

Analisis Kelayakan Elektrikal Material Resin Epoksi Silane Sebagai Material Isolator Tumpu Dengan Desain Dua Sirip Terpisah

Andhip Mahdi Manggala¹, Widagdo Dwi Nugrahadi Prasetya¹
PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pendidikan dan Pelatihan (UPDL) Semarang¹
*widagdo.prasetya@gmail.com

ABSTRACT

An insulator is one of the electric power equipment functioning as insulation that limits the voltage area from the non-voltage area. The insulators of the medium voltage air line network in terms of their function are classified into suspension insulators and line insulators. The line insulators function as a support for the voltage network on a straight line. In this study, a line insulator was made of several fillers, namely epoxy resin as the main material and silica and silane sand as supporting materials. The parameters for testing the insulator including breakdown voltage, insulation resistance and tangent delta measurement. Testing is carried out at PT. PLN (Persero) UPDL Semarang. The results of the breakdown voltage on the epoxy resin propulsion insulator with two conditions, wet and dry conditions, it was found 100 kV in dry condition and 70 kV in wet condition and still in accordance with PLN standards, namely at least 65 kV in wet conditions. The measurement of insulation resistance in dry conditions, it was found more than 1000 GΩ. Referring to the international standard reference VDE (catalogue 228/4) with insulation resistance of 1 MΩ per 1 kV, the results are in accordance with the standard. Then the measured of tangent delta, the largest value obtained 0.495% at the largest input voltage is 9.99 kV. The tangent delta measurement fall into the "GOOD" category when referring to the ANSI C 57.12.90 standard, where the tangent delta less than 0.5% is included in the "GOOD" category.

Keywords : Leakage Current, Line Insulator, Epoxy Resin Material , Breakdown Voltage

INTISARI

Isolator adalah salah satu peralatan tenaga listrik yang berfungsi sebagai isolasi yang membatasi daerah yang bertegangan listrik dengan daerah yang tidak bertegangan. Isolator pada jaringan SUTM apabila dilihat dari fungsinya dibagi menjadi dua jenis, yaitu isolator penegang dan isolator tumpu. Isolator tumpu berfungsi sebagai penumpu jaringan tegangan listrik pada saluran lurus. Pada penelitian ini dibuat sebuah isolator penumpu dari beberapa bahan pengisi, yaitu bahan resin epoksi sebagai bahan utama dan bahan pasir silika dan silane sebagai bahan pendukung. Parameter pengujian kelayakan isolator tersebut antara lain parameter kemampuan tegangan tembus, nilai tahanan isolasi dan nilai ukur tangen delta. Pengujian nilai parameter dilakukan di PT. PLN (Persero) UPDL Semarang. Dari hasil tegangan tembus pada isolator tumpu bahan resin epoksi dengan dua kondisi, kondisi basah dan kering, didapatkan nilai kemampuan tegangan pada kondisi kering sebesar 100 kV dan kondisi basah sebesar 70 kV dan masih sesuai dengan standar PLN yaitu minimal 65 kV pada kondisi basah. Pada nilai tahanan isolasi pada keadaan kering didapatkan bahwa nilai tahanan isolasi mencapai lebih dari 1000 GΩ. Dari hasil tersebut apabila merujuk pada referensi standar internasional VDE (catalogue 228/4) dengan nilai tahanan isolasi 1 MΩ setiap 1 kV maka hasil tersebut sudah sesuai dengan standar. Kemudian yang ketiga yaitu nilai *tangen delta* yang terukur, nilai terbesar yang didapatkan pada tegangan input terbesar yaitu 9,99 kV hasil sebesar 0,495 %. Hasil tersebut masuk dalam kategori "BAIK" apabila merujuk pada standar ANSI C 57.12.90, dimana pada standar tersebut tangen delta kurang dari 0,5 % termasuk dalam kategori "BAIK".

Kata kunci: p

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik untuk kehidupan sangatlah besar. Dari sektor pendidikan, ekonomi, sosial, dan politik semua membutuhkan konsumsi energi listrik. Dengan adanya hal itu sistem ketenaga

listrikan yang handal sangat dibutuhkan untuk menunjang berbagai kebutuhan konsumsi energi listrik tersebut. Sistem tenaga listrik yang handal tentunya didukung dengan peralatan dan material pendukung yang berkualitas. Tingkat kehandalan suatu sistem

tenaga listrik dapat dilihat salah satunya dengan jumlah pemadaman listrik yang diakibatkan oleh gangguan. Salah satu penyebab gangguan yang sering mengakibatkan pemadaman listrik adalah gangguan yang disebabkan oleh kualitas material pendukung ketenaga listrikan. Material pendukung ketenaga listrikan sangatlah beragam fungsi dan jenis bahannya, dari material konduktor/kabel, material tiang listrik, material isolator, material *suspension clamp*, material *tension clamp*. Dari berbagai macam material tersebut salah satunya adalah material isolator yang cukup banyak digunakan sehingga memiliki nilai resiko penyebab gangguan padam yang diakibatkannya.

Isolator pada pemasangan luar memiliki dua klasifikasi fungsi yaitu fungsi sebagai penyangga tumpuan (isolator tumpu) dan yang kedua fungsi sebagai penyangga tarikan (isolator penegang). Pada isolator tumpu penempatan penggunaan material isolator tumpu diklasifikasikan menjadi 2 jenis tempat, yaitu material isolator tumpu pasangan luar dan material isolator pasangan dalam. Dari kedua klasifikasi tempat tersebut, material isolator tumpu pasangan luar yang memiliki kerentanan terhadap kerusakan. Penyebab kerusakan isolator tumpu pada pasangan luar diakibatkan dari faktor suhu/kelembaban lingkungan, faktor hewan dan faktor sistem tenaga listrik itu sendiri. Material isolator pasangan luar yang sudah banyak terpasang diproduksi dari beberapa jenis bahan, antara lain bahan porselen/keramik, bahan kaca, dan bahan polimer. Setiap bahan isolator tersebut memiliki kekurangan pada kondisi tertentu. Sebagai contoh, bahan polimer memiliki kekurangan terhadap resiko kerusakan akibat gangguan hewan. Pada beberapa kasus bahan polimer yang dipasang pada pasangan luar terjadi kerusakan pada permukaan bahan polimer yang cenderung elastis sehingga menjadi sasaran pematukan burung. Kasus demikian mengakibatkan nilai isolasi bahan polimer menjadi berkurang. Kemudian kasus yang lain terjadi pada bahan isolator dengan bahan porselen, bahan porselen cukup banyak diminati oleh kalangan teknisi listrik. Namun bahan ini sangat rentan terhadap benturan benda keras terutama pada bagian siripnya, sehingga apabila salah satu sirip mengalami kerusakan maka harus diganti dengan isolator baru. Keadaan tersebut membuat bahan porselen sangat mudah pecah apabila tidak cukup berhati-hati dalam pemasangannya. Dan Selain itu juga bahan porselen cenderung sangat berat, sehingga cukup sulit dalam proses pemasangan.

Dari beberapa kasus tersebut maka dilakukanlah

penelitian dengan membuat isolator yang memiliki kelebihan dibandingkan ketiga jenis isolator diatas. Dari beberapa referensi penelitian didapatkan bahan resin epoksi yang memiliki beberapa kelebihan untuk dijadikan bahan dasar pembuatan isolator tumpu. Bahan resin epoksi adalah golongan polimer termoset dimana campuran dua komponen yang akhirnya berbentuk seperti kaca pada temperatur ruang yang mempunyai sifat isolasi listrik yang layak dan juga mempunyai kekedapan air yang tinggi. Resin epoksi memiliki karakteristik: sifat kekentalan rendah, mudah dibentuk, penyusutan yang rendah, tingkat kekerasan tinggi, sifat mekanik tinggi, isolasi listrik yang tinggi serta ketahanan kimia yang baik [1].

Dalam penelitian kali ini, isolator akan dibuat dengan desain dua sirip yang terpisah. Tiap sirip akan memiliki konstruksi isolator tersendiri, sehingga apabila salah satu konstruksi sirip mengalami kerusakan maka biaya penggantiananya cukup dengan mengganti satu sirip saja yang rusak tidak diperlukan kedua siripnya untuk diganti. Dengan adanya hal ini akan menghemat biaya pengeluaran pemeliharaan. Selain itu bahan penyusun isolator yang digunakan adalah bahan resin epoksi, kemudian bahan serbuk silika sebagai bahan pengisinya dan bahan silane sebagai bahan pendukung. Isolator yang telah terbentuk selanjutnya akan dilakukan analisa dengan mengujikan beberapa materi uji terkait nilai isolasinya dan nilai kemampuan mekanisnya.

II. LANDASAN TEORI

A. Bahan Isolasi

Isolasi adalah salah satu sifat bahan yang memiliki karakteristik tidak mampu menghantarkan listrik. Bahan isolasi adalah bahan yang tidak bisa atau sulit melakukan perpindahan muatan listrik. Dalam bahan isolasi nilai valensi elektronnya terikat kuat pada atom-atomnya. Dengan memiliki karakteristik tersebut bahan isolasi seringkali digunakan sebagai bahan-bahan material pada sistem tenaga listrik, baik pada klasifikasi tegangan rendah, tegangan menengah maupun pada tegangan tinggi.

Bahan isolasi pada sistem ketenaga listrikan digunakan sesuai dengan fungsi penggunaannya. Pada sistem saluran udara tegangan menengah contohnya, bahan isolasi digunakan untuk menyekat bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak boleh dialiri tegangan. Kemudian pada peralatan transformator, bahan isolasi digunakan sebagai pemadam busur api

pada belitan transformator. Sama halnya dengan transformator, bahan isolasi pada peralatan PMT/*circuit breaker* digunakan sebagai pemadam busur api pada saat terjadi pemutusan sistem tenaga listrik. Setiap bahan isolasi yang digunakan pada sistem tenaga listrik memiliki jenis bahan yang berbeda-beda, ada bahan cair, udara, padat. Suatu bahan isolasi yang baik harus mempunyai resistansi isolasi tinggi, dan kekuatan dielektrik yang baik sehingga sifat hantarnya dapat diminimalkan.

Berdasarkan fungsinya, bahan isolasi dapat digolongkan menjadi:

1. Penyangga / penggantung (*solid support*) yaitu bahan isolasi berbentuk padat. (contoh: keramik, polimer, kayu dan sebagainya).
2. Bahan pengisi (*filling media*) yaitu bahan isolasi berbentuk cair atau gas, misalnya minyak, bitumen, aneka gas dan udara.
3. Bahan penutup (*covering material*) yaitu bahan isolasi yang biasanya terdapat pada bagian luar, berupa bahan padat atau cair, misalnya mika, pennis atau enamel.

B. Parameter Kelayakan Teknis Isolator Tumpu

1. Parameter Kemampuan Tegangan Tembus

Pada parameter kelayakan yang pertama adalah parameter kelayakan dari sisi kemampuan isolator dalam menahan tegangan, dimana pada parameter ini isolator akan diujikan untuk dapat menerima tegangan terapan hingga mencapai batas maksimal isolator dapat menerimanya tanpa adanya indikasi kerusakan isolasi.

Adapun parameter yang digunakan adalah buku standar konstruksi distribusi PT.PLN (Persero) yang digunakan. Pada buku standar konstruksi tersebut, disebutkan nilai tegangan pengenalan isolator tumpu adalah sebesar 24 kV[2]. Dari referensi tersebut maka akan dapat diketahui seberapa layak objek pengujian untuk dapat diterapkan.

2. Parameter Kemampuan Tahanan Isolasi

Parameter yang kedua adalah parameter seberapa besar nilai tahanan yang dimiliki oleh isolator tumpu. Nilai tahanan adalah salah satu indikasi seberapa baik isolasi suatu bahan. Semakin tinggi nilai tahanan yang dimiliki oleh suatu bahan, maka akan semakin baik nilai isolasi bahan tersebut.

Adapun standar yang digunakan untuk dijadikan parameter kelayakan adalah standar internasional

VDE (*catalogue 228/4*) dengan nilai tahanan isolasi 1 M Ω setiap 1 kV[3]. Dari standar tersebut dapat disimpulkan bahwa untuk isolator tumpu pada tegangan kerja 20 kV, minimum nilai tahanan isolasi yang dimiliki adalah sebesar 20 M Ω .

3. Parameter Nilai Tangen Delta

Parameter yang terakhir adalah parameter uji untuk pengujian *tangen delta*. Pengujian *tan δ* ditujukan untuk mendeteksi besarnya rugi-rugi dielektrik pada isolasi peralatan listrik yang berpengaruh pada umur pakai suatu peralatan listrik[4].

Pada penelitian ini penulis menggunakan referensi parameter standar pengujian untuk *tangen delta* dengan menggunakan standar ANSI C 57.12.90. Dijelaskan pada standar ANSI nilai standar parameter yang dikategorikan nilai *tangen delta* masih dalam keadaan baik adalah sebesar kurang dari 0,5%. Dari parameter tersebut maka isolator tumpu yang dibuat oleh penulis untuk memenuhi nilai kelayakan sesuai dengan standar ANSI harus memiliki nilai *ukur tangen delta* dibawah nilai 0,5%.

III. METODE PENELITIAN.

Pada penelitian ini penulis melaksanakan penelitian dengan menerapkan tegangan tinggi serta menerapkan tekanan mekanis yaitu kuat tekan dan kuat tarik pada isolator tumpu resin epoksi dengan sirip terpisah. Hal ini dilaksanakan untuk mengetahui kemampuan isolator tersebut terhadap tekanan elektrik dan tekanan mekanis yang diterapkan pada isolator. Pengujian dilaksanakan pada tiga lokasi pengujian, yaitu Laboratorium Tegangan Tinggi PT. PLN (Persero) UPDL Semarang.

Adapun Metodologi yang digunakan penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pembuatan Isolator

Pada tahapan ini penulis membuat isolator tumpu yang dilaksanakan dengan sarana cetakan isolator yang dibuat dari bahan silicon rubber. Setelah cetakan *silicon rubber* selesai dibentuk, tahap selanjutnya penulis melaksanakan proses pencetakan isolator tumpu dengan tiga bahan pengisi, yaitu bahan resin epoksi, serbuk silika dan silaen. Adapun proses pembuatan isolator dengan bantuan media cetakan yang terbuat dari bahan RTV *silicon rubber*[5].

2. Pengujian Isolator

Pada tahap ini penulis melaksanakan pengujian dengan menyiapkan objek pengujian yaitu isolator tumpu yang telah dicetak serta peralatan uji yang diperlukan untuk proses pengujian. Adapun peralatan yang digunakan penulis adalah alat uji tegangan tembus, alat uji tangen delta, dan alat uji tahanan isolasi.

Adapun pengujian yang dilaksanakan pada tahapan pengujian tegangan tembus dilakukan dengan dua metode pengujian, yaitu pengujian dalam kondisi kering dan pengujian dalam kondisi basah. Hal ini dikarenakan kondisi basah dan kering akan berpengaruh terhadap kemampuan isolasi suatu bahan [3].

3. Pengolahan Data Pengujian

Tahapan selanjutnya adalah tahapan pengolahan data pengujian, dimana pada tahapan ini penulis mengolah hasil data pengujian untuk dijadikan analisa hasil pengujian. Data-data yang didapatkan akan direkap dengan membuat tabel hasil pengujian pada masing-masing parameter pengujian. Dimana tabel yang disusun berjumlah empat jenis tabel, yaitu tabel pengujian tegangan tembus kondisi kering, tabel pengujian tegangan tembus kondisi basah, tabel pengujian tahanan isolasi, dan yang terakhir adalah tabel pengujian tangen delta.

4. Analisis Hasil Pengujian

Pada tahapan akhir penulis akan menganalisa hasil pengujian berdasarkan olahan data yang didapatkan dalam bentuk tabel. Pada tahapan analisa ini penulis akan menganalisa dan membandingkan nilai hasil pengujian untuk kemudian disandingkan dengan referensi standar-standar yang telah ditentukan oleh penulis. Sehingga hasil pengujian penelitian dapat ditarik kesimpulan seberapa sesuainya objek penelitian dengan parameter-parameter yang telah distandarkan.

A. Bahan Isolator

Pada penelitian ini penulis menjelaskan terdapat bahan-bahan penelitian yang akan dianalisa tingkat kelayakannya dari segi teknis. Adapun jenis-jenis bahan penelitiannya adalah sebagai berikut :

a. Bahan Resin Epoksi

Resin epoksi adalah kombinasi dari *bisphenol A* dan *epichlorohydrin* yang mempunyai formasi dari rentetan polimer, yang mengandung dua kelompok *reaktif epoxide* dan *hydroxyl*. Salah satu material isolasi polimer adalah resin epoksi yang secara luas digunakan sebagai isolasi pada banyak peralatan listrik karena material ini mempunyai karakteristik listrik dan mekanik yang sangat baik[1]. Bahan resin epoksi digunakan sebagai bahan pembuat isolator tumpu karena memiliki karakteristik isolasi yang baik[9]. Kelebihan resin epoksi adalah memiliki kestabilan di bawah kondisi-kondisi yang kurang baik, sehingga sangat baik dalam meningkatkan keandalan peralatan listrik, selain itu resin epoksi memiliki dielektrik yang sempurna dan sifat-sifat mekanik yang baik[6].



Gambar 1. Resin epoksi dan Hardener

b. Bahan Silaen

Bahan silaen atau lebih dikenal dalam bidang kimia adalah *silicone rubber* adalah sebuah bahan yang memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi. Selain itu bahan silaen tersebut dikenal memiliki karakteristik *hidropobik* yang cukup baik, artinya bahan tersebut cenderung menolak air. Karakteristik *hidropobik* tersebut sangat bermanfaat apabila digunakan sebagai bahan material isolasi yang dipasangkan pada pasangan luar. Hal ini dapat membantu mengurangi nilai resiko gradasi permukaan suatu bahan akibat aliran air hujan karena sifat *hidropobik* tersebut yang cenderung menolak air.



Gambar 2. Lem Sealant

c. Bahan Pasir Silika

Silika atau dikenal dengan *silikon dioksida* (SiO_2) merupakan senyawa yang banyak ditemui dalam bahan galian yang disebut pasir kuarsa, terdiri atas kristal-kristal silika (SiO_2) dan mengandung senyawa pengotor yang terbawa selama proses pengendapan[6]. Pada penelitian ini bahan silika yang digunakan adalah bahan serbuk silika yang telah melewati proses penyaringan sehingga pasir silika yang dijadikan bahan pengisi lebih halus. Pasir silika dijadikan bahan pengisi isolator tumpu resin epoksi karena dapat meningkatkan nilai kekuatan mekanis pada bahan resin epoksi. Pada penelitian referensi [7] semakin halus pasir silika yang digunakan sebagai pengisi maka semakin bagus nilai kuat mekanis mekanis suatu bahan.



Gambar 3. Pasir Silika

B. Pengujian Isolator

1. Uji Tegangan Tembus

Pada tahapan analisa pengujian tegangan tembus pada penelitian ini penulis menggunakan peralatan uji tegangan tinggi dengan frekuensi 50 Hz. Adapun peralatan uji yang digunakan penulis adalah peralatan uji tegangan tinggi yang digunakan dengan detail sebagai berikut :

- Merk : Baur
- Type : PGK HB
- Deskripsi : HV Test AC/DC
- Variasi Tegangan : 0 - 110 kV AC: 0 – 150 kV DC
- Kelas kesalahan : 1,5
- Arus maximum AC: 11 mA
- Arus maximum DC: 10 mA
- Dioperasikan dari Sumber tegangan 220 Volt AC

Alat pengujian tegangan tinggi tersebut terdiri dari tiga bagian utama, yaitu bagian transformator sebagai penaik tegangan, yang kedua adalah regulator yang berfungsi sebagai pengatur tegangan dan sebagai indikator nilai tegangan dan arus bocor, dan yang ketiga adalah meja uji yang berfungsi sebagai media atau tempat bahan yang akan diujikan.



Gambar 4. Tranformator Tegangan Tinggi

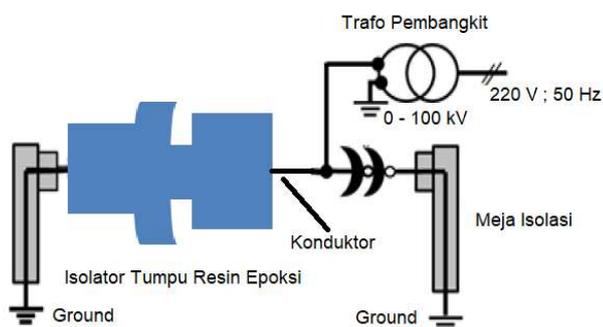


Gambar 5. Regulator Tegangan



Gambar 6. Meja Uji

Pada pengujian nilai tegangan tembus ini adalah penelitian yang merepresentasikan kemampuan suatu objek (dalam hal ini adalah isolator tumpu dengan bahan pengisi resin epoksi, serbuk silika, dan silaen) terhadap tegangan yang mengalir dipermukaan objek tersebut. Metode pengujian yang dilaksanakan penulis adalah metode uji dengan menganalisa kondisi isolator pada dua kondisi pengujian. Yang pertama adalah kondisi kering, dimana objek atau isolator yang diujikan adalah isolator dalam kondisi kering. Kemudian yang kedua adalah kondisi basah, dimana pengujian tegangan tembus yang dilakukan adalah pengujian dengan kondisi basah. Dimana kondisi basah yang diterapkan adalah kondisi basah dengan cara disemprotkan air kebagian permukaan isolator[8]. Tegangan uji yang diberikan sebesar 20 – 100 kV bila arus bocor masih normal di bawah 1 mA selama 60 detik untuk masing – masing tegangan.



Gambar 7. Single Line Digram Pengujian Tegangan Tembus

2. Uji Tahanan Isolasi

Uji yang kedua adalah uji tahanan isolasi yang berfungsi untuk mengukur nilai tahanan isolasi suatu bahan maupun peralatan[12]. Satuan pengukuran peralatan tahanan isolasi adalah ohm (Ω). Adapun peralatan yang digunakan pada pengukuran tahanan isolasi tersebut adalah peralatan tahanan isolasi dengan merk *Kyoritsu* dengan tipe merk 3125. Peralatan tahanan isolasi tersebut terdiri dari dua bagian, yaitu yang pertama adalah bagian mesin uji yang dimana terdapat fitur pengatur nilai tegangan input dan terdapat pula fitur layar yang akan memberikan hasil nilai tahanan isolasi yang terukur pada objek pengujian. Kemudian bagian yang kedua adalah kabel ukur yang berfungsi sebagai media perantara input tegangan dan inputan analisa nilai tahanan isolasi. Kabel yang disediakan terdapat tiga warna, yaitu merah, hitam dan hijau.



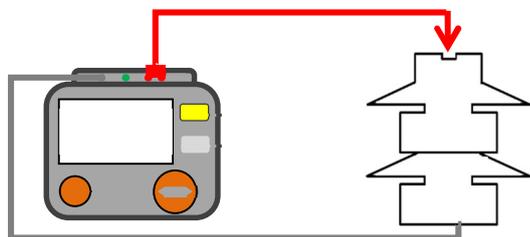
Gambar 8. Mesin Uji Tahanan Isolasi



Gambar 9. Kabel Uji Tahanan Isolasi

Pada pengujian nilai tahanan isolasi, penulis menggunakan metode pengujian kondisi kering. Dengan dasar nilai referensi yang diambil adalah referensi standar VDE (*Catalogue 228/4*) dimana disebutkan standar nilai tahanan isolasi yang

disyaratkan adalah setiap $1 \text{ kV} = 1 \text{ M}\Omega$, dimana nilai 1 kV adalah nilai tegangan fasa ke tanah. Tegangan yang digunakan sebesar 2500 dan 5000 Volt .



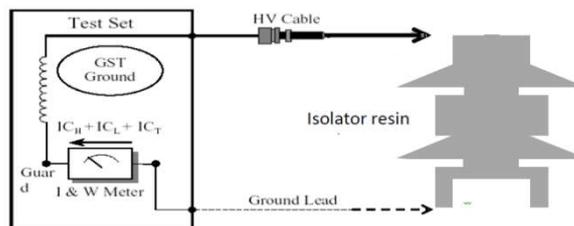
Gambar 10. Single Line Pengujian Tahanan Isolasi

3. Uji Tangen Delta

Uji yang ketiga adalah uji *tangen delta*. Uji *tangen delta* berfungsi untuk mengukur nilai isolasi pada isolator[12]. Dimana peralatan uji tersebut terdiri dari 3 bagian, yaitu bagian mesin, bagian laptop, dan bagian kabel uji. Adapun jenis peralatan yang digunakan adalah alat *tangen delta* dengan merk *Megger* tipe *Delta 4000*. Adapun kabel uji yang disediakan pada peralatan uji tangen delta sejumlah 3 buah kabel yaitu kabel LV (*Low Voltage*), kabel HV (*High Voltage*) dan kabel pentanahan. Pada pengujian tangen delta digunakan enam parameter input tegangan, yaitu 1 kV , 2 kV , 4 kV , 6 kV , 8 kV , 10 kV .



Gambar 11. Mesin Uji Tangen Delta



Gambar 12. Single Line Pengujian Tahanan Isolasi

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada pembahasan selanjutnya adalah pembahasan terkait hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis, antara lain yaitu yang pertama pembahasan hasil pengujian tegangan tembus, yang kedua pembahasan hasil pengujian tahanan isolasi, yang ketiga adalah pembahasan hasil pengujian tangen delta. Dari ketiga hasil pengujian tersebut penuli akan dapat menyimpulkan beberapa bukti terkait tingkat kelayakan dari isolator tumpu dengan bahan pengisi resin epoksi, pasir silika dan *silicon rubber*.

A. Hasil Pengujian Tegangan Tembus

Pengujian tegangan tembus yang dilakukan oleh penulis dengan nilai parameter frekuensi 50 Hz , tegangan bervariasi naik hingga didapatkan nilai maksimum dengan indikasi adanya gejala ketidakmampuan isolasi dalam menahan tegangan. Adapun nilai tegangan yang diterapkan pada pengujian tersebut adalah selama satu menit pada tiap variasi nilai tegangan yang diterapkan.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Tegangan Tembus (Kondisi Kering)

NO	TEGANGAN UJI (KV)	KETERANGAN
1	20	Tidak ada loncatan busur api
2	30	Tidak ada loncatan busur api
3	40	Tidak ada loncatan busur api
4	50	Tidak ada loncatan busur api
5	60	Tidak ada loncatan busur api
6	70	Tidak ada loncatan busur api
7	80	Tidak ada loncatan busur api
8	90	Tidak ada loncatan busur api
9	100	Tidak ada loncatan busur api

Dari tabel hasil penelitian tersebut penulis mendapatkan hasil dari pengujian tegangan tembus dengan menggunakan metode tegangan input yaitu tegangan tinggi dengan variasi tegangan dimulai dari tegangan 20 kV, 30 kV, 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV, 80 kV, 90kV, 100 kV. Didapatkan dari hasil pengujian tersebut objek pengujian atau isolator tumpu yang terbuat dari bahan pengisi resin epoksi mampu menahan tegangan kerja mencapai 100 kV dengan lamanya tegangan terapan satu menit.

Hasil tersebut dapat terlihat dari nilai tabel hasil pengujian bahwa pada setiap variasi tegangan yang diterapkan pada objek pengujian didapatkan kondisi objek tersebut tidak terdapat tanda-tanda kerusakan akibat tegangan terapan tersebut. Indikasi tersebut dapat menyimpulkan bahwa kemampuan objek pengujian dalam kondisi kering dapat menahan tegangan kerja mencapai satu menit.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Tegangan Tembus (Kondisi Basah)

NO	TEGANGAN UJI (KV)	KETERANGAN
1	20	Tidak ada loncatan busur api
2	30	Tidak ada loncatan busur api
3	40	Tidak ada loncatan busur api
4	50	Tidak ada loncatan busur api
5	60	Tidak ada loncatan busur api
6	70	Tidak ada loncatan busur api
7	80	Terjadi loncatan busur api

Pada percobaan kedua pada parameter uji pengujian tegangan tembus, penulis mengujikan objek uji dengan kondisi basah hasil penyemprotan air. Penulis melaksanakan pengujian tegangan tembus pada objek dengan kondisi basah, dengan terapan tegangan bervariasi dari nilai 20 kV, 30 kV, 40 kV, 50 kV, 60 kV, 70 kV, dan 80 kV dengan waktu terapan tegangan pada setiap variasinya selama satu menit.

Dari hasil penelitian tersebut didapatkan hasil penelitian yang terangkum dalam satu tabel diatas. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa objek penelitian dengan kondisi basah mampu menahan tegangan kerja sebesar 70 kV dengan lamanya waktu tegangan terapan selama satu menit. Tegangan yang diterapkan pada objek pengujian tidak penulis naikan lebih tinggi lagi dikarenakan pada saat tegangan dinaikan pada nilai 80 kV terjadi fenomena *flash over* antara fasa dengan tanah, hal tersebut mengindikasikan bahwa nilai maksimal kemampuan isolasi dari objek hanya berkisar pada nilai 70 kV[13].

Fenomena flash over yang terjadi diindikasikan akibat adanya pengaruh kondisi objek yang dalam keadaan basah. Kondisi basah pada objek menurunkan nilai *creeping distance* tegangan yang mengalir pada permukaan isolator[10]. Akibatnya tegangan yang mengalir pada permukaan isolator mengalami *flash over* tegangan antara fasa ke tanah yang diakibatkan oleh menurunnya nilai *creeping distance*[11].

B. Hasil Pengujian Tahanan Isolasi

Penelitian tahanan isolasi yang dilakukan oleh penulis menggunakan alat uji tahanan isolasi dengan merk kyoritsu. Adapun nilai parameter uji yang diterapkan adalah sebesar 1 kV, 2,5 kV dan 5 kV. Adapun hasil penelitian pada pengujian tahanan isolasi pada objek pengujian isolator tumpu dengan bahan resin epoksi adalah sebagai berikut :

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Tegangan Tembus (Kondisi Kering)

NO	UJI TEGANGAN	HASIL PENGUJIAN	KETERANGAN
1	1000 V	Over Limit (> 2 G Ω)	Nilai batas ketelitian maksimum 2 G Ω
2	2500 V	Over Limit (> 100 G Ω)	Nilai batas ketelitian maksimum 100 G Ω
3	5000 V	Over Limit (> 1000 G Ω)	Nilai batas ketelitian maksimum 1000 G Ω

Hasil penelitian yang didapatkan adalah hasil “Over Limit”, dimana hasil tersebut muncul apabila alat uji yang digunakan tidak mampu membaca nilai tahanan yang terukur pada objek pengujian. Setiap variasi tegangan yang diinputkan oleh peralatan uji, maka nilai ketelitian pembacaan tahanan yang didapatkanpun berbeda-beda. Seperti pada tabel hasil penelitian diatas didapatkan nilai ketelitian pembacaan hasil tahanan isolasi pada variasi tegangan input 1 kV hanya maksimal diangka 2 GΩ. Kemudian pada nilai variasi tegangan input 2,5 kV diketahui tingkat ketelitian pembacaan tahanan hanya hingga nilai 100 GΩ, dan pada nilai variasi tegangan input yang terakhir yaitu dengan nilai tegangan 5 kV didapatkan nilai ketelitian pembacaan tahanan isolasi hanya mencapai 1000 GΩ.

Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan nilai tahanan isolasi yang terukur pada objek pengujian adalah lebih dari 1000 GΩ. Dari hasil pengukuran tahanan isolasi tersebut apabila disesuaikan dengan referensi standar VDE (*Catalogue 228/4*) dengan nilai tahanan isolasi yang ditetapkan adalah 1 MΩ setiap 1 kV-nya, maka dengan hasil penelitian 1000 GΩ pada tegangan 5 kV maka objek pengujian yang diteliti peneliti telah melampaui dari nilai yang disyaratkan, dan dikategorikan layak[12].

C. Hasil Pengujian Tangen Delta

Pada penelitian yang ketiga adalah pengujian tangen delta yang dilakukan oleh penulis. Berikut hasil pengukuran *tangen delta* yang didapatkan pada dari pengujian :

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Tangen Delta

NO	TEGANGAN (kV)	ARUS BOCOR (mA)	% TAN DELTA
1	1	0,002	0,128
2	1,997	0,003	0,126
3	3,997	0,007	0,129
4	5,995	0,01	0,13
5	7,988	0,014	0,127
6	9,99	0,017	0,495

Dari hasil penelitian *tangen delta* yang didapatkan dengan enam nilai parameter tegangan input didapatkan nilai *tangen delta* dan arus bocor yang berbeda-beda. Dari nilai parameter tegangan terbesar yaitu 9,99 kV didapatkan hasil *tangen delta* yang terukur adalah 0,495 % dengan arus bocor senilai 0,017 mA. Nilai tangen delta dan nilai arus bocor tersebut juga adalah nilai terbesar dari beberapa parameter tegangan yang berbeda.

Apabila disandingkan dengan standar ANSI C 57.12.90 dengan nilai parameter kategori *GOOD*, *DETERIORATED*, *INVESTIGATE*, *BAD*. Parameter *GOOD* dikategorikan untuk nilai tangen delta kurang dari 0,5 %. Sehingga apabila disandingkan dengan hasil pengukuran penulis dengan nilai *tangen delta* terbesar yang didapatkan adalah sebesar 0,495 % maka objek pengujian yang terukur masuk dalam kategori *GOOD* sesuai dengan standar ANSI tersebut[12].

V. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan oleh penulis pada penelitian didapatkan dari hasil pengujian adalah sebagai berikut :

1. Isolator tumpu dengan bahan resin epoksi pada kondisi kering memiliki kemampuan terhadap tegangan kerja sebesar 100 kV selama satu menit tanpa adanya indikasi *flash over*.

2. Isolator tumpu dengan bahan resin epoksi pada kondisi basah memiliki kemampuan terhadap tegangan kerja sebesar 70 kV selama satu menit tanpa adanya indikasi *flash over*.
3. Tegangan terapan sebesar 80 kV yang dialirkan pada isolator kondisi basah akan memicu terjadinya flash over yang diakibatkan oleh ada menurunnya nilai *creeping distance* yang diakibatkan oleh air yang mengalir.
4. Nilai tahanan isolasi yang terukur pada isolator tumpu dengan bahan resin epoksi didapatkan sebesar lebih dari 1000 G Ω dengan nilai tegangan input 5 kV. Sehingga isolator tumpu dengan bahan resin epoksi tergolong layak apabila disandingkan dengan standar internasional VDE dengan nilai standar 1 G Ω pada setiap 1 kV.
5. Nilai *tangen delta* yang didapatkan pada tegangan terapan terbesar dengan nilai tegangan 9,99 kV didapatkan nilai *tangen delta*-nya adalah sebesar 0.495 %. Dari hasil tersebut apabila disandingkan dengan standar internasional ANSI C 57.12.90 dengan kriteria "GOOD" adalah kurang dari 0,5 %, maka isolator tumpu dengan bahan resin epoksi tergolong dalam kriteria "GOOD" menurut standar ANSI.

REFERENSI

- [1] A. Syakur, I. Novia A, S. Sarjiya, and H. Berahim, "Pengaruh Penambahan Silikon Terhadap Sudut Kontak Hidropobik dan Karakteristik Arus Bocor Permukaan Bahan Resin Epoksi," *Teknik*, vol. 32, no. 3, pp. 198-202, Feb. 2012.
- [2] PT. PLN (Persero), "Buku 1 kriteria Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik," 2010.
- [3] Suwadi, "Analisis Perbandingan Arus Bocor Pada Pengujian Isolator Polimer Resin Epoksi Sistem Distribusi 20 kV Tipe Tiga Sirip Sama Dan Tipe Tiga Sirip Tidak Sama," *Society*, pp. 1-88. 2019.
- [4] A. Syakur, G. Susilowati, S. AK, and A. P. Siregar, "Pengujian Tan Δ pada Kabel Tegangan Menengah," *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 107-112, Mar. 2012.
- [5] R. Joni Setiawan, Ady Prasetyo, "Pengaruh Penambahan TALC terhadap Peningkatan Nilai Kekerasan Cetakan RTV Silicone Rubber pada Proses Spin Casting," *Majalah Ilmiah : Dinamika Kerajinan dan Batik*, vol.34, no. 1. 2017.
- [6] J. Heri, Y. Yuningtyastuti, and A. Syakur, "Studi Arus Bocor Permukaan Bahan Isolasi Resin Epoksi Silane Dengan Variasi Pengisi Pasir Silika (Dengan Polutan Pantai)," *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 14, no. 1, pp. 20-37, Jun. 2012.
- [7] F. Rahman, "Pengaruh Kehalusan Serbuk Pasir Silika Terhadap Kekuatan Tekan Mortar," *Info Tek*, vol. 7, no. 2, pp. 56-66. 2006.
- [8] Slamet Hani, "Pengujian Tegangan Tembus Pada Isolasi Rubber Dalam Rendaman Minyak," *J. Teknol. TECHNOSCIENTIA*, vol. 9, no. 1, pp. 1689-1699. 2013.
- [9] S. H. Mahdi, W. H. Jassim, I. A. Hamad, and K. A. Jasima, "Epoxy/Silicone Rubber Blends for Voltage Insulators and Capacitors Applications," *Energy Procedia*, vol. 119, pp. 501-506. 2017.
- [10] M. Xayyavong, K. Tonmitr, N. Tonmitr, and E. Kaneko, "The Investigation of Insulation Breakdown Strength for the Nano-composite Oxide Doped Epoxy Resin Insulator by Using Positive Impulse Voltage in Comparison with Negative Impulse Voltage," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 86, March, pp. 389-392. 2016.
- [11] L. M. K. Amali, "Analisis Pengujian Arus Bocor Line Post Insulator 70 kV yang Terkontaminasi," *Jurnal Tek. Elektro, Univ. Negeri Gorontalo*, vol. 2, no. 1, pp. 113-116. 2012.
- [12] D. Aribowo, R. Wiryadinata, D. A. Yh, and A. L. Belakang, "Care and Maintenance System Generator Transformer 20KV-150KV," *Electr. - J. Rekayasa dan Teknol. Elektro Care*, vol. 9, no. 1, pp. 31-36. 2014.
- [13] F. M. Abdul Rasyid, "Karakteristik Tegangan Tembus AC pada Material Isolasi Padat Campuran Resin Dengan Alumina (Al₂O₃)," *FTeknik*, vol. 4, no. 2, pp. 1-7. 2017.