

PENGARUH TEKANAN TERHADAP *INCEPTION PARTIAL DISCHARGE* PADA BAHAN DIELEKTRIK KOMPOSIT DAN NON-KOMPOSIT

Parlin Siagian¹⁾, Syafruddin H.S.²⁾, Zuraidah Tharo³⁾

¹⁾Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi

email: parlinsiagian@dosen.pancabudi.ac.id

²⁾Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

email: syafruddin@usu.ac.id

³⁾Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi

email: zuraidahtharo@dosen.pancabudi.ac.id

Abstrak

Partial discharge adalah gejala yang terjadi pada isolasi tegangan tinggi yang mengawali terjadinya kerusakan pada bahan isolasi. Kerusakan itu adalah breakdown atau tembu slistik pada bahan isolasi. Partial discharge di dalam bahan isolasi terjadi disebabkan adanya rongga udara atau cavity yang mempunyai kekuatan dielektrik yang berbeda dengan isolasi. Pada tulisan ini bahan isolasi yang terdiri dari kertas berbahan komposit dan non-komposit diberikan tekanan mekanik yang bertujuan menekan cavity dalam bahan dielektrik untuk melihat perubahan inception voltage partial discharge pada setiap kenaikan tekanan yang diberikan kepada bahan isolasi yang diuji. Bahan yang diuji pada penelitian ini adalah jenis kertas Letroid dengan ketebalan 0,2 mm dan 0,5 mm. Setiap perubahan tekanan memiliki nilai inception voltage yang berbeda-beda dan menjadi karakteristik baru bagi bahan dielektrik yang diuji.

Kata-Kata Kunci: *Partial Discharge, Inception Voltage, Cavity, Isolasi, Komposit*

1. PENDAHULUAN

Dalam bidang kelistrikan masalah isolasi dalam merupakan masalah yang cukup penting. Setiap peralatan listrik pasti membutuhkan isolasi untuk memisahkan bagian-bagian peralatan yang berbeda tegangannya atau untuk mengamankan manusia dari bagian peralatan listrik yang bertegangan.

Dalam sistim tegangan rendah masalah isolasi ini mungkin masih cukup sederhana, karena efek yang ditimbulkan oleh tegangan rendah tersebut tidak begitu kompleks. Namun dalam sistim tegangan tinggi masalah isolasi ini cukup rumit, karena menimbulkan efek terhadap bahan isolasi seperti di bawah ini:[1]

- peluahan sebagian (*partial discharge*)
- korona
- arus bocor
- lewat denyar (*flashover*)
- dan tembus (*breakdown*).

Hal-hal tersebut perlu mendapatkan perhatian karena sangat mempengaruhi kontinuitas pelayanan sistim tenaga listrik. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian terhadap setiap bahan isolasi untuk mengamati apakah fenomena di atas terjadi pada bahan isolasi. Biasanya pengujian bahan-bahan dielektrik hanya meliputi pengujian tegangan tembus (*breakdown*), pengukuran kapasitansi dan pengukuran faktor rugi-rugi dielektrik ($\tan \delta$).[2][3] Hasil pengujian atas ketiga hal ini digunakan untuk melihat baik atau buruknya suatu bahan dielektrik. Dari pengujian bahan dielektrik padat, diketahui bahwa titik kelemahan dari bahan dielektrik adalah

adanya rongga, retak, dan ketidaksempurnaan lain pada bahan dielektrik. Pengukuran[4][5] dan pengamanan[6] terhadap *partial discharge* telah menjadi sesuatu yang mutlak diperlukan untuk mengetahui proses dan gejalanya sejak awal sebelum terjadinya kerusakan.

Ketidaksempurnaan dalam bahan dielektrik padat ini akan menyebabkan suatu bagian yang mempunyai kekuatan dielektrik yang lebih rendah dari kekuatan dielektrik bahan dielektrik padat tersebut.[1] Akibatnya, apabila diberikan tegangan tinggi akan menyebabkan peluahan muatan pada bagian yang kekuatan dielektriknya lebih rendah tersebut.[7] Pernyataan terakhir inilah yang dikenal dengan istilah peluahan sebagian dalam suatu bahan dielektrik padat. Dalam suatu sistim isolasi yang terdiri dari udara dan dielektrik masalah peluahan sebagian ini cukup penting, sehingga diperlukan suatu cara pengujian yang dapat mengukur peluahan sebagian dalam suatu rongga kecil (*cavity*) sekalipun di dalam bahan dielektrik padat[5]. Disamping itu pengukuran terhadap *partial discharge* ini dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas bahan dielektrik padat dalam pabrikasi.

Kriteria dari peluahan sebagian di dalam suatu bahan dielektrik padat dinyatakan dengan tegangan mulai peluahan sebagian, yaitu tegangan yang membuat mulai terjadinya peluahan sebagian rongga udara yang terdapat dalam sistim isolasi. Dalam prak-teknya sistim isolasi mengalami tekanan mekanik. Disamping sebagai pengikat tekanan mekanik ini sekali gus untuk mengurangi rongga-rongga udara yang ada. Dalam tulisan ini

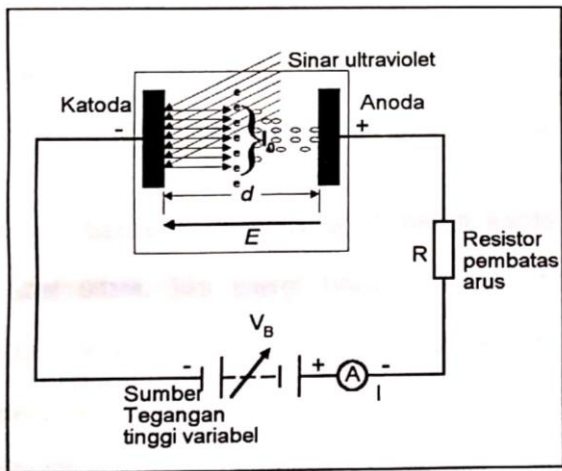
akan dilakukan pengamatan mengenai pengaruh tekanan mekanik terhadap tegangan mulai peluahan sebagian pada dua jenis sistim isolasi yaitu: udara dengan kertas dan minyak dengan kertas.

2.1. Umum

Partial discharge adalah peluahan listrik yang hanya melibatkan sebagian dari bahan dielektrik di antara dua elektroda dan tidak menjembatani celah di antara dua elektroda tersebut. Peluahan sebagian dapat terjadi pada sebuah rongga (*cavity*)[7] di dalam suatu bahan dielektrik, pada permukaan bahan dielektrik padat dan bagian-bagian runcing pada konduktor yang bertegangan tinggi. Peristiwa ini terjadi karena udara sebagai dielektrik mengalami kegagalan. Contoh peristiwa peluahan sebagian ini adalah pada rongga udara di dalam isolator tegangan tinggi, permukaan isolator dan konduktor tegangan tinggi.

2.2. Mekanisme Kegagalan Pada Dielektrik Udara

Kegagalan rongga udara pada prinsipnya adalah kegagalan dielektrik udara di antara dua elektroda. Prinsip kegagalan udara di antara dua elektroda dapat dijelaskan dengan mekanisme Townsend.[8][4] Seperti gambar 2.1. Pada gambar ditunjukkan dua elektroda piring parallel yang dipisahkan oleh udara bertekanan *p* dan jarak sela elektroda adalah *d*. Elektroda diberi tegangan tinggi, sehingga di sela elektroda timbul medan listri *E* yang seragam.[9]



Gambar 1. Rangkaian Percobaan Townsend

Dari gambar yang ditunjukkan dua elektroda piring parallel yang dipisahkan oleh udara bertekanan *p* dan jarak sela elektroda adalah *d*. Elektroda diberi tegangan tinggi, sehingga di sela elektroda timbul medan listrik *E* yang seragam. Ketika radiasi eksternal seperti sinar ultraviolet mengenai katoda, dan energi yang dipancarkan. Ketika radiasi eksternal seperti sinar ultraviolet mengenai katoda dan energi yang diberikannya lebih besar daripada energi ikat elektron di katoda, maka elektron akan dilepaskan dari katoda. Suatu elektron dengan muatan *e* pada medan *E* akan dipercepat dengan gaya:

$$F = e \cdot E \text{ [N]} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana: *e* = muatan elektron [Coulomb]

E =muatan listrik pada sela [V/m]

Jika elektron telah bergerak sejauh *x*, maka usaha yang ditimbulkannya adalah:

$$u = F \cdot x \text{ [Joule]} \dots \dots \dots (2)$$

Usaha yang ditimbulkan ini sama dengan energi kinetik elektron pada saat elektron tiba di titik *x* itu. Jika pada saat itu kecepatan elektron adalah *U_x* , maka energi kinetiknya adalah :

$$u = \frac{1}{2} (m \cdot v_x^2) \text{ [Joule]} \dots \dots \dots (3)$$

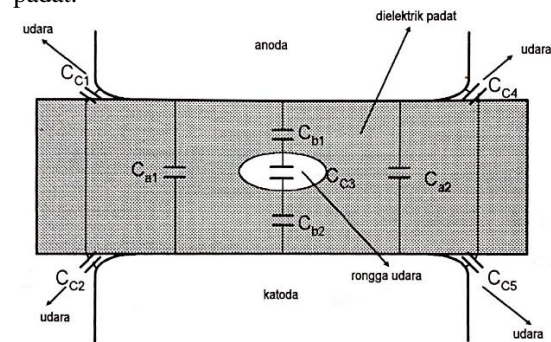
di mana: *m* = massa elektron [kg]

v_x = kecepatan elektron pada saat telah bergerak sejauh *x* [m/detik].

Saat elektron ini bergerak menuju anoda ia akan berbenturan dengan molekul-molekul netral udara. Jika energi kinetik elektron lebih besar dari energi ikat ion udara yang ditumbuknya, maka molekul netral akan terionisasi. Ionisasi ini menghasilkan ion positif dan elektron baru. Elektron baru melakukan hal yang serupa dengan elektron awal, sehingga dihasilkan kumpulan elektron-elektron baru yang memanjang menghubungkan katoda dengan anoda. Ion positif bergerak menuju katoda dan elektron menuju anoda. Jadi ada perpindahan elektron dari katoda ke anoda dan perpindahan muatan positif dari anoda ke katoda. Perpindahan muatan inilah yang menyebabkan arus listrik mengalir dari katoda ke anoda. Jika arus listrik sudah cukup besar maka dielektrik menjadi konduktif. Pada keadaan inilah dielektrik udara dikatakan tembus listrik.

2.3. *Partial Discharge* pada Sistem Isolasi

Pada gambar 2 ditunjukkan suatu system isolasi yang terdiri dari dielektrik udara dan dielektrik padat.



Gambar 2. Rangkaian ekuivalen sistem isolasi

Pada suatu sistem isolasi seperti gambar 2 terlihat ada dua dielektrik yaitu dielektrik udara dan

dielektrik padat di udara terdapat di antara permukaan elektroda dan dielektrik padat dan di dalam rongga yang terdapat pada dielektrik padat. Jika kapasitansi udara sistem isolasi dinyatakan dengan C_c elektrik pada yang sering yang seri dengan rongga udara dinyatakan dengan C_b dan kapasitansi dielektrik padat dinyatakan dengan C_a akan nilai kapasitansi sistem isolasi di atas dapat ditulis sebagai berikut:

$$C_c = \frac{C_{c1}C_{c2}}{C_{c1} + C_{c2}} + C_{c3} + \frac{C_{c4} \cdot C_{c5}}{C_{c4} + C_{c5}} \dots \dots \dots (4)$$

$$C_a = C_{a1} + C_{a2} \dots \dots \dots (5)$$

$$C_b = C_{b1} + C_{b2} \dots \dots \dots (6)$$

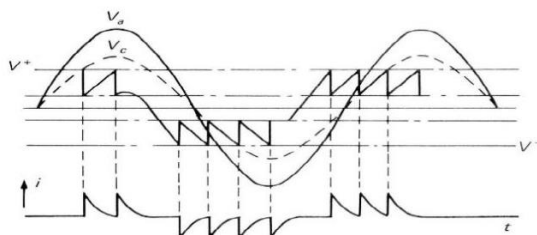
rangkaian ekivalen seperti Gambar 2 dapat disederhanakan menjadi Gambar 3 rangkaian ekivalen disamping seluruh kapasitansi elektrostatis sistem isolasi adalah:

$$C_t = C_a + \frac{C_c \cdot C_b}{C_c + C_b} \dots \dots \dots (7)$$

jika tegangan sesaat dielektrik adalah v maka tegangan sesaat pada C_c adalah:

$$v_c = \frac{v \cdot C_b}{C_c + C_b} \dots \dots \dots (8)$$

pada Gambar 3 berikut ini ditunjukkan tegangan v sesaat dan v_c misalkan tegangan *partial discharge* rongga udara adalah v_i : [8]



Gambar 3. Tegangan pada benda uji (v) dan rongga udara (v_c)

Jika harga v naik maka v_c akan naik juga hingga suatu saat akan mencapai tegangan sebesar tegangan discharge udara pada rongga (v_i). Saat inilah mulai terjadi discharge muatan pada rongga. Setelah C_c melakukan discharge muatan maka terjadi pengurangan tegangan pada benda uji yang besarnya adalah:

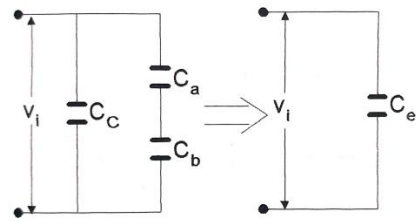
$$\Delta V = \frac{v_i \cdot C_b}{C_a + C_b} \dots \dots \dots (9)$$

Karena umumnya rongga sangat kecil, maka $C_a \gg \gg C_b$ persamaan (9) menjadi:

$$\Delta V = \frac{v_i \cdot C_b}{C_a} \dots \dots \dots (10)$$

Saat terjadi discharge muatan, maka Gambar 3 menjadi seperti Gambar 4, dimana:

$$C_e = C_c + \frac{C_a \cdot C_b}{C_a + C_b}$$



Gambar 4. Rangkaian ekivalen system isolasi saat terjadi discharge muatan

Muatan yang pindah dalam rongga adalah:

$$q_c = v_i \cdot C_e$$

$$q_c = v_i \cdot \left\{ C_c + \frac{C_a \cdot C_b}{C_a + C_b} \right\} \dots \dots \dots (11)$$

Karena $C_a \gg \gg C_b$, maka:

$$q_c = v_i \cdot \left\{ C_c + \frac{C_a \cdot C_b}{C_a + C_b} \right\}$$

$$q_c = v_i (C_c + C_b)$$

Atau,

$$v_i = \frac{q_c}{C_c + C_b} \dots \dots \dots (12)$$

Partial discharge tersebut menimbulkan perpindahan muatan pada terminal benda uji yang besarnya:

$$q_t = \Delta V \cdot C_t$$

$$\Delta V \cdot \left\{ C_a + \frac{C_c \cdot C_b}{C_c + C_b} \right\} \dots \dots \dots (13)$$

Karena C_c dan C_b kecil sekali, maka $C_c \cdot C_b \ll \ll$, sehingga:

$$q_t = \Delta V \cdot C_a \dots \dots \dots (14)$$

Substitusi persamaan (10) ke persamaan (14), maka diperoleh:

$$q_t = v_i \cdot C_b \dots \dots \dots (15)$$

Selanjutnya harga v_i pada persamaan (12) disubstitusi ke persamaan (15) maka diperoleh:

$$q_t = \frac{q_c \cdot C_b}{C_c + C_b} \dots \dots \dots (16)$$

Terlihat bahwa discharge muatan menimbulkan perpindahan muatan pada ujung terminal elektroda benda uji (q_t) berbeda dengan muatan yang dilepaskan pada rongga (q_c).

$$\frac{q_t}{q_c} = \frac{v_i \cdot C_b}{v_i (C_c + C_b)}$$

$$q_t = \frac{C_b}{C_c + C_b} \cdot q_c \dots \dots \dots (17)$$

Terlihat bahwa q_t lebih kecil daripada q_c . Energi discharge W yaitu energi yang dilepaskan pada rangkaian gambar 5 saat turun dari v_i menuju 0 adalah:

$$w = \left\{ C_c + \frac{C_a \cdot C_b}{C_a + C_b} \right\} \cdot \frac{v_i^2}{2} \dots \dots \dots (18)$$

Menurut persamaan 11 diperoleh:

$$C_c + \frac{C_a \cdot C_b}{C_a + C_b} = \frac{q_c}{v_i} \dots \dots \dots (19)$$

Substitusi persamaan 19 ke persamaan 18 didapat energi yang dilepaskan pada saat discharge adalah:

$$w = q_c \cdot \frac{v_i}{2} \dots \dots \dots (20)$$

II. METODE PENELITIAN

Untuk menyelidiki sejauh mana pengaruh kenaikan tekanan terhadap harga tegangan mulai peluahan sebagian pada sistim isolasi, dilakukan pengukuran terhadap bahan dielektrik melalui sebuah percobaan di laboratorium. Berikut ini akan dijelaskan tentang peralatan pengukuran, penyiapan sampel, kalibrasi alat ukur, rangkaian pengukuran dan prosedur pengukuran.

2.1. Peralatan Pengukuran

Dalam pengujian ini beberapa peralatan yang dipergunakan untuk berhasilnya penelitian. Adapun peralatan-peralatan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Trafo penguji 200 V/ 20 kV
2. Switch and Control Desk, Type SRP 0,5/5
3. *Partial discharge* detector model CD-5, buatan Neihon Keisokuki Seizosho Co.Ltd.
2. Penyearah dioda jembatan gelombang penuh
3. Trafo pengukuran PT.22 kV/110 V
4. X -Y recorder YEW type 3023
5. Tahanan 50 kΩ
6. Voltmeter digital
7. Bejana sampel dan elektroda silendris dengan diameter 1 cm
8. Kapasitor perangkai 1200 pF
9. Minyak transformator
10. Timbangan
11. Pemberat
12. Bahan dielektrik.

2.2. Penyiapan Sampel

Sampel yang akan digunakan dalam pengukuran tegangan mulai peluahan sebagian terdiri dari tiga jenis, yaitu: kertas letroid 0,2 mm, kertas letroid 0,5 mm dan kertas letroid lapis plastik 0,5 mm. Sampel dipotong-potong dengan ukuran 5 cm x 5 cm agar lebih besar dari luas permukaan elektroda untuk
SEMNASTEK UISU 2020

menghindari lewat denyar dari permukaan kertas dielektrik.

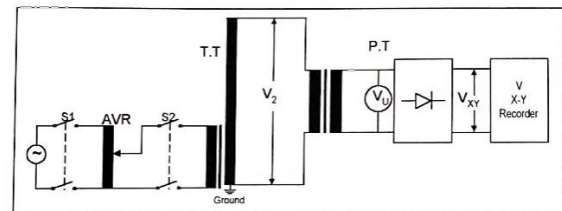
Pengujian dilakukan untuk kertas non komposit dan kertas komposit. Untuk satu tingkat tekanan dibutuhkan 5 sampel. Tingkat tekanan yang dibutuhkan adalah 13 tingkat, mulai dari ± 0,25 kg/cm² sampai ± 33 kg/cm². Oleh karena itu sampel yang dibutuhkan adalah 65 lembar untuk non komposit dan 65 lembar untuk komposit.

2.3. Metode Pengukuran

Metode pengukuran dengan menggunakan voltmeter dan *Partial Discharge Detector* dilakukan dengan cara menghubungkan voltmeter ke sekunder trafo ukur. Pembacaan voltmeter dilakukan pada saat terjadi *partial discharge* yang diamati pada *Partial Discharge Detector*. Tegangan yang dibaca pada voltmeter saat itu adalah tegangan muai peluahan sebagian. Metode pengukuran ini sulit dilakukan, karena membutuhkan kecepatan melihat tegangan pada voltmeter danatan peluahan pada *Partial Discharge Detector* secara bersama-sama. Untuk mengatasi kesulitan di atas maka digunakan cara lain, yaitu menggunakan X-Y Recorder. Alat ukur X-Y Recorder mempunyai dua masukan, yaitu: masukan tegangan dan masukan peluahan muatan. Masukan tegangan dihubungkan dengan tegangan yang telah disearahkan dari sekunder trafo ukur. Masukan peluahan muatan dihubungkan dengan keluaran dari *Partial Discharge Detector*, sehingga tegangan pada saat peluahan dan muatan peluahan dapat direkam sekaligus. Metode inilah yang dilakukan dalam penelitian ini.

2.4. Kalibrasi Alat Ukur

Diatas telah dijelaskan bahwa metode pengukuran yang digunakan adalah menggunakan X-Y Recorder. Oleh karena itu perlu dicari hubungan antara tegangan pada benda uji dengan tegangan yang direkam oleh X-Y Recorder, caranya adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Rangkaian kalibrasi X-Y Recorder

Rangkaian pengukuran disusun seperti pada Gambar 5

2.5. Prosedur pengukuran adalah sebagai berikut :

1. Saklar S1 ditutup.
2. AVR diatur sehingga tegangan keluarannya nol.
3. Saklar S2 ditutup.

4. Tegangan keJuaran AVR diatur, sehingga tegangan keluaran trafo uji naik sampai X-Y recorder menunjukkan harga 5 volt, lalu harga pada V_u dicatat.
Prosedur seperti di atas dilakukan untuk penunjukan pada X -Y recorder 10 V, 15 V, 20 V, 25 V, 30 V, 35 V, 40 V, 45 V, 50 V, 55 V dan 60 V.
5. Pada setiap nilai tegangan tersebut, pengukuran V_u dilakukan sebanyak 5 kali. Maka nilai V_u terhadap satu nilai tegangan pada X-Y recorder adalah rata-rata hasil pengukuran.

Tabel 1. Hubungan penunjukan tegangan X-Y recorder dengan tegangan sekunder trafo ukur:

X - Y recorder (Volt)	Tegangan Sekunder Trafo Ukur (V_u) (Volt)					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
0	0	0	0	0	0	0
5	3.6	3.7	3.5	3.6	3.6	3.6
10	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
15	11.1	11	11.2	11.1	11.1	11.1
20	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
25	18.5	18.5	18.6	18.5	18.4	18.5
30	22	22	22	22	22	22
35	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8
40	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4
45	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5
50	37	36.8	36.9	36.9	36.9	36.9
55	40.7	40.7	40.8	40.7	40.6	40.7
60	45	45	45	45	45	45

Tegangan sekunder trafo uji adalah:

$$V_2 = \frac{22000}{110} V_u \dots \dots \dots (21)$$

V_2 =tegangan sekunder trafo uji [V]

V_u =tegangan pada voltmeter [V]

Dengan mensubtitusi nilai tegangan voltmeter pada table 1 ke persamaan (21) diperoleh Tabel 2 yang menyatakan hubungan tegangan sekunder trafo uji dengan tegangan pada X-Y recorder.

Tabel 2. Hubungan penunjukan tegangan X-Y Recorder dengan tegangan sekunder trafo uji

X - Y recorder (Volt)	Tegangan Sekunder Trafo Uji (V_2) (Volt)
0	0
5	720
10	1480
15	2220
20	2900
25	3700
30	4400
35	5160
40	5880
45	6700
50	7380
55	8140
60	9000

Dengan mengacu pada Tabel 2 dilakukan Analisa regresi untuk memeperoleh hubungan antara nilai penunjukan tegangan pada X-Y recorder dengan nilai

tegangan sekunder trafo uji. Hubungannya adalah sebagai berikut:

$$V_2 = 148,2.V_{X-Y} \dots \dots \dots (22)$$

Dimana:

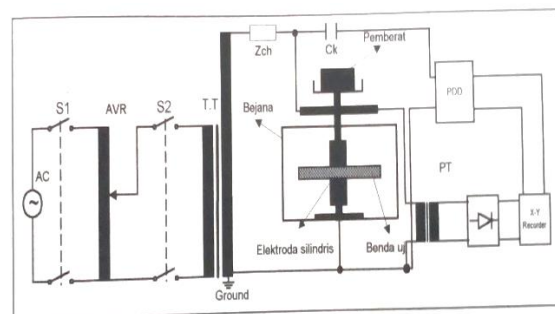
V_2 =tegangan sekunder pada trafo uji

V_{X-Y} = tegangan pada X-Y recorder

2.6. Pengukuran *Inception Voltage partial Discharge*

2.6.1. Pengukuran *Inception Voltage partial Discharge* pada bahan Dielektrik non Komposit

Bahan dielektrik non komposit adalah bahan dielektrik yang terdiri dari satu jenis bahan saja dalam (homogen). Dalam penelitian ini akan diadakan pengujian *inception voltage partial discharge* dengan sampel kertas tanpa campuran minyak untuk memperoleh gambaran yang lebih umum maka penelitian dilakukan terhadap 3 sampel kertas dielektrik non komposit yaitu jenis letroid 0,2 mm dan 0,5 mm dan letroid lapis plastic 0,5 mm. Adapun rangkaian pengukuran adalah seperti Gambar 6.



Gambar 6. Rangkaian percobaan pengaruh tekanan terhadap *inception voltage partial discharge* pada bahan dielektrik non komposit

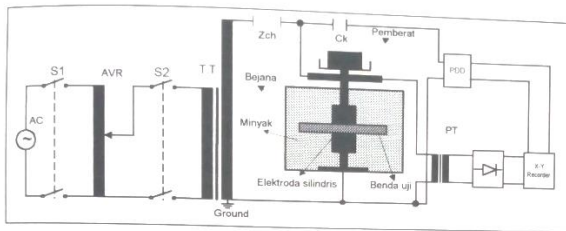
Prosedur:

1. Sampel diletakkan di antara dua elektroda silindris
2. Tekanan awal adalah sama dengan berat elektroda sendiri yaitu 0,25 [kg/cm²]
3. Saklar S1 ditutup
4. AVR diatur sehingga tegangan keluaran nol
5. Saklar S1 ditutup
6. AVR diatur hingga tegangan sekunder trafo uji naik dengan kecepatan konstant 1 kV/detik.
7. X-Y Recorder akan merekam tegangan pada benda uji dan muatan discharge. Jika discharge telah terjadi tegangan masih terus dinaikkan.
8. Lima detik setelah terjadi peluahan muatan, saklar S2 dibuka.
9. Setelah tegangan sekunder AVR nol, saklar S1 dibuka lalu peralatan ditanahkan dengan tongkat pentanahan.
10. Benda uji dilepas, kemudian diganti dengan yang baru.
11. Prosedur 3 sampai dengan 10 diulangi 4 kali lagi.

12. Prosedur 3 sampai dengan 11 di atas diulangi untuk tingkat tekanan yang lain sampai tekanan mencapai $\pm 33 \text{ kg/cm}^2$.
13. Setelah Prosedur 3 sampai 12 selesai dilakukan lagi pengujian terhadap jenis kertas fetroid 0,2 mm dan letroid 0,5 mm.

2.6.2. Pengukuran *Inception Voltage partial Discharge* pada Bahan Dielektrik Komposit

Bahan dielektrik komposit adalah bahan dielektrik yang terdiri dari dua jenis atau lebih komponen bahan dielektrik yang berbeda. Untuk mengetahui pengaruh kenaikan tekanan terhadap tegangan mulai peluahan sebagian pada bahan dielektrik komposit, [10] maka kertas sampel terlebih dahulu direndam di dalam minyak transformator selama lebih kurang satu jam, agar minyak benar-benar meresap ke dalam kertas. Saat pengujian, bahan dielektrik direndam dalam minyak transformator. Hal ini dilakukan dengan mengisi bejana pengujian dengan minyak transformator yang bersih sampai elektroda terendam dengan minyak. Ada 3 sampel yang diuji dalam penelitian ini. Masing-masing kertas letroid letroid 0,2 mm, 0,5 mm dan letroid lapis plastik 0,5 mm.



Gambar 7. Rangkaian percobaan pengaruh tekanan terhadap tegangan mulai peluahan sebagian pada bahan dielektrik komposit.

Prosedur pengukurannya adalah sebagai berikut:

1. Sampel benda uji diletakkan di antara dua elektroda. Minyak transformator merek Shell Diala B yang masih bersih dituangkan ke dalam bejana hingga sampel terendam, sampai permukaan minyak $\pm 8 \text{ cm}$ di atas sampel. Lalu bejana ditutup dengan plastik agar kotoran tidak masuk ke dalam minyak.
2. Minyak didiamkan selama lima menit untuk menghilangkan gelembung udara yang terjadi saat pengisian minyak ke dalam bejana.
3. Setelah minyak didiamkan selama lebih kurang lima menit, lalu diberikan tekanan awal sama dengan berat elektroda sendiri, yaitu $\pm 0,25 \text{ kg/cm}^2$.
4. Saklar S1 ditutup.
5. AVR diatur sehingga tegangan keluarannya nol.
6. Saklar S2 ditutup.
7. AVR diatur hingga tegangan sekunder trafo uji naik dengan kecepatan konstan 1 kV/detik .
8. X-Y Recorder akan merekam tegangan pada benda uji dan muatan discharge. Jika discharge telah terjadi tegangan masih terus dinaikkan.

9. Lima detik setelah terjadi peluahan muatan, saklar S2 dibuka dan muatan discharge.
10. Setelah tegangan sekunder AVR nol, saklar S1 dibuka dan peralatan ditanahkan dengan tongkat pentanahan.
11. Benda uji dilepas, dan diganti dengan benda uji yang baru.
12. Prosedur 4 sampai dengan 11 diulangi 4 kali lagi.
13. Prosedur 4 sampai dengan 12 di atas diulangi untuk tingkat tekanan yang lain sampai tekanan mencapai $\pm 33 \text{ kg/cm}^2$.
14. Setelah Prosedur 4 sampai 13 selesai, dilakukan lagi pengujian terhadap jenis kertas letroid 0,2 mm dan letroid 0,5 mm.

2.7. Hasil Pengukuran

Untuk mendapat hasil yang lebih teliti, maka pengukuran *inception voltage partial discharge* dilakukan sebanyak lima kali untuk setiap kenaikan tekanan.

Hasil pengukuran tersebut terbagi atas dua bagian, yaitu pengukuran *inception voltage partial discharge* kertas tanpa minyak dan pengukuran *inception voltage partial discharge* kertas dalam minyak. Setiap bagian di atas memuat contoh hasil pengukuran tegangan mulai peluahan sebagian untuk jenis sampel kertas letroid lapis plastik 0,5 mm.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menganalisa data yang diperoleh dari hasil pengukuran, diperlukan suatu metode analisa. Dalam tugas akhir ini digunakan metode analisa regresi. Analisa bertujuan untuk mencari hubungan antara tegangan mulai peluahan sebagian dengan tekanan.

Berdasarkan hasil pengukuran dihitung tegangan sekunder trafo uji dengan menggunakan persamaan. Hasilnya ditunjukkan pada Lampiran B. Kemudian nilai tegangan sekunder trafo uji dirata-ratakan, sehingga diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Lampiran C, yang menyatakan hubungan antara tegangan mulai peluahan sebagian dengan tekanan. Data pada lampiran C inilah yang dianalisa dengan metode regresi.

Berikut ini akan diberikan hasil analisa data bahan dielektrik non komposit dan komposit serta grafik yang menyatakan hubungan antara tegangan mulai peluahan sebagian dengan tekanan pada bahan dielektrik non komposit.

3.1. Analisa Data Bahan Dielektrik Non Komposit

Dari data yang diperoleh dicari hubungan antara tegangan mulai peluahan sebagian dengan tekanan. Untuk mencari hubungan tersebut

dilakukan analisa regresi dan korelasi. Hasil analisa tersebut memberikan persamaan matematik yang menyatakan hubungan antara tegangan mulai peluahan sebagian dengan tekanan. persamaan matematik dan analisa korelasi masing-masing jenis bahan dielektrik non komposit adalah sebagai berikut:

a. Kertas retroid 0,5 mm

Persamaan matematik yang diperoleh:

$$V_{in} = 281,94 P^{0,2086}$$

Tabel analisisnya varians untuk hubungan di atas adalah seperti table berikut:

Sumbervariasi	dk	JK	RJK	F
Total	13	92,78	7,14	
Regreasi (a)	1	92,52	92,52	
Regresi (b a)	1	0,1744	0,1744	22,41
Sisa	11	0,0856	0,0078	

Dari table di atas harga $F = 22,41$, sedangkan pada tabel distribusi F dengan taraf nyata 0,05 Harga $F = 4,84$. Berarti $F > F_{0,95(1,11)}$, maka persamaan matematik di atas dapat diterima.

b. Kertas retroid 0,5 mm

Persamaan matematik yang didapat

$$V_{in} = 837,05 P^{0,0554}$$

Analisis varians untuk hubungan di atas adalah seperti pada Tabel berikut.

Sumbervarias i	dk	JK	RJK	F
Total	13	115,6533	8,896	
Regreasi (a)	1	115,6337	115,6337	
Regresi (b a)	1	0,0126	0,0126	19,66
Sisa	11	0,007	0,0006	

Dari tabel di atas harga $F = 19,66$, sedangkan pada tabel distribusi F dengan taraf nyata 0,05 Harga $F = 4,84$. Berarti $F > F_{0,95(1,11)}$, maka persamaan matematik di atas dapat diterima.

c. Kertas letroid lapis plastik 0,5 mm

Persamaan matematik yang diperoleh

$V_{in} = 642,26 P^{0,0399}$. Table analisisnya varians untuk hubungan di atas adalah seperti table berikut:

Sumbervarias i	dk	JK	RJK	F
Total	13	105,5214	8,896	
Regreasi (a)	1	105,5111	105,5111	
Regresi (b a)	1	0,0064	0,0064	17,65
Sisa	11	0,0039	0,0036	

Dari table di atas harga $F = 17,65$, sedangkan pada tabel distribusi F dengan taraf nyata 0,05

Harga $F = 4,84$. Berarti $F > F_{0,95(1,11)}$, maka persamaan matematik di atas dapat diterima.

Di mana, $P =$ tekanan [kg/cm^2]

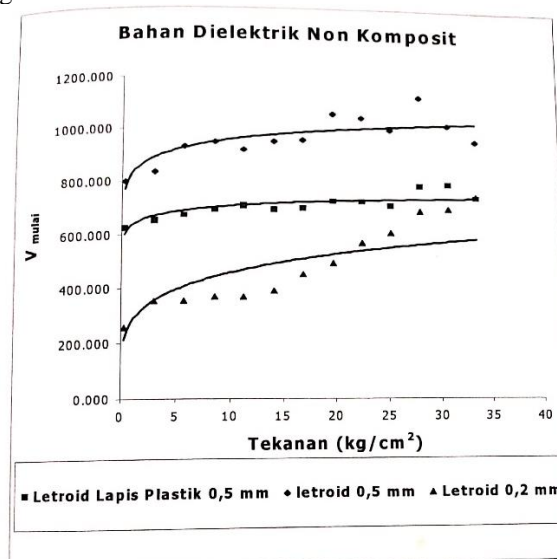
$V_{in} =$ inception voltage partial discharge [Volt].

3.2. Analisa Data Bahan Dielektrik Komposit

Pada bahan dielektrik komposit pengukuran tegangan mulai peluahan Sebagian menunjukkan bahwa peluahan sebagian tidak terjadi lagi, karena minyak yang dicampur dengan bahan dielektrik menyebabkan bagian-bagian yang diisi udara pada keadaan non komposit sudah terisi oleh minyak, sehingga tidak terjadi peluahan muatan pada sistim isolasi. Yang terjadi adalah tembus listrik pada bahan dielektrik kertas dan minyak.

3.3. Grafik Hubungan Antara Inception Voltage Partial Discharge

Grafik yang menyatakan hubungan antara inception voltage partial discharge dengan tekanan untuk bahan dielektrik dan komposit seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 8. Karakteristik hubungan antara inception voltage partial discharge dengan tekanan

Dari Gambar 8 terlihat bahwa pada setiap sampel bahan dielektrik yang diuji kenaikan tekanan akan menyebabkan inception voltage partial discharge semakin naik titik pada sampel yang berbeda karakteristik hubungan antara tegangan mulai perubahan sebagian dengan tekanan juga berbeda yaitu inception voltage partial discharge pada kertas selendroid 0,5 mm lebih tinggi daripada kertas letter 0,2 mm dan kertas lapis plastik 0,5 mm mempunyai harga tegangan mulai Tuhan sebagian yang lebih rendah daripada kertas letter 0,5 mm.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran pengaruh tekanan terhadap *inception voltage partial discharge*, diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengujian bahan dielektrik non komposit, semakin tinggi tekanan yang diberikan pada bahan dielektrik akan membuat tegangan mulai peluahan sebagian naik. Hal ini disebabkan rongga udara dalam bahan dielektrik dan celah udara antara elektroda dengan bahan dielektrik padat akan makin mengecil, sehingga peluahan sebagian makin sulit terjadi. Kenaikan tegangan mulai peluahan sebagian lebih nyata pada tekanan sampai 5 kg/cm².
2. Pada bahan dielektrik kertas yang dicampur minyak, tidak ada pengaruh tekanan terhadap peluahan sebagian, karena bagian yang kosong di antara elektroda dengan bahan dielektrik padat telah terisi minyak dan rongga udara di dalam bahan dielektrik padat itu sendiri telah terisi oleh minyak.
3. Bahan dielektrik yang lebih tebal mempunyai tegangan mulai peluahan sebagian yang lebih besar dibanding dengan bahan dielektrik yang lebih tipis.
4. Tegangan mulai peluahan sebagian pada bahan dielektrik kertas letroid lapis plastik 0,5 mm lebih rendah daripada bahan dielektrik letroid 0,5 mm. Hal ini dapat diterima karena di antara permukaan elektroda yang tidak licin sempurna dengan permukaan kertas letroid lapis plastik yang keras terdapat rongga udara yang tidak akan berkurang walaupun tekanan diberikan. Sedangkan pada kertas letroid 0,5 mm rongga udara di antara permukaan elektroda dan kertas akan berkurang dengan tekanan yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. J. Wu, A. R. Mor, and J. J. Smit, "Partial discharges activated by impulses and superimposed voltages in a high voltage cable model," *Electr. Power Energy Syst.*, vol. 120, no. April, p. 106027, 2020.
- [2]. A. A. Kemma, T. F. Sipahutar, N. Pattanadach, and F. Pratomosiwi, "Ramp Rates Effect in Ramp Method for Partial Discharge Inception Voltage Measurement in Mineral Oil," *Procedia Technol.*, vol. 11, no. Icteei, pp. 608–613, 2013.
- [3]. . F. Sipahutar, A. A. Kemma, N. Pattanadach, F. Pratomosiwi, and M. Muhr, "Effect of Test Method and Needle Plane Configuration on Partial Discharge Inception Voltage Measurement of Mineral Oil Based on Weibull Analysis," *Procedia Technol.*, vol. 11, no. Icteei, pp. 411–418, 2013.
- [4]. J. Wu, A. R. Mor, P. V. M. Van Nes, and J. J. Smit, "Electrical Power and Energy Systems Measuring method for partial discharges in a high voltage cable system subjected to impulse and superimposed voltage under laboratory conditions," *Electr. Power Energy Syst.*, vol. 115, no. June 2019, p. 105489, 2020.
- [5]. E. Jahoda and J. Kúdelčík, "Internal partial discharge in cavity of polyurethane," *Procedia Eng.*, vol. 192, pp. 365–369, 2017.
- [6]. [6] L. Carlos, C. Heredia, and A. Rodrigo, "Density-based clustering methods for unsupervised separation of partial discharge sources," *Electr. Power Energy Syst.*, vol. 107, no. October 2018, pp. 224–230, 2019.
- [7]. Y. Sun, K. Dong, Z. Xu, and Y. Zhang, "Experiment and simulation calculation of micro-cavity dielectric barrier discharge," *Results Phys.*, vol. 11, no. October 2017, pp. 999–1003, 2018.
- [8]. D. F. H. Kreuger, *Partial discharge detection in High-Voltage Equipment*. LKondon: Temple Press, 1989.
- [9]. V. Mentlík et al., "Partial discharges of solid insulation in different insulating fluids," no. 10th IEEE International Conference on Solid Dielectrics, Potsdam, 2010.
- [10]. [10] I. Andri, A. Pina, P. Ferrão, J. Fournier, B. Lacarrière, and O. Le Corre, "Application of Surface Modified XLPE Nanocomposites for Electrical Insulation of High Voltage Cables- Partial Discharge study," *Energy Procedia*, vol. 117, pp. 260–267, 2017.