF ₆ , CO ₂ , dan N ₂	Variasi tekanan dan elektroda	Tekanan dan bentuk elektroda	Elektroda bola menghasilkan tegangan tembus tertinggi
10	Yulianta Siregar dkk. (2021)	Kekuatan Dielektrik Campuran SF ₆ dan N ₂	Elektroda bola-bola	Komposisi gas dan gangguan listrik	Gangguan menurunkan kekuatan dielektrik

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini ialah penelitian eksperimental.

2.2 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pelaksanaan penelitian dimulai dari 8 September 2025 sampai 2 Februari 2026.

2.3 Alat dan Bahan Yang Digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian yang dilakukan ini dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 3. Bahan penelitian

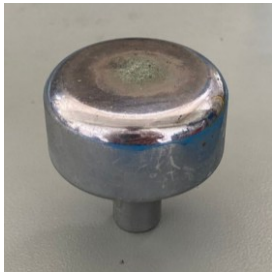
No.	Nama Bahan	Gambar
1	Gas Nitrogen (N ₂)	

Alat yang digunakan pada penelitian yang dilakukan ini dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4. Alat penelitian

No.	Nama Alat Beserta Penjelasannya	Gambar
1	Control desk atau meja control , berfungsi untuk mengatur dan mengoperasikan peralatan pengujian tegangan tinggi AC, DC maupun Impuls. Tegangan sumber yang digunakan adalah 1 fasa 220 volt.	
2	Trafo uji merupakan penyuplai tegangan. Spesifikasi daya 220V/100kV ,5 kVA, 50 Hz, <i>impedance voltage</i> 4,9 %.	

3	HV9109 Connecting Cup, Komponen konduktif untuk memasukkan komponen lainnya secara horizontal maupun vertikal. Posisi komponen harus berada pada bagian atas.	
4	HV9110 Floor Padestal, Komponen konduktif dengan posisi di lantai berfungsi untuk menopang komponen secara vertikal sekaligus sebagai pentanahan. Berfungsi untuk menghubungkan komponen yang satu dengan yang lain.	
5	HV 9121 Resistor 10 MΩ, Berfungsi untuk pengisian resistor untuk peralatan uji dan resistor pembatas arus pada pembangkit.	
6	Measuring Capacitor 100pF, Berfungsi sebagai kapasitor pembagi tegangan tinggi untuk pengukuran tegangan AC.	
7	HV9124 Insulating Rod, Komponen yang berfungsi untuk memisahkan bagian yang bertegangan.	
8	Vacuum Pump, Berfungsi untuk menghisap udara dari dalam tabung pengujian dan mengeluarkan sisa udara tersebut melalui saluran pembuangan vakum, dan ketika telah <i>vacuum</i> maka dapat dilakukan pengisian gas lain.	

9	Vessel for Vacuum and Pressure, Berfungsi sebagai tempat terjadinya tegangan tembus gas pada elektroda yang telah disusun dengan jarak tertentu, bentuk elektroda bahkan tekanan gas yang diinginkan..	
10	Elektroda bola, Sebagai alat uji terjadinya tegangan tembus. Elektroda bola ini memiliki diameter 5,0 cm.	
11	Elektroda jarum, Sebagai alat uji terjadinya tegangan tembus. Elektroda ini memiliki kemiringan ujung jarum 45 derajat dan lebar ujung jarum seluas 0,2 cm.	
12	Elektroda piring, Sebagai alat uji terjadinya tegangan tembus. Memiliki diameter 5,0 cm dengan kemiringan 30 derajat.	

13	Elektroda batang , Sebagai alat uji terjadinya tegangan tembus. Memiliki diameter 2,0 cm.	
----	--	--

2.4 Metode Pengumpulan Data

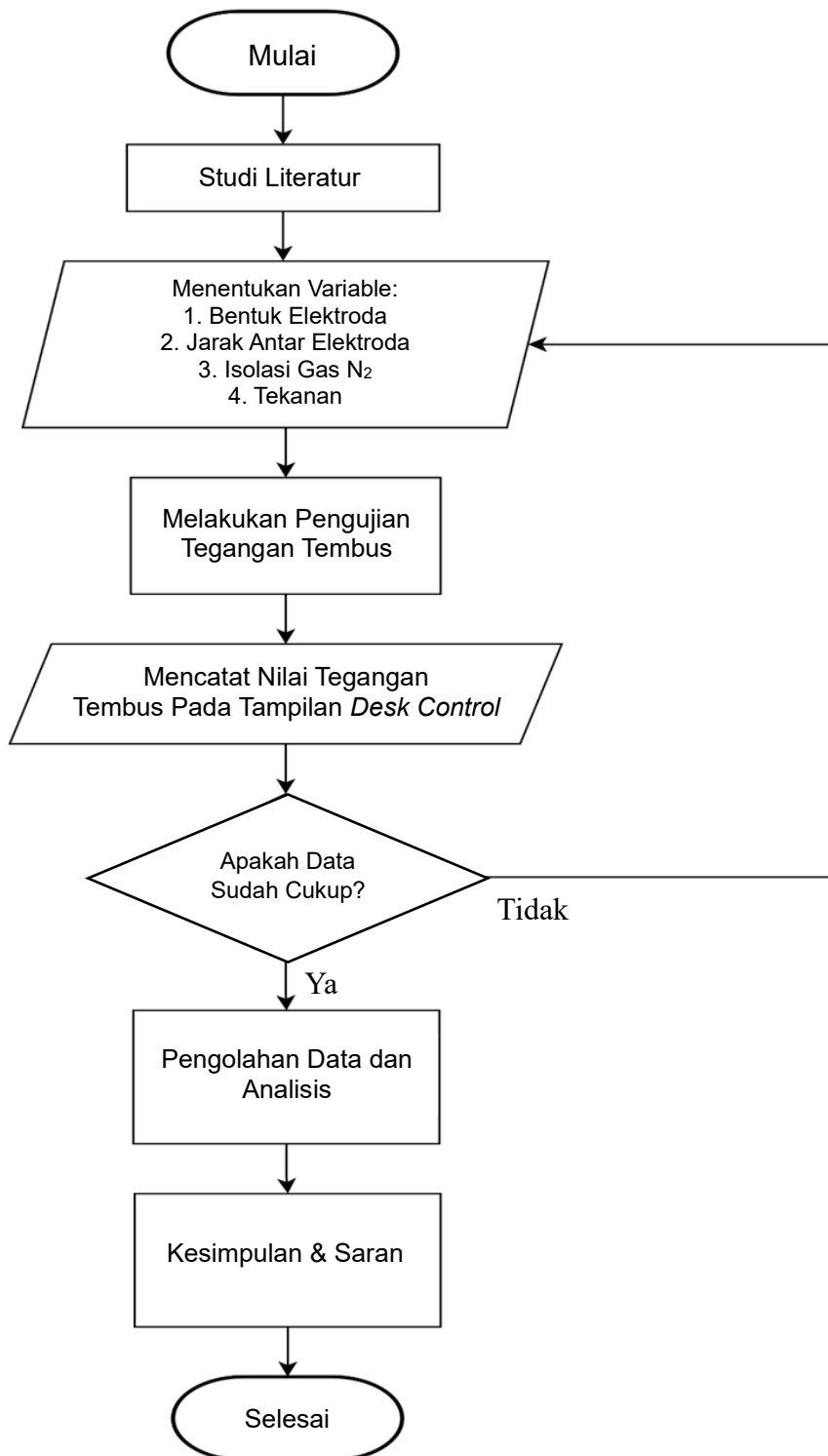
Metode pengumpulan data untuk penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data empiris di Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dengan Mengikuti Standar Pengujian pada Buku "PEMBANGKITAN TEGANGAN TINGGI DAN PENGUJIAN MATERIAL ISOLASI" yang di tulis oleh Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T., IPU, ASEAN, Eng. Yang dapat dilihat pada bab 7 tentang "Pengujian Tegangan Tembus AC Bahan Isolasi Gas"

2.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur pengujian ini yaitu sebagai berikut:

1. Studi Literatur
Tahap awal penelitian yaitu mengumpulkan informasi yang relevan yaitu mencari beberapa referensi berupa buku atau jurnal yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan.
2. Pengujian dan persiapan sampel
 - a. Persiapan sampel: Sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah Gas Nitrogen (N_2)
 - b. Pengujian: Buat rangkaian tegangan tinggi sesuai prosedur kemudian aktifkan meja kontrol dan atur jarak sela elektroda sebesar 0,5cm, 1,0cm, dan 3,0cm. kemudian naikan regulator tegangan secara bertahap dengan kecepatan 1kV/detik sampai udara tabung penguji tembus. Ulangi prosedur sebanyak 5 kali untuk tiap konfigurasi elektroda dengan jarak dan tekanan yang sama.
 - c. Pencatatan data dan analisis data: Mengumpulkan dan menganalisis data yang diperoleh dari pengujian tegangan tembus pada isolasi gas. Data yang dilakukan dalam laporan adalah hasil dari nilai rata-rata yang sudah dilakukan.
 - d. Penarikan kesimpulan: ini merupakan tahap akhir dalam penelitian, dimana penelitian akan menarik kesimpulan dari hasil pengolahan.

2.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian.