



Pengukuran Karakteristik Muatan Maksimum Partial Discharge Material Polimer Epoxy Resin 20 Kv Pada Kelembaban Dan Kabut Garam Ringan

<http://jurnal.universitaskebangsaan.ac.id/index.php/ensains>

ENSAINS: Vol. 3 Nomor. 2 Mei 2020

Satia Zaputra

Departemen Teknik Elektro – Universitas Kebangsaan Bandung
Satiaputra3107@gmail.com

Abstract: Epoxy resin polymer materials began to be widely used as electrical equipment insulation materials. One of them is used as the main insulation material in the manufacture of 20 kV outer-distribution current transformers. If the 20 kV distribution current transformer is placed outside, the polymer insulation performance follows the environmental conditions occupied.

The main purpose of this study is to determine the performance response of partial discharges when the distribution current transformer is placed under environmental conditions of humidity and light salt fog. In various research literatures the maximum partial discharge is one of the causes of the failure of polymer material isolation in terms of the flash over mechanism associated with the performance of the surface leakage current of the insulator.

Partial discharge measurement is performed by the fog chamber test method by providing a working voltage variation of 2-20 kV. The salt fog filtering method uses the IEC 507 standard, while the method of using the salt fog amount uses the IEC 815 standard ESDD impurity solution.

The results of preliminary studies measuring the maximum partial discharge at 95% humidity and 4.6 ms / cm light salt mist produced a positive PD pulse of 26830 pC and a PD negative pulse of 65350 pC. Under conditions of high humidity RH 95%, a maximum load breakdown of the negative PD pulse occurs at a lower working voltage that is 8kV, $Q_{max} = 12007$ pC to $Q_{maks} = 5231$ pC at a working voltage of 10 kV. In the condition of a working voltage of 10 kV, the overload of the positive and negative PD maximum charge pulses also occurs. The data of measurement results of this study indicate the electrical and dielectric strength of epoxy resin material is unstable and fluctuating under conditions of high humidity, 95% RH wet.

Keywords: epoxy resin, partial discharge, salt fog

Abstrak: Material polimer resin epoksi mulai banyak digunakan sebagai bahan isolasi peralatan listrik. Salah satunya digunakan sebagai bahan isolasi utama dalam pembuatan trafo arus distribusi pasangan luar 20 kV. Trafo arus distribusi 20 kV ini jika ditaruh di outdoor (pasangan luar) maka kinerja isolasi polimer mengikuti kondisi lingkungan yang ditempati.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui respon unjuk kerja *partial discharge* (peluahan sebagian) ketika Trafo arus distribusi ditaruh pada kondisi lingkungan kelembaban dan kabut garam ringan. Dalam berbagai literatur penelitian muatan maksimum *partial discharge* adalah salah satu penyebab kegagalan isolasi material polimer dari segi mekanisme flash over yang terkait dengan kinerja arus bocor permukaan isolator.

Pengukuran peluahan sebagian dilakukan dengan metode *fog chamber test* (kamar uji kabut) dengan pemberian variasi tegangan kerja dari 2 – 20 kV. Metode pengotoran kabut garam menggunakan standar IEC 507, sedangkan metode penggunaan jumlah kabut garam menggunakan larutan pengotor ESDD standar IEC 815.

Hasil studi awal pengukuran muatan maksimum peluahan sebagian pada kelembaban 95% dan kabut garam ringan 4.6 ms/cm menghasilkan pulsa positif PD sebesar 26830 pC dan pulsa negatif PD sebesar 65350 pC. Pada kondisi kelembaban tinggi RH 95% , terjadi breakdown muatan maksimum pulsa PD negatif pada tegangan kerja yang lebih rendah yaitu 8kV, $Q_{maks}=12007$ pC ke $Q_{maks}=5231$ pC pada tegangan kerja 10 kV. Pada kondisi tegangan kerja 10 kV ini pula juga terjadi overleap pulsa muatan maksimum PD positif dan negatif. Data informasi hasil pengukuran penelitian ini menunjukkan kekuatan listrik dan dielektrik material resin epoksi tidak stabil dan fluktuatif pada kondisi kelembaban tinggi , basah RH 95%.

Kata kunci : resin epoksi, peluahan sebagian, kabut garam

PENDAHULUAN

Material polimer resin epoksi sudah mulai banyak digunakan sebagai bahan isolasi listrik pasangan luar seiring dengan tumbuhnya industri isolator listrik. Material polimer ini hadir sebagai alternatif material isolasi menggantikan material isolasi keramik dan kaca yang telah digunakan pada industri isolator listrik sebelumnya. Ada isu yang sangat menarik bahwa material polimer unjuk kerjanya sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan setempat. Indonesia sebagai negara tropis dengan tingkat kelembaban dan curah hujan yang tinggi maka isu

degradasi arus bocor permukaan dan penuaan (*aging*) material polimer resin epoksi menjadi masalah yang sangat banyak dibahas dalam berbagai topik riset penelitian material isolasi polimer ini.

Penelitian peluahan sebagian material isolasi dapat memberikan informasi karakteristik dan detail terhadap unjuk kinerja material polimer resin epoksi terkait dengan hubungan kegagalan isolasi dalam penggunaan jangka panjang material di lingkungan tropis seperti Indonesia. Pengukuran arus bocor permukaan isolasi sangat berhubungan dengan muatan maksimum peluahan sebagian permukaan (*surface discharge*). Informasi penting awal ini bisa digunakan sebagai informasi gejala awal terbentuknya pita kering (*dry band*) dalam teori mekanisme kegagalan isolasi.

Tujuan utama dari riset ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja pengukuran karakteristik muatan maksimum peluahan sebagian material epoksi resin epoksi pada berbagai kondisi lingkungan. Diharapkan hasil akhir dari serangkaian pengujian peluahan sebagian ini dapat memberi kontribusi dalam pemecahan masalah kinerja penggunaan material polimer resin epoksi di daerah tropis.

TINJUAN PUSTAKA

Penggunaan isolasi pasangan luar adalah komponen isolator yang sangat luas penggunaan di sistem tenaga listrik seperti pembangkitan, gardu induk, transmisi dan distribusi. Studi yang mendalam dan riset material ini mengalami perkembangan yang sangat tinggi seiring dengan pertumbuhan Industri manufaktur isolator. Sekitar tahun 1959, Perusahaan General Elektrik pertama kali mulai memproduksi isolator jenis material polimer sebagai alternatif penggunaan bahan isolator berbahan keramik dan gelas kaca. (**Outdoor Isolator, R.S Gorur, 1999**).

Isolasi berbahan polimer mulai banyak diteliti dari bahan epoxy resin, karet silikon (silicon rubber), etyhlen propylene diene monomer (EPDM) yang diaplikasikan pada isolasi gardu induk, transmisi dan distribusi. (**Suwarno, 1994 ; Salama Manjang, 2000 ; Berahim , 2005**).

Penelitian peluahan sebagian adalah salah satu topik penting dalam menganalisa unjuk kerja isolasi berbahan polimer. Testing dan pengukuran peluahan sebagian (*partial discharge*) pada tegangan tinggi merupakan fenomena jatuh tegangan (*breakdown phenomena*) yang tidak tembus sempurna pada jarak antara dua elektroda. Dari fenomena peluahan sebagian ini terdiri dari internal discharge, surface discharge, corona discharge. Selanjutnya pengukuran pengenalan pola partial discharge untuk diagnosa isolasi tegangan tinggi, bentuk gelombang peluahan corona, pemohonan listrik (*electrical treeing*) dan void telah banyak dilakukan dalam studi akademis. (**Kreuger, F.H 1992 ; Suwarno, 1994**).

Dari hasil riset pengukuran peluahan sebagian tersebut memberikan hasil kajian empiris bahwa kekurangan dari material polimer yang sangat responsif terhadap faktor suhu, kelembaban dan polutan yang mengotori permukaan isolator pasangan luar. Salah satunya adalah material resin epoksi sangat mudah menyerap air pada permukaan isolasinya. Demikian juga masalah penuaan (*aging*) pada material polimer silikon rubber sehingga sifat getas atau rapuh terhadap fungsi isolasinya. Untuk mengatasi kekurangan isolasi polimer ini digunakan bahan tambahan pengisi (*filler*), tujuannya untuk memperbaiki kinerja material isolator berbahan polimer ini. Unjuk kerja yang diukur adalah arus bocor permukaan, sudut kontak, rugi rugi dielektrik, kekuatan mekanis, kekuatan dielektrik yang paling baik pada komposisi bahan pengisi terbaik (*filler*) material polimer isolator. (**Suwarno, 2004**).

Hasil penelitian Salama Manjang (**Salama Manjang, 2016**) komposisi bahan pengisi *fly ash* (abu sekam) pada komposisi 30% terhadap kemampuan kekuatan dielektrik, kemampuan mekanis dan sudut kontak pada material isolator polimer.

Hasil penelitian Suwarno (**Suwarno, 2019**) melaporkan bahwa penuaan (*aging*) oleh radiasi UV dan penetrasi pada larutan polutan secara bertahap menurunkan kelas hidrofobik isolator polimer silikon rubber. Hilangnya kemampuan hidrofobik menyebabkan permukaan isolator lebih mudah berair dan polutan terbentuk di permukaan dan meningkatkan konduktivitas.

Selanjutnya dalam kaitan material penelitian sebagai bahan pengisi polimer resin epoksi , dilaporkan bahwa penggunaan *fly ash* 30% yang mengandung *silica* dapat menurunkan sifat hidropobik bahan isolasi polimer tsb. (**Hamzah, 2005; Ikhlas, 2016**). Sedangkan dari hasil laporan penelitian Abdul Syakur (**Abdul Syakur, 2015**) diperoleh komposisi terbaik Isolator polimer 20 kV adalah 70% resin epoksi , 30 % campuran *silicon rubber* dan *fly ash*. Komposisi polimer dan bahan pengisi tersebut diatas diperoleh dengan membandingkan hasil pengukuran arus bocor permukaan isolator polimer resin epoksi dengan isolator keramik.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan uji penelitian

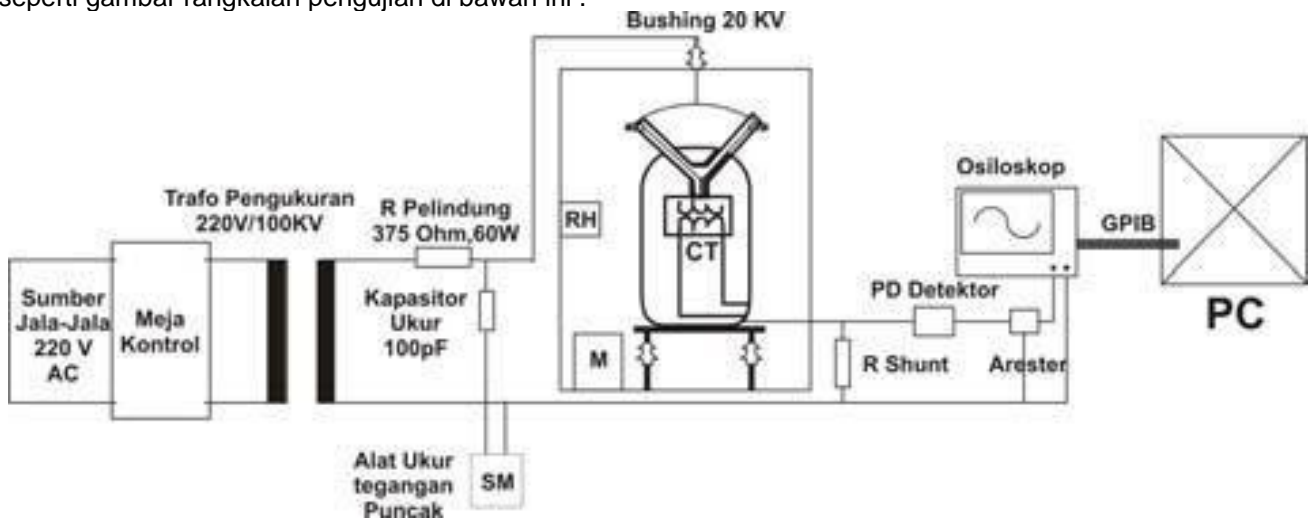
Dalam penelitian pengukuran peluahan sebagian ini digunakan trafo arus distribusi 20 kV dari PT.PLN Distribusi Jawa Barat. Trafo arus distribusi pasangan luar (*outdoor*) ini banyak digunakan pada penyulang SUTM 20 kV. Bahan utama material trafo arus ini adalah resin epoksi dengan bahan pengisi campuran semen putih.



Gambar 1. Trafo Arus Distribusi pasangan luar

Sistem pengukuran peluahan sebagian (*partial discharge*)

Untuk mendapatkan kinerja material resin epoksi ini maka dilakukan pengukuran peluahan sebagian. Trafo arus distribusi ini banyak digunakan pada penyulang SUTM 20 kV di area terbuka pasangan luar maka pengukuran peluahan sebagian juga dibuatkan *chamber test* (kamar uji) pada kondisi kelembaban dan kabut garam tertentu seperti gambar rangkaian pengujian di bawah ini.



Gambar 2. Rangkaian pengukuran peluahan sebagian (PD) trafo arus distribusi

Rangkaian pembangkit tegangan tinggi AC digunakan seperti yang terlihat pada skema uji gambar 2 di atas. Tegangan tinggi yang keluar diatur output tegangan kerja dari 2- 20 kV melalui meja control sesuai dengan tegangan kerja distribusi 20 kV. Resistor 375 Ohm, 60 W digunakan sebagai pelindung jika terjadi hubung singkat. Resistor ini juga akan membatasi besarnya arus yang mengalir pada rangkaian pengujian ini.

Trafo arus distribusi diletakkan pada kamar uji yang telah diatur kondisi kabut garam dan kelembabannya. Resistor shunt digunakan untuk mengubah data arus bocor dan PD yang di ukur pada bagian alas trafo arus uji sehingga dapat diukur oleh osiloskop digital sebagai data djatuh tegangan pada resistor tersebut. Besarnya resistor shunt pada pengujian ini 10k Ohm.

Untuk pengukuran arus bocor komponen konduktif digunakan *Low Pass Filter (LPF)* yang terdiri dari komponen Resistor dan kapasitor. Arus bocor yang dilewatkan melalui LPF ini adalah yang memiliki frekuensi di bawah 1 kHz dengan penguatan 0.5. Sedangkan untuk pengukuran arus bocor komponen pulsif yang dilewatkan melalui High Pass Filter (HPF) dengan lebar frekuensi 131-384 kZ, sehingga hanya arus bocor yang memiliki frekuensi antar kedua nilai tersebut saja yang dilewatkan ke osiloskop.

Pengotoran Trafo Arus

Pengotoran trafo arus mengacu pada standar IEC 507. Metode pengotoran berdasarkan pengotoran kabut garam yang sering disebut dengan *salt fog test*, sbb:

1. Pengotoran dengan bahan pengotor kaolin 40 gram yang dilarutkan ke dalam satu liter dan ditambah variable NaCL sedikit demi sedikit untuk mendapatkan konduktivitas yang diinginkan. Konduktivitas larutan pengotor dihitung dengan alat ukur TD Scan.
2. Larutan pengotor dimasukkan ke dalam bak air microwave untuk menghasilkan kabut garam yang dialirkan ke dalam kamar tes. Kabut garam dihentikan setelah mendapatkan tingkat kelembaban yang diinginkan.

Jumlah garam yang digunakan sebagai larutan pengotor sering disebut dengan *ESD (Equivalent Salt Deposit Density)*. Berdasarkan standar IEC 815, maka klasifikasi larutan pengotor ESDD seperti tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Klasifikasi kontaminasi larutan pengotor

ESDD(mg/cm ²)	Konduktivitas (mS/cm)	Klasifikasi kontaminasi
0-0,03	0-12	Bersih
0,03 -0,06	12-24	Polusi ringan
0,06-0,1	24-40	Polusi sedang

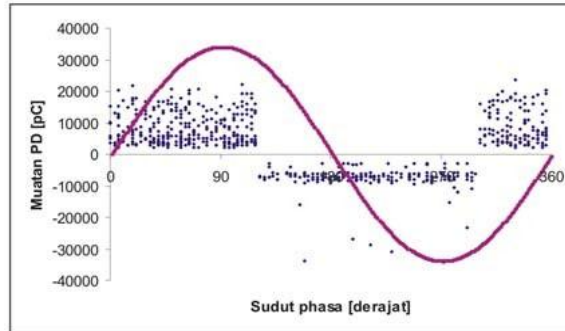
>0,1	>40	Polusi tinggi
------	-----	---------------

Pada pengujian penelitian tahap awal ini digunakan konduktivitas kabut garam 4.6 ms/cm pada klafikasi kontaminasi bersih (clean fog). Namun klasifikasi kontaminasi bersih ini diuji dengan menggunakan berbagai kondisi kelembaban yang kering RH 56%, sedang 78%, dan tinggi 95%

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil bentuk representasi pulsa peluahan sebagian (PD)

Pulsa partial discharge terdiri dari dua pembawa muatan yaitu muatan positif dan muatan negative, sehingga setiap pulsa PD selalu direpresentasikan kedalam urutan pulsa (ϕ, q, n), dimana ϕ adalah sudut fasa, q sebagai muatan pulsa PD dan n adalah jumlah pulsa PD. Berikut adalah salah bentuk pola pulsa PD yang sudah diolah di program excel untuk pengukuran PD pada tegangan kerja 20 kV.



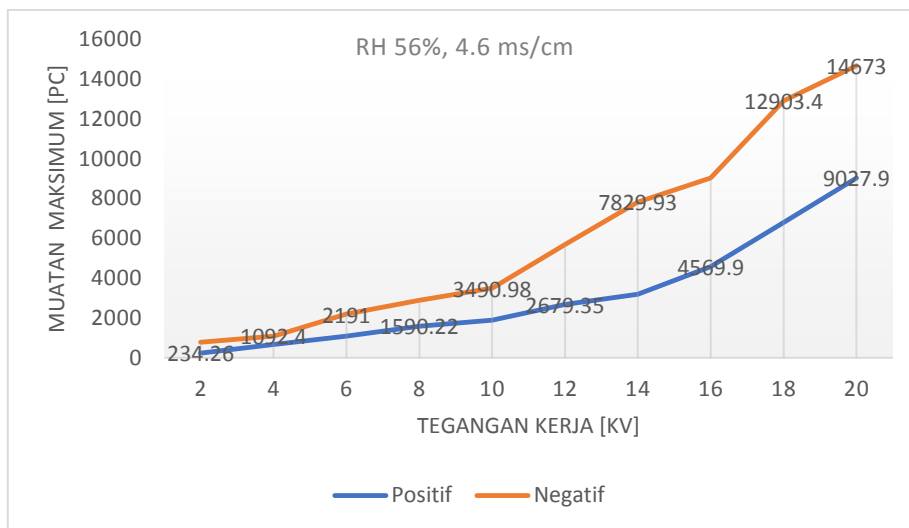
Gambar 2. Pola pulsa (ϕ, q, n) partial discharge tegangan kerja 20 kV

Karakteristik muatan maksimum peluahan sebagian material resin epoksi trafo arus

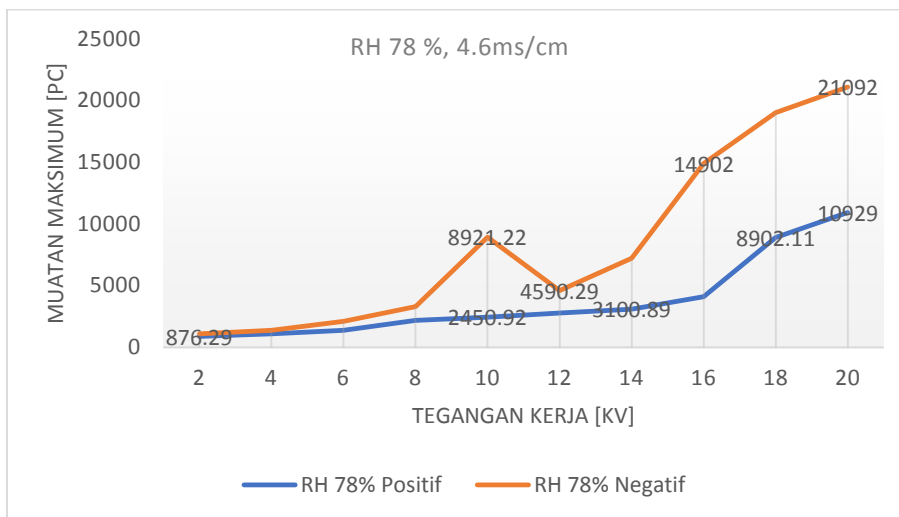
Hasil pengukuran dilakukan pada variasi tegangan kerja 2 – 20 kV dengan polutan 4.6 ms/cm pada berbagai kondisi kelembaban kering, sedang dan basah .

Tabel 2. Karakteristik muatan maksimum resin epoksi trafo arus distribusi

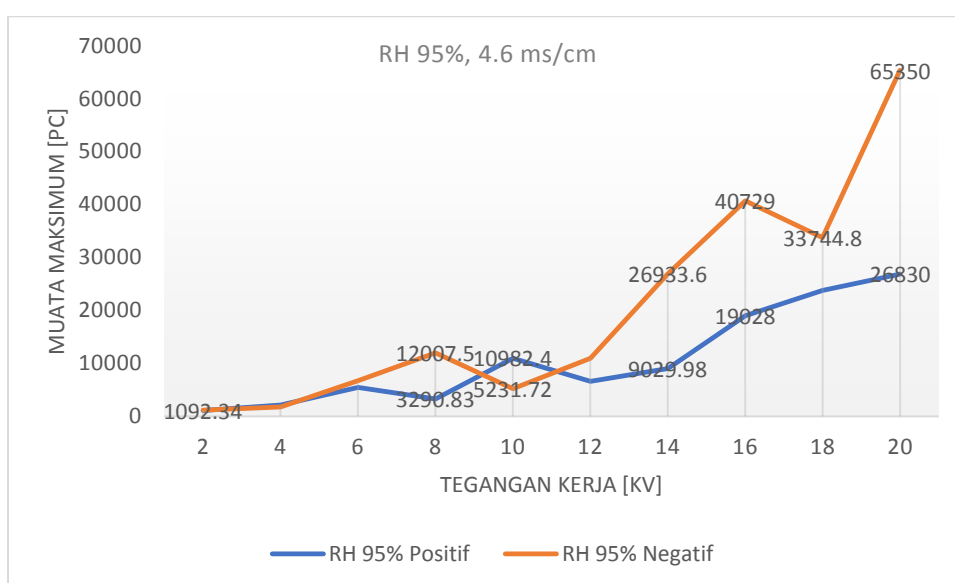
Kabut	Qmaks (pC)	Tegangan Uji (kV)									
		Trafo Arus Distribusi									
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
RH 56%	Positif	234.26	672.11	1090.8	1590.22	1890.39	2679.35	3190.83	4569.9	6790.22	9027.9
	Negatif	782.9	1092.4	2191	2890.83	3490.98	5690.93	7829.93	9026.9	12903.4	14673
RH 78%	Positif	876.29	1092.2	1390.2	2190.73	2450.92	2781.9	3100.89	4109.3	8902.11	10929
	Negatif	1092.33	1390.8	2109.5	3290.83	8921.22	4590.29	7210.9	14902	19009.2	21092
RH 95%	Positif	1092.34	2109.3	5450.9	3290.83	10982.4	6590.28	9029.98	19028	23789.3	26830
	Negatif	1190.78	1789.3	6721.8	12007.5	5231.72	10982.5	26933.6	40729	33744.8	65350



Gambar 3. Karakteristik muatan maksimum PD pada RH 56%



Gambar 4. Karakteristik muatan maksimum PD pada RH 78%



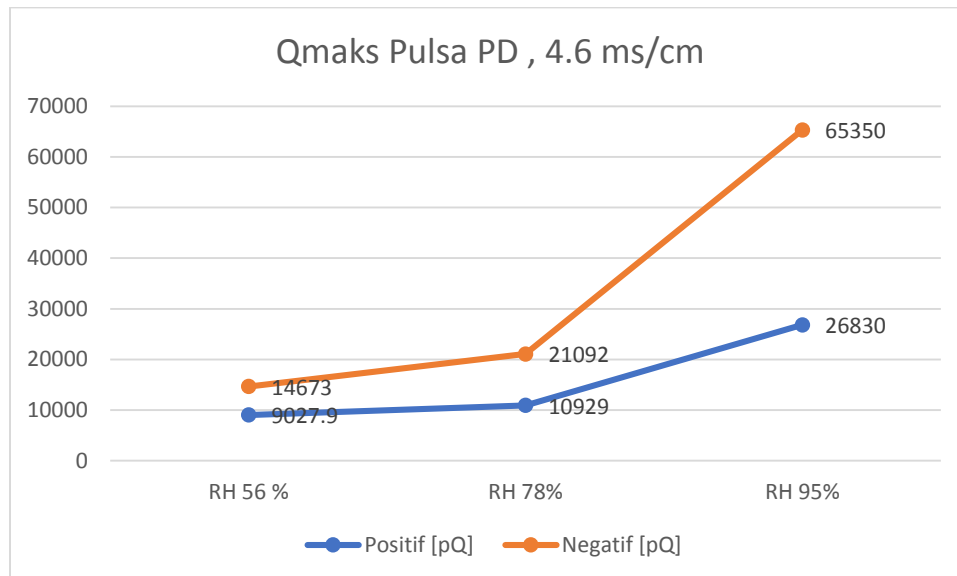
Gambar 5. Karakteristik muatan maksimum pada RH 95%

Hasil diskusi dan analisa penelitian

Penelitian ini telah berhasil merekam pengujian pengukuran muatan maksimum partial discharge material resin epoksi trafo arus distribusi. Dari seluruh pengukuran gambar karakteristik muatan maksimum pada berbagai kondisi kelembaban menunjukkan bahwa secara linieritas mengalami kenaikan muatan maksimum seiring dengan kenaikan variasi tegangan kerja dari 2 – 20 kV. Tabel 3 di bawah ini menunjukkan karakteristik Qmaksimum muatan pulsa PD positif maupun negatif pada berbagai kondisi kelembaban kering (RH 56%), sedang (78%) dan basah (95%).

Tabel 3. Karakteristik Qmaksimum pulsa PD

4.6 ms/cm	RH 56 %	RH 78%	RH 95%
Positif [pC]	9027.9	10929	26830
Negatif [pC]	14673	21092	65350



Gambar 6. Karakteristik muatan maksimum pulsa PD pada berbagai kondisi kelembaban

Dari gambar 6 terlihat dengan jelas bahwa kenaikan muatan maksimum sangat mudah terjadi dari kelembaban sedang (RH 78%) ke kondisi kelembaban tinggi (basah, RH 95%). Selanjutnya hasil analisa muatan maksimum PD pada gambar 4 kondisi kelembaban kering RH 56% baik pulsa negatif maupun positif naik secara liner tanpa ada terjadi breakdown muatan pada tegangan kerja 2 – 20 kV.

Pada gambar 5 yaitu kondisi kelembaban sedang RH 78% grafik pulsa PD negatif terjadi breakdown muatan maksimum yaitu pada tegangan 10 kV, $Q_{maks} = 8921$ pC ke $Q_{maks}=4590$ pC pada tegangan kerja 12 kV. Sedangkan pada gambar 6 yaitu kondisi kelembaban tinggi RH 95% menunjukkan grafik pulsa PD terjadi breakdown muatan maksimum pada tegangan kerja yang lebih rendah yaitu 8kV, $Q_{maks}=12007$ pC ke $Q_{maks}=5231$ pC pada tegangan kerja 10 kV. Selanjutnya breakdown muatan maksimum kembali terjadi pada perpindahan tegangan kerja 16 kV ke 18 kV. Jadi pada kondisi kelembaban basah RH 95%, terjadi dua kali breakdown muatan maksimum dalam proses peluahan sebagian.

Namun ada fenomena yang menarik pada gambar 5 ini yaitu terjadinya overleap muatan maksimum pada antara pulsa PD positif dan pulsa PD negatif pada tegangan kerja 10 kV. Data Informasi breakdown dan overleap muatan maksimum ini menunjukkan bahwa pada kondisi basah kelembaban tinggi RH 95% material resin epoksi sangat responsif dan memiliki kekuatan elektrik dan dielektrik yang tidak stabil dan fluktuatif.

Dari hasil studi awal pengukuran peluahan sebagian ini telah dapat memberi informasi bahwa arus komponen pulsif frekuensi tinggi peluahan sebagian pada permukaan material isolasi resin epoksi sangat dipengaruhi reaksi konduktivitas dari uap kabut garam (NaCl) yang diberikan pada kelembaban tinggi, basah 95 %. Hipotesa sementara secara teori molekul garam Na^+ ini sangat mudah bereaksi dengan molekul Oksigen (O) dari kandungan H_2O kelembaban tinggi tersebut. Proses kimiawi ini yang menyebabkan terjadi degradasi kinerja arus bocor permukaan komponen pulsif peluahan sebagian material isolasi resin epoksi.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Penelitian pengukuran muatan maksimum partial discharge (PD) material resin epoksi telah dilakukan dengan hasil analisa diskusi pengukuran sbb:

1. Karakteristik muatan maksimum PD naik secara linieritas seiring dengan kenaikan tegangan kerja serta kelembaban yang diberikan. Terutama sekali pada perpindahan kelembaban sedang RH 78% ke kondisi kelembaban tinggi, basah RH 95%.
2. Grafik karakteristik muatan maksimum pulsa PD negatif umumnya selalu lebih besar dari pada pulsa PD positif.
3. Pada kondisi kelembaban sedang RH 78% grafik pulsa PD negatif terjadi breakdown muatan maksimum yaitu pada tegangan 10 kV, $Q_{maks} = 8921$ pC ke $Q_{maks}=4590$ pC pada tegangan kerja 12 kV.
4. Pada kondisi kelembaban tinggi RH 95% , terjadi breakdown muatan maksimum pulsa PD negatif pada tegangan kerja yang lebih rendah yaitu 8kV, $Q_{maks}=12007$ pC ke $Q_{maks}=5231$ pC pada tegangan kerja 10 kV. Pada kondisi tegangan kerja 10 kV ini pula juga terjadi overleap pulsa muatan maksimum PD positif dan negatif. Pada kondisi RH 95% juga terjadi breakdown muatan maksimum ke dua yaitu pada perpindahan tegangan kerja 16 kV ke 18 kV.
5. Data informasi breakdown dan overleap muatan maksimum pulsa PD positif maupun negatif menunjukkan kekuatan elektrik dan dielektrik material resin epoksi tidak stabil dan fluktuatif pada kondisi kelembaban tinggi , basah RH 95%.

Saran

Untuk menghasilkan unjuk kinerja material resin epoksi trafo arus distribusi yang lebih konprehensif, perlu dilanjutkan pengujian peluahan sebagian pada kabut garam polutan ringan dan sedang 24 – 36 ms/cm. Perbandingan hasil pengujian pada berbagai kondisi kelembaban dan polutan tersebut diharapkan bisa menghasilkan analisa arus bocor komponen pulsif frekuensi tinggi terhadap fenomena surface discharge. Selanjutnya pengujian arus bocor permukaan komponen konduktif berfrekuensi rendah di bawah 1 kHz juga perlu dilakukan agar bisa memperkuat fenomena mekanisme arus bocor material resin epoksi secara keseluruhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada PT.PLN Distribusi Jawa Barat yang telah memberikan Trafo arus distribusi sebagai bahan material uji dalam penelitian ini. Demikian juga kepada Laboratorium arus dan tegangan tinggi STEI ITB Bandung yang memberikan dukungan dalam terlaksananya penelitian pengukuran peluahan sebagian material resin epoksi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Setiyo Busono, Abdul Syakur, M. Facta (2019), Kajian Eksperimental perbandingan arus bocor pada isolator resin epoksi dengan isolator keramik untuk sistim distribusi 20 kV. Prosiding seminar nasional energi , telekomunikasi, dan otomasi , SNETO 2019. Bandung
- Suwarno (2016), Partial Discharge In High Voltage Insulating Materials. Internasional Journal on Electrical Engineering and Informatics-Volume 8, Number 1, March 2016
- Suwarno (2016), Simulation Analysis of Surface Current as TEV Signal Caused by Partial Discharge on Post Insulator In Bus Duct. International Conference on Dielectrics - ICD 2016
- Stephen , Sopyan ,lis (2001), Kimia *Polimer*, Pradnya Paramita, Jakarta
- R.S Gorur, (1999) , Outdoor Insulators , Phoenix , Arizona, USA.
- Kreuger, F.H (1992), *Industrial High Voltage , coordinating , testing , measuring*, Delft University press, Netherland
- IEC Standard, 507 (1991), Artificial Pollution on High Voltage Insulators To Be Used on AC System.
- IEC Standard, 60-1 (1989) , High Voltage Testing Technique, IEC