

Analisis Peluahan Sebagian (*Partial Discharge*) Pada Transformator *Step-Up* Tegangan Rendah Dengan Proses Pengisolasian Yang Bervariasi

Henry B.H. Sitorus¹, Diah Permata¹, Tri Jatmiko²

1. Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung

2. Alumni Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung

hbh_sitorus@unila.ac.id

Abstrak—Adanya rongga (*void*) pada suatu bahan isolasi padat akan menyebabkan terjadinya peluahan (*partial discharge*) pada saat isolasi tersebut memikul beban tegangan. Rongga pada bahan biasanya terjadi akibat cacat pada saat produksi. Proses pengisolasian pada saat produksi menjadi sangat penting untuk dipertimbangkan sehingga *partial discharge* yang terjadi dapat dikurangi. Pada penelitian ini, transformator diproses dengan tiga proses yang berbeda yaitu: model 1, tanpa impregnasi dan tanpa oven; model 2, impregnasi dan tanpa oven dan model 3; impregnasi and oven. Proses impregnasi dilakukan dengan mencelupkan gulungan transformator selama beberapa jam ke dalam larutan vernis. Proses pengovenan dilakukan pada suhu 100°C selama 24 jam dengan menggunakan alat Furnace. 2. Penelitian ini memperlihatkan bahwa proses impregnasi dan pengovenan ternyata mempengaruhi rongga yang ada pada isolasi. Hal ini terlihat dengan perbedaan pola peluahan sebagian yang terjadi yaitu; amplitudo muatan peluahan sebagian (pC) dan jumlah peluahan sebagian yang terjadi (n). Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa model 3 lebih baik dibandingkan dengan model 1 dan model

Kata kunci: peluahan sebagian, transformator dan proses impregnasi.

Abstract—*The existence of cavities (voids) in a solid insulating material will cause partial discharge when the insulation burdened by voltage. Cavity in the material usually results from defects at the time of production. The process of insulation at the time of production becomes very important to consider that partial discharge is happening can be reduced. In this study, the transformer is processed by three different processes: model 1, without impregnation and oven process; model 2, without impregnation but with oven process and model 3; with impregnation and oven process. Impregnation process carried out by dipping transformer coils for*

a few hours into the liquid varnish. Oven process conducted at a temperature of 100°C for 24 hours by using a Furnace tool. This study shows that the impregnation and oven process was affect existing cavity in insulation. This was shown by differences in the pattern of partial discharge that occurs namely; magnitud (pC) and number of partial discharge (n). These results show that model 3 is better than model 1 and model 2 of the transformer.

Keywords: *partial discharge, transformer, impregnation process*

A. Pendahuluan

Secara umum, transformator *step-up* tegangan rendah yang beredar di Indonesia menggunakan isolasi dengan pengeringan secara alami. Hal ini akan membuat transformator tersebut mengandung *void* yang berisi gas atau udara yang terjebak sehingga akan menjadi salah satu penyebab terjadinya *partial discharge* atau peluahan sebagian.

Partial discharge atau peluahan sebagian adalah peluahan elektrik pada medium isolasi yang terdapat di antara dua konduktor berbeda tegangan, dimana peluahan tersebut tidak sampai menghubungkan kedua konduktor secara sempurna. Peluahan sebagian terjadi pada bahan isolasi yang mengalami cacat, retak atau terdapat rongga yang terisi udara atau gas.

Pengurangan peluahan sebagian sangat penting dilakukan karena hal ini akan membuat umur dari transformator menjadi lebih lama. Salah satu cara untuk mengurangi peluahan sebagian adalah dengan proses *impregnasi* dimana proses

Naskah ini diterima pada tanggal 4 Februari 2009, direvisi pada tanggal 10 Maret 2009 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 20 April 2009

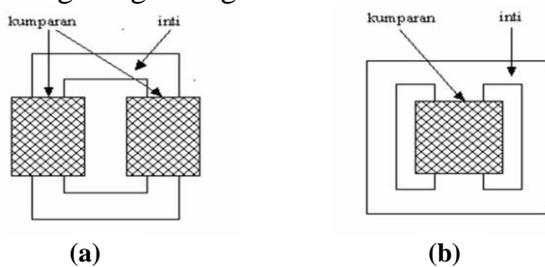
ini akan mengurangi gas yang terjebak dalam rongga pada isolasi transformator

Penelitian ini bertujuan mengukur peluahan sebagian yang terjadi pada tiga jenis transformator step-up tegangan rendah, menganalisis pola peluahan yang terjadi pada tiga jenis transformator step-up tegangan rendah dan membandingkan pola peluahan sebagian yang terjadi antara ketiga jenis transformator.

B. Tinjauan Pustaka Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Kerja transformator yang berdasarkan induksi elektromagnet menghendaki adanya gandingan magnet antara rangkaian primer dan sekunder.

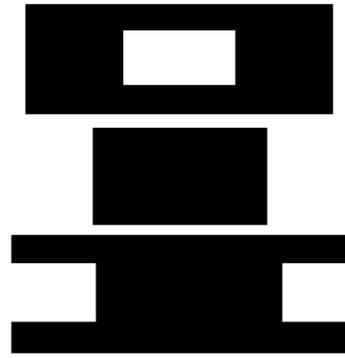
Ada dua bentuk inti transformator yang biasa digunakan yaitu tipe inti (*core type*) dan tipe selubung (*shell type*) seperti ditunjukkan pada gambar 1. inti dari kedua tipe ini dibuat dari baja khusus dengan rugi-rugi yang rendah dan dilaminasi untuk mengurangi kerugian inti.



Gambar 1. Konfigurasi inti transformator satu fasa: tipe inti (a) dan tipe selubung(b)



Gambar 2. Bentuk inti transformator

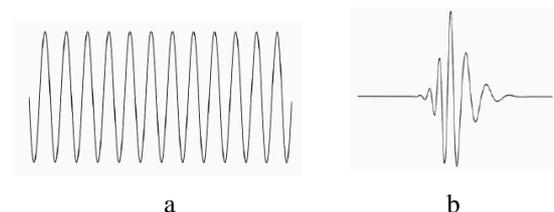


Gambar 3. Macam-macam bentuk koker

Suatu sistem isolasi adalah susunan dari bahan isolasi yang digunakan secara khusus untuk suatu jenis peralatan. Isolasi secara elektrik dari suatu peralatan dibuat dari berbagai jenis bahan, yang dipilih agar dapat tahan terhadap berbagai tekanan elektrik, mekanik dan termal yang terjadi pada berbagai bagian peralatan.

Transformasi Wavelet (*Wavelet Transform*)

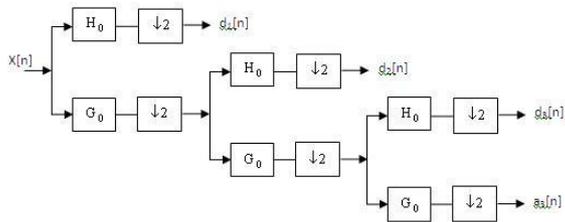
Transformasi wavelet memberikan gambaran waktu-frekuensi dari sebuah sinyal. *Transformasi wavelet* menggunakan teknik multi-resolusi dimana frekuensi yang berbeda dianalisis menggunakan resolusi yang berbeda pula. Sebuah gelombang adalah fungsi osilasi dari waktu yang periodik, sedangkan wavelet adalah gelombang yang dilokalisasi, seperti tampak pada gambar 4.



Gambar 4. Bentuk Gelombang Wavelet (a) Gelombang (b) Wavelet

Prosedur *de-noising* yang umum melibatkan tiga langkah yaitu; dekomposisi (penguraian), koefisien detail ambang (*threshold detail coefficients*) dan rekonstruksi

Transformasi wavelet diskret didapat dari transformasi kontinu *wavelet*.



Gambar 5. Pohon dekomposisi wavelet tiga tingkat.

Wavelet dapat digunakan untuk mendeteksi perubahan pada sinyal secara cepat dan tepat.

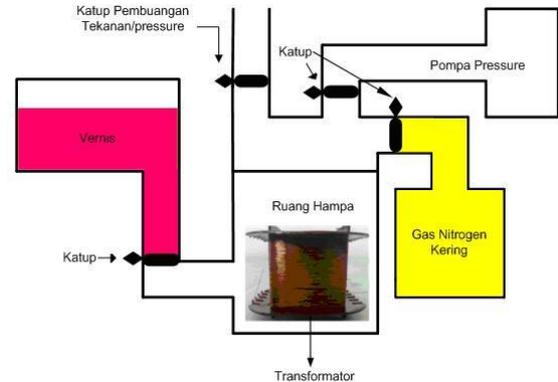
Impregnasi Vernis

Fungsi dari suatu *impregnasi* vernis atau damar adalah untuk menguatkan bilitan mesin, untuk melindungi bilitan dari embun, bahan-kimia dan kotoran, dan untuk meningkatkan konduktivitas termal. Suatu *impregnasi* vernis terdiri atas polimer yang bersifat linear, bahan pelarut dan minyak. Berdasarkan isi yang dikandungnya, vernis dibagi menjadi vernis berbahan dasar minyak dan *polyester* (asam dikarboksilat).

Proses *impregnasi* berpengaruh terhadap kekuatan isolasi tersebut. Adanya udara yang tertinggal dalam isolasi menyebabkan isolasi tersebut cepat mengalami kerusakan. Oleh karena itu, isolasi dibuat sedemikian rupa agar memiliki kandungan udara yang sangat sedikit. Karena itu *impregnasi* ini ditujukan untuk mengurangi serta menghilangkan udara atau gas yang tertinggal di dalam isolasi.

Sehingga dengan pengimpregnasian membuat udara tersebut akan hilang. Teknik *impregnasi* yang terkenal sekarang adalah *Vacuum Pressure Impregnation* (VPI) yaitu *impregnasi* dengan menggunakan tekanan yang bersifat hampa udara. Teknik *impregnasi* ini terkenal

karena kualitasnya yang sangat baik tetapi harga dalam pembuatannya sangat mahal.



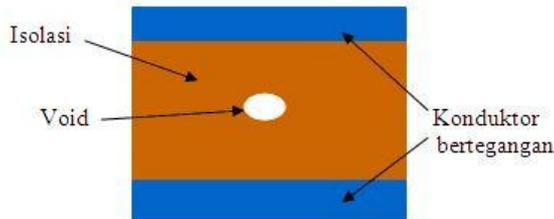
Gambar 6 vacuum pressure impregnation

Peluahan Sebagian

Partial discharge atau peluahan sebagian dapat terjadi pada isolasi padat, cair dan gas. Peluahan sebagian ini yang menjadi salah satu penyebab awal rusaknya isolasi. Suatu bahan dielektrik mempunyai kekuatan menahan medan listrik tertentu. Kekuatan menahan medan listrik disebut dengan kekuatan isolasi. Apabila bahan isolasi mengalami medan listrik yang melebihi kemampuannya maka isolasi akan mengalami kegagalan berupa tembus listrik atau *breakdown*. Pada isolasi padat *breakdown* ini bersifat permanen sedangkan pada isolasi cair dan gas *breakdown* ini bersifat sementara. Pada isolasi gas penyebab peluahan sebagian adalah adanya elektron bebas yang berasal dari radiasi kosmik, eksitasi thermal dan emisi medan. Sedangkan pada isolasi cair karena adanya gelembung gas.

Pada isolasi padat peluahan sebagian diakibatkan adanya gas yang terperangkap atau tertinggal dalam isolasi padat tersebut. Akibat adanya gas yang terperangkap dalam isolasi padat maka gas tersebut akan mendapat kuat medan yang lebih besar dari isolasi padat. Sedangkan kekuatan isolasi yang dimiliki oleh gas lebih kecil daripada kekuatan isolasi yang dimiliki oleh isolasi padat.

Maka gas akan mengalami tembus listrik terlebih dahulu sedangkan isolasi padat belum mengalami tembus. Tembus sebagian ini yang disebut dengan peluahan sebagian.

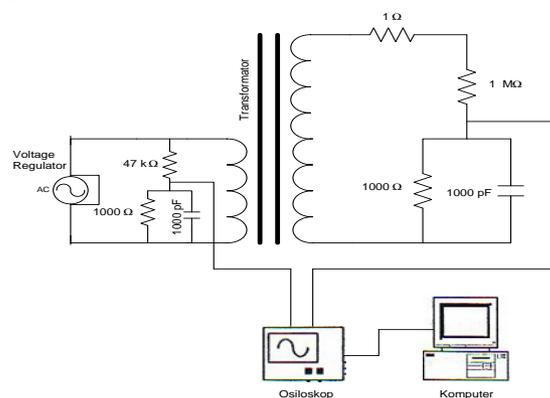


Gambar 7 Rongga pada isolasi padat

C. Metode Penelitian

Transformator step-up dibuat 3 jenis proses pengisolasian yaitu; transformator tanpa impregnasi vernis dan pengovenan, transformator impregnasi vernis dan transformator dengan impregnasi vernis dan pengovenan. Bahan yang digunakan dalam pengujian ini adalah: inti transformator; indocore ukuran 38,; kawat tembaga berenamel, isolasi vernis, isolasi pita (*tape insulation*). Perbandingan belitan primer dengan sekunder 440: 1000.

Pengukuran peluahan sebagian yang terjadi pada transformator saat diberikan tegangan dari sisi primer dilakukan dengan hubungan seperti pada rangkaian pada gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian pengujian peluahan sebagian

Melakukan pengambilan data dengan cara mencuplik gelombang sinusoidal yang ditampilkan pada layar osiloskop. Cuplikan gelombang sinusoidal yang ditampilkan osiloskop disimpan dengan format measurement oleh komputer yang terhubung ke osiloskop.

Bentuk gelombang tegangan yang diperoleh dari hasil pengujian dapat digunakan untuk mengetahui apakah terjadi peluahan sebagian pada transformator, untuk itu diperlukan analisis lebih lanjut terhadap gelombang tegangan yang diperoleh. Pengolahan data menggunakan transformasi wavelet diskret dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi perubahan gelombang tegangan pada transformator. Perubahan yang terjadi tidak dapat dilihat langsung melalui gelombang yang diperoleh dari hasil pengujian tanpa adanya analisis lebih lanjut gelombang tersebut.

Gelombang peluahan sebagian terjadi secara singkat, nilainya kecil dan acak. Perubahan ini terlihat dari adanya pulsa atau *spike* pada gelombang tegangan transformator.

Data yang diperoleh dalam penelitian ini berupa data tabular (.tab) sehingga perlu dikonversi ke dalam bentuk microsoft office excel 2007 yang nantinya disimpan dalam bentuk (.xls), setelah itu data di import dalam MATLAB sehingga data dapat disimpan dalam bentuk .mat. untuk dapat melihat gelombang peluahan sebagian maka data dalam bentuk .mat dibuka diprogram *Stationary Wavelet Transform Denoising 1-D*. Berikut ini adalah gambar contoh data yang diperoleh dalam bentuk tabular.

Time in s	CH I in Volt	CH II in Volt	REF I in Volt	REF II in Volt
0,00E+00	-5,60E-02			
1,00E-05	-5,60E-02			
2,00E-05	-6,40E-02			
3,00E-05	-5,60E-02			
4,00E-05	-5,60E-02			
5,00E-05	-5,60E-02			
6,00E-05	-7,20E-02			
7,00E-05	-4,00E-02			
8,00E-05	-4,00E-02			
9,00E-05	-4,00E-02			
10,00E-05	-5,60E-02			
11,00E-05	-4,00E-02			
12,00E-04	-5,60E-02			
13,00E-04	-4,00E-02			
14,00E-04	-4,00E-02			
15,00E-04	-3,20E-02			
16,00E-04	-3,20E-02			

Gambar 9. Data dalam bentuk tabular

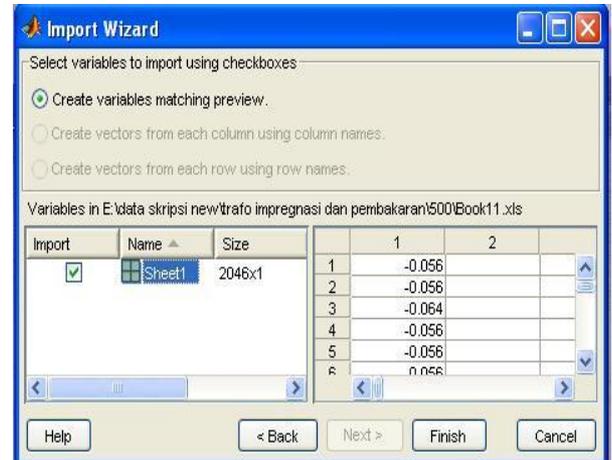
Gambar adalah data hasil penelitian yang telah ditampilkan pada microsoft office excel 2007 dalam ekstensi tab. Dari gambar di atas terlihat bahwa pada kolom A merupakan waktu yang besarnya dalam sekon dan sedangkan kolom B merupakan nilai tegangan peluahan sebagian yang besarnya dalam satuan Volt. Pada kolom B ini disalin pada lembar baru di microsoft office excel 2007 seperti tampak pada gambar 10.

CH I in Volt				
-5,60E-02				
-5,60E-02				
-6,40E-02				
-5,60E-02				
-5,60E-02				
-5,60E-02				
-7,20E-02				
-4,00E-02				
-4,00E-02				
-4,00E-02				
-5,60E-02				
-4,00E-02				
-4,00E-02				
-3,20E-02				
-3,20E-02				
-3,20E-02				

Gambar 10. Data dalam bentuk microsoft office excel

Setelah data disalin seperti tampak pada gambar 10, maka data disimpan dalam

bentuk format .xls. Data inilah yang nantinya di *import* pada *Mathlab*.

Gambar 11. Tampilan menu *import* data pada *Mathlab*

Dengan *import* data pada *Mathlab* maka selanjutnya data dapat disimpan dalam bentuk .mat. Data .mat ini dibuka dalam program *Stationary Wavelet Transform Denoising 1-D*. Kemudian gambar gelombang peluahan sebagian yang dihasilkan disimpan dalam bentuk .JPG yang nantinya dapat diolah lebih lanjut dengan menggunakan program bantu yaitu photoshop 7 dan microsoft office visio 2003. Dari kedua program tersebut maka gelombang peluahan sebagian akan semakin terlihat jelas antara saat siklus positif dan siklus negatif.

Cara Injeksi Sinyal Untuk Menentukan Nilai Threshold

Cara injeksi sinyal pada rangkaian adalah sebagai berikut :

1. Melepas rangkaian RC detektor dari rangkaian.
2. Menghubungkan rangkaian RC detektor dengan osiloskop sebagai output.
3. Menghubungkan rangkaian RC
4. detektor dengan function generator sebagai input sinyal berfrekuensi tinggi.

5. Menaikkan frekuensi dari function generator dari 100 kHz, 200 kHz, 300 kHz, 400 kHz, 500 kHz, 600 kHz, 700 kHz, 800 kHz, 900 kHz dan 1 Mhz.
6. Merekam gelombang sinusoidal berfrekuensi tinggi masing-masing frekuensi sebanyak 20 kali.
7. Menganalisis output RC detektor dengan transformasi wavelet sampai tidak terdapat pola peluahan, yang berarti noise telah hilang dengan sempurna.

Penentuan Nilai Muatan Peluahan Sebagian

Untuk mendapatkan nilai muatan peluahan sebagian yang terjadi, maka cara yang digunakan adalah dengan menggunakan rumus :

$$Q = C.V \quad (1)$$

Dimana :

Q = muatan peluahan sebagian

C = nilai kapasitor yang digunakan sebagai RC detektor

V = tegangan peluahan sebagian

Cara Mendapatkan Sudut Fase Peluahan Sebagian

Apabila ingin melihat pada sudut fase berapakah peluahan sebagian terjadi maka cara yang dilakukan adalah dengan menggunakan rumus perbandingan sebagai berikut :

$$\frac{w}{y} = \frac{180}{x} \quad 2$$

Dimana :

W : titik potong gelombang sinusoidal dengan sumbu-x peluahan sebagian.

180 : besarnya sudut setengah gelombang.

y : titik peluahan sebagian terjadi.

x : sudut yang akan dicari atau diketahui.

D. Hasil Dan Pembahasan

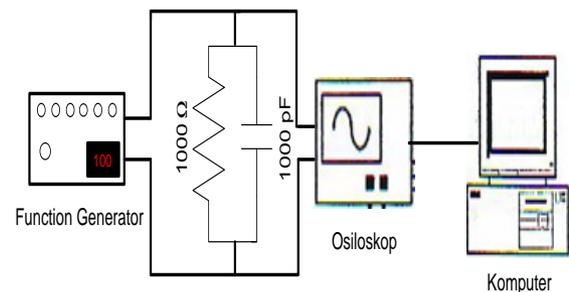
Pengujian ini dimulai dengan tegangan input transformator yang bervariasi dari

kurang lebih 44 Volt sampai 220 Volt dan didapatkan tegangan output transformator 100 Volt, 150 Volt, 200 Volt, 250 Volt, 300 Volt, 350 Volt, 400 Volt, 450 Volt dan 500 Volt. Dari hasil pengukuran didapatkan data pada saat tegangan input trafo 220 Volt seperti tabel 1.

Tabel 1 Nilai tegangan dan arus pada transformator

No	Transformator	Tegangan (Volt)		Arus (Ampere)	
		Primer	Sekunder	Primer	Sekunder
1	Tanpa Impregnasi dan Pengovenan	220	495,4	1,02	0,45
2	Impregnasi	220	489	1,11	0,49
3	Dengan Impregnasi dan Pengovenan	220	490,7	1,09	0,48

Nilai Threshold



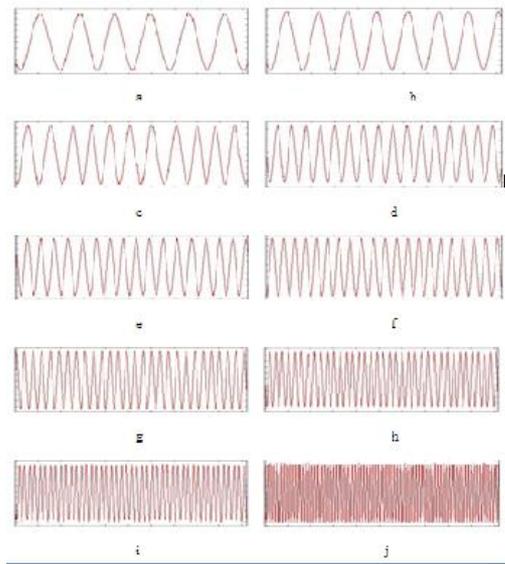
Gambar 12. Rangkaian penentuan Noise

Dari rangkaian di atas, sinyal berfrekuensi tinggi dihasilkan oleh function generator kemudian sinyal berfrekuensi tinggi ini masuk ke rangkaian RC detektor setelah itu sinyal akan direkam oleh osiloskop kemudian sinyal disimpan dalam komputer. Sinyal yang disimpan dalam komputer berupa data tabular.

Data tabular ini akan diambil nilai yang menunjukkan frekuensi atau berupa nilai tegangan, kemudian nilai ini disimpan dalam bentuk .xls atau microsoft office excel 2007. Kemudian di *import* dalam *Mathlab* sehingga berubah menjadi .mat. Kemudian data .mat dibuka pada *Stationary Wavelet Transform Denoising 1-D* dan untuk selanjutnya dianalisis

dengan menentukan nilai threshold sampai tidak terdapat noise.

Dari hasil penelitian yang dilakukan, untuk mendapatkan nilai threshold dilakukan dengan sistem statistik yaitu suatu sistem untuk menentukan nilai threshold dengan cara mencoba berulang-ulang kali kemudian dari hasil tersebut dapat ditentukan nilai threshold dengan melihat peluang nilai yang paling sering muncul. Pada penelitian ini menggunakan injeksi sinyal sinusoidal dengan frekuensi tinggi yaitu 100 kHz, 200 kHz, 300 kHz, 400 kHz, 500 kHz, 600 kHz, 700 kHz, 800 kHz, 900 kHz dan 1 Mhz. Berikut ini adalah gambar injeksi sinyal sinusoidal berfrekuensi tinggi dari function generator yang terdapat pada rangkaian.

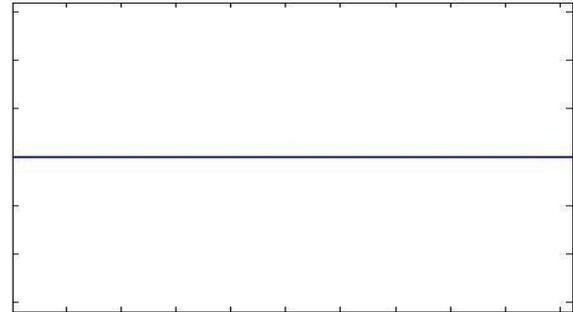


Gambar 13. Injeksi sinyal sinusoidal berfrekuensi tinggi

a. 100 kHz c. 300 kHz e. 500 kHz g. 700 kHz i. 900 kHz
b. 200 kHz d. 400 kHz f. 600 kHz h. 800 kHz j. 1 Mhz

Menentukan nilai threshold merupakan hal sangat penting dilakukan karena besarnya nilai threshold akan menentukan seberapa besar noise yang akan dihilangkan. Jadi, apabila menggunakan nilai threshold yang tepat maka noise yang akan hilang juga akan sempurna. Apabila nilai threshold yang ditentukan terlalu kecil maka noise

akan tidak hilang sempurna, sedangkan apabila nilai threshold yang ditentukan terlalu besar maka besarnya gelombang peluahan sebagian akan berkurang atau hilang. Hasil penelitian didapatkan nilai threshold 0,029. Dengan nilai tersebut maka noise pada rangkaian dapat dihilangkan dengan sempurna seperti tampak pada gambar di bawah ini :

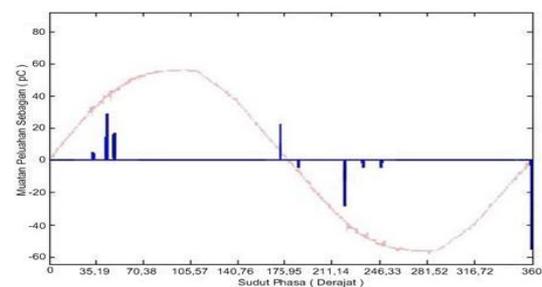


Gambar 14. Noise hilang dengan sempurna

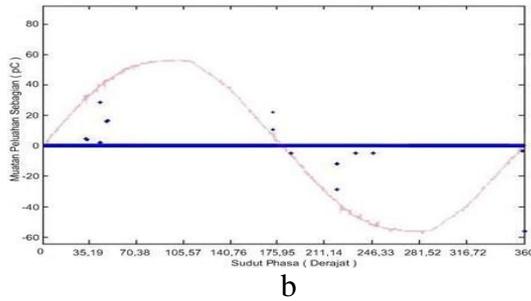
Hasil pengujian pada ketiga jenis transformator setelah proses de-noise dan penggabungan dengan sinyal referensi ditampilkan di bawah ini. Dalam hal ini akan dideskripsikan pola peluahan sebagian yang terjadi antara ketiga transformator tersebut pada saat tegangan output 500 Volt.

Peluahan Sebagian Pada Transformator Tanpa *Impregnasi* Vernis dan Pengovenan

Berikut ini adalah gambar pola peluahan sebagian yang terjadi pada transformator jenis 1 saat tegangan 500 Volt yang ditampilkan dalam bentuk garis-garis pulsa peluahan sebagian dan titik-titik puncak peluahan sebagian :



a



Gambar 15. Pola peluahan sebagian pada transformator jenis 1

- Pola peluahan sebagian dalam bentuk garis-garis pulsa terhadap gelombang referensi.
- Pola peluahan sebagian dalam bentuk titik-titik puncaknya terhadap gelombang referensi.

Dari gambar 15 terlihat bahwa terjadi peluahan sebagian pada siklus positif maupun siklus negatif. Jumlah peluahan sebagian yang terjadi pada siklus positif ada 8 pulsa peluahan sebagian, sedangkan pada siklus negatif ada 7 pulsa peluahan sebagian, sehingga jumlah total peluahan sebagian yang terjadi ada 15 pulsa peluahan sebagian.

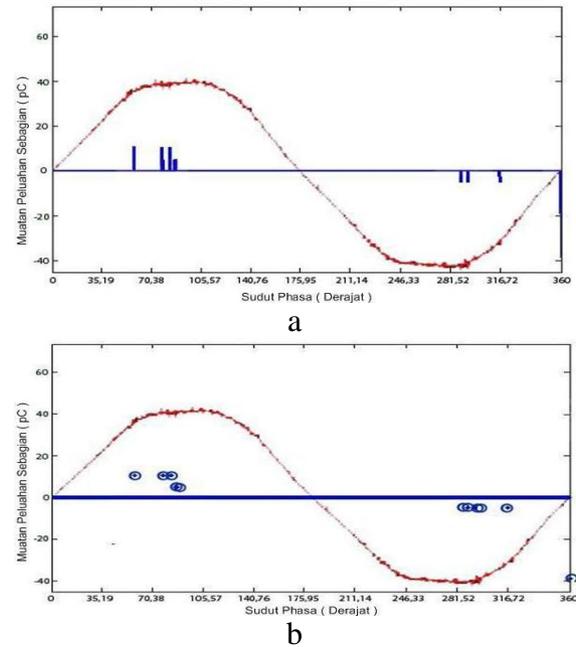
Muatan maksimum peluahan sebagian saat siklus positif sebesar 28 pC dan 55 pC pada siklus negatif. Peluahan sebagian yang terjadi pada siklus positif berada pada sudut fase antara 32° sampai 49° dan $172,25^\circ$ sedangkan pada siklus negatif berada antara 185° sampai 249° dan 350° sampai 360° .

Untuk data pada output yang lain yaitu 100 Volt, 150 Volt, 200 Volt, 250 Volt, 300 Volt, 350 Volt, 400 Volt dan 450 Volt dapat dilihat pada lampiran.

Peluhan Sebagian Pada Transformator Dengan Impregnasi Vernis

Gambar 16 adalah gambar pola peluahan sebagian yang terjadi pada transformator jenis 2 yang ditampilkan dalam bentuk garis-garis pulsa peluahan sebagian dan

titik-titik puncak peluahan sebagian terhadap gelombang referensi.



Gambar 16 Pola peluahan sebagian pada transformator jenis 3

- Pola peluahan sebagian dalam bentuk garis-garis pulsa terhadap gelombang referensi.
- Pola peluahan sebagian dalam bentuk titik-titik puncaknya terhadap gelombang referensi.

Dari gambar 16, terlihat bahwa peluahan sebagian terjadi pada siklus positif maupun siklus negatif. Banyaknya peluahan sebagian yang terjadi pada siklus positif ada 2 pulsa peluahan sebagian dan pada siklus negatif sebanyak 5 pulsa peluahan sebagian. Sehingga jumlah total pulsa peluahan sebagian yang terjadi ada 7 pulsa peluahan sebagian.

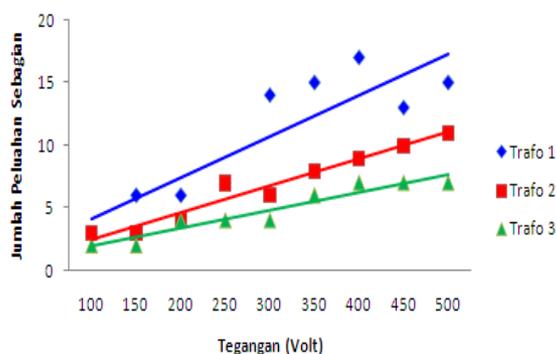
Besarnya muatan maksimum peluahan sebagian yang terjadi pada transformator ini adalah 25 pC untuk siklus positif dan 19 pC untuk siklus negatifnya. Peluahan sebagian yang terjadi terletak pada $177,2^\circ$ untuk siklus positif dan untuk siklus negatif terletak pada 217° sampai 222° dan 360° .

Untuk data pada output yang lain yaitu 100 Volt, 150 Volt, 200 Volt, 250 Volt, 300 Volt, 350 Volt, 400 Volt dan 450 Volt dapat dilihat pada lampiran.

Analisis Peluahan Sebagian Pada Ketiga Transformator

Seperti telah diuraikan sebelumnya bahwa pengujian ini dilakukan dengan menaikkan tegangan output transformator dari 100 Volt, 150 Volt, 200 Volt, 250 Volt, 300 Volt, 350 Volt, 400 Volt, 450 Volt dan 500 Volt untuk ketiga jenis transformator.

Dari tabel diatas didapatkan grafik hubungan antara jumlah peluahan sebagian terhadap tegangan seperti tampak pada grafik 1 di bawah ini.



Gambar 17 Hubungan antara jumlah peluahan sebagian terhadap tegangan

Keterangan :

Trafo 1 : transformator jenis 1 dengan persamaan garisnya $y = 0,0333x + 0,7667$

Trafo 2 : transformator jenis 2 dengan persamaan garisnya $y = 0,0213x + 0,3778$

Trafo 3 : transformator jenis 3 dengan persamaan garisnya $y = 0,0143x + 0,4778$

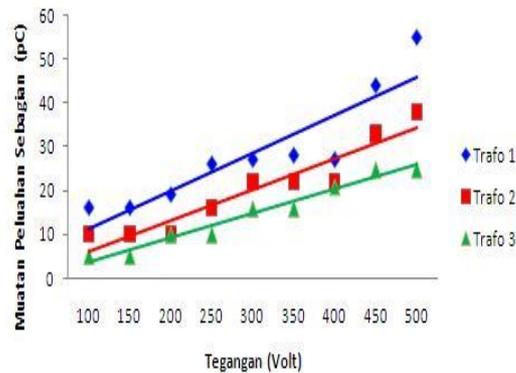
Gambar 17 adalah grafik hubungan antara jumlah peluahan sebagian terhadap tegangan. Dimana data hasil pengujian transformator ditampilkan dalam bentuk data diskrit sedangkan *trendline* berupa garis kontinyu merupakan fungsi persamaan matematik dari data diskrit dengan menggunakan pendekatan regresi

linear. Dengan *trendline* tersebut maka didapatkan nilai koefisien korelasi (r). Nilai koefisien korelasi berkisar dari harga -1 (menyatakan hubungan terbalik yang sempurna) melalui 0 (tidak terdapat hubungan linear sama sekali) sampai 1 (hubungan searah yang sempurna). Nilai koefisien korelasi adalah nilai derajat hubungan erat antara data yang satu dengan data yang lain. Berdasarkan data hasil pengujian, didapatkan nilai koefisien korelasi (r) untuk data transformator 1, 2 dan 3 secara berurutan adalah 0,882, 0,9767 dan 0,9583. Nilai koefisien tersebut mendekati 1, artinya hubungan linear searah yang sempurna. Hal ini berarti letak titik-titik atau data diskrit hasil pengujian transformator berada dekat atau mendekati tepat pada garis regresi linear. Oleh karena itu, *trendline* yang dibuat pada grafik berdasarkan ilmu statistik dapat mewakili data diskrit hasil pengujian transformator, sehingga *trendline* tersebut dapat digunakan untuk menganalisis ketiga transformator.

Berdasarkan *trendline*, maka transformator jenis 2 memiliki jumlah peluahan sebagian yang lebih sedikit dibandingkan dengan transformator jenis 1. Hal ini membuktikan bahwa proses *impregnasi* dengan vernis akan mengurangi jumlah peluahan sebagian yang terjadi pada transformator karena *impregnasi* vernis akan mengurangi *void* yang berada pada transformator.

Gambar 17 menunjukkan bahwa dengan dilakukannya pengovenan setelah proses *impregnasi* vernis, peluahan sebagian yang terjadi pada transformator semakin berkurang, ini karena proses pengovenan akan mengurangi *void* yang berada pada transformator. Hal ini dapat dilihat pada grafik 1 transformator jenis 3 yang ditunjukkan dengan garis warna hijau. Dimana garis warna hijau mempunyai nilai yang paling kecil.

Dari tabel 3, 4 dan 5 juga didapat grafik hubungan antara besarnya muatan peluahan sebagian terhadap tegangan, yang di tunjukkan pada grafik pada gambar 18.



Gambar 18 Hubungan antara muatan peluahan sebagian terhadap tegangan

Keterangan :

Trafo 1 : transformator jenis 1 dengan persamaan garisnya $y = 0,086x + 2,8667$

Trafo 2 : transformator jenis 2 dengan persamaan garisnya $y = 0,0703x - 0,767$

Trafo 3 : transformator jenis 3 dengan persamaan garisnya $y = 0,056x - 2,0222$

Gambar 18 adalah grafik hubungan antara muatan peluahan sebagian terhadap kenaikan tegangan yang diterapkan selama pengujian. Berdasarkan data hasil pengujian transformator, dengan menggunakan regresi linear didapatkan nilai koefisien korelasi (r) dari transformator 1,2 dan 3 secara berurutan 0,9045, 0,9513 dan 0,9823. Nilai koefisien korelasi pada ketiga transformator menunjukkan nilai tersebut mendekati 1. Artinya letak titik-titik atau data diskrit hasil pengujian transformator berada dekat atau mendekati tepat garis regresi linear (trendline). Oleh karena itu, *trendline* yang dibuat pada grafik berdasarkan ilmu statistik dapat mewakili data diskrit hasil pengujian transformator, sehingga analisis peluahan sebagian dapat dilakukan dengan melihat *trendline* yang terbentuk.

Analisis berdasarkan *trendline* pada grafik 2, menunjukkan bahwa transformator jenis 1 memiliki muatan peluahan sebagian yang cenderung lebih besar dibandingkan dengan transformator yang lainnya. Ini karena transformator jenis 1 memiliki void yang paling banyak dibandingkan transformator lainnya.

Sedangkan pada transformator jenis 2 dan 3, jika dibandingkan dapat terlihat bahwa nilai muatan peluahan sebagian pada transformator jenis 3 memiliki nilai yang paling kecil. Hal ini menunjukkan bahwa dengan dilakukannya proses pengovenan setelah proses *impregnasi* vernis semakin mengurangi jumlah serta besarnya void pada transformator dibandingkan hanya dengan dilakukan proses *impregnasi* saja.

Dari grafik tersebut juga terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya tegangan maka muatan peluahan sebagian juga semakin besar. Hal ini karena muatan berbanding lurus dengan tegangan, sehingga semakin tinggi tegangan maka semakin besar juga muatan peluahan sebagian yang terjadi.

Analisis menunjukkan bahwa proses *impregnasi* dengan vernis akan mengurangi jumlah dan besarnya muatan peluahan sebagian yang terjadi pada transformator. Sedangkan proses pengovenan setelah proses *impregnasi* vernis semakin mengurangi jumlah dan besarnya muatan peluahan sebagian yang terjadi. Penelitian ini membuktikan bahwa transformator dengan *impregnasi* vernis dan pengovenan adalah transformator yang paling baik dibandingkan dengan transformator *impregnasi* vernis dan transformator tanpa *impregnasi* vernis dan pengovenan.

E. Kesimpulan

1. Pembuatan ketiga jenis transformator telah berhasil dilakukan, ketiga jenis

- transformator tersebut yaitu transformator tanpa impregnasi vernis dan pengovenan, transformator impregnasi vernis, dan transformator dengan impregnasi vernis dan pengovenan.
2. Pengukuran peluahan sebagian yang terjadi pada transformator dilakukan dengan mencuplik tegangan output transformator menggunakan rangkaian devider (pembagi tegangan) dimana dalam rangkaian devider terdapat rangkaian RC detektor sebagai integrator. Dari tegangan yang dicuplik tersebut akan didapatkan jumlah (n), sudut phase (θ) dan besarnya muatan (q) peluahan sebagian.
 3. Dari tegangan output 100 sampai 500 Volt didapatkan transformator jenis 3 mempunyai jumlah peluahan sebagian sekitar 2 sampai 7 pulsa peluahan sebagian serta 5 pC sampai 25 pC muatan peluahan sebagian, dan transformator jenis 2 sekitar 3 sampai 11 pulsa peluahan sebagian serta besarnya muatan peluahan sebagian yang terjadi sekitar 5 pC sampai 25 pC, sedangkan transformator jenis 1 sekitar 3 sampai 15 pulsa peluahan sebagian serta besarnya muatan peluahan sebagian sekitar 3 pC sampai 55 pC.
 4. Transformator jenis 3 memiliki jumlah serta besar muatan peluahan sebagian sedikit, karena proses impregnasi vernis dan proses pengovenan akan mengurangi jumlah serta besarnya *void* dalam transformator.
 5. Transformator jenis 3 mempunyai jumlah dan besarnya muatan peluahan sebagian yang paling sedikit dibandingkan dengan transformator jenis 1 dan transformator jenis 2.
- Pengukuran Partial Discharge (PD) pada Bahan Isolasi Polimer untuk Mendeteksi Kerusakan Isolasi pada Peralatan Tegangan Tinggi Dengan Menggunakan Software LabView.<http://digilib.itb.ac.id/gdl.php?mod=browse&op=read&id=jbptitbpp-gdl-grey-2005-7suwarnod-1822&q=Penelitian>. Diakses tanggal 21 Desember 2007.
- [2]. Agung, Haryo dan Saiful Adib. Partial Discharge and Diagnosis. <http://cumibakar.files.wordpress.com/2007/05/partial-discharge-1.doc>. Diakses tanggal 21 Agustus 2008.
 - [3]. Alexander, Brian. 2001. Kamus Keramik. Jakarta : PT Dyatama Milenia.
 - [4]. Alison K. Lazarevich. Partial Discharge Detection and Localization in High Voltage Transformers Using an Optical Acoustic Sensor. http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-05122003161802/unrestricted/thesis_fin.pdf. Diakses tanggal 25 Febuari 2008.
 - [5]. Bonggas L.T. 2003. Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
 - [6]. Bonggas L.T. 2003. Peralatan Tegangan Tinggi. Jakarta : PT Gramedia Pustaka Utama.
 - [7]. Chandra. 2007. Identifikasi Gangguan Internal Awal Pada Transformator Akibat Kerusakan Isolasi Menggunakan Transformasi Wavelet Diskret (Discrete Wavelet Transform), skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
 - [8]. G.H. Vaillancourt, R. malewski dan A.Z. Dechamplain. *Measuring Partial Discharge in Transformers During Acceptance Tests-a Comparison of Different Methods*. Paper Presented at Spring Meeting of Canadian Electrical Association Montreal, march 25-29, 1985.

Daftar Pustaka

- [1]. Abdul Syakur, Joko Windarto, Suwarno dan Redy Mardiana.

- [9]. Georges H.Vaillancourt, Ryszard Malewski, David Train. *Comparison Of Three Techniques Of Partial Discharge Measurements In Power Transformers*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 4, April 1985.
- [10]. Ramanujam Sarathi, Prathap D. Singh dan Michail G. Danikas. *Characterization of Partial Discharges In Transformer Oil Insulation Under AC and DC Voltage Using Acoustic Emission Technique*. Journal of Electrical Engineering, Vol. 58, NO. 2, 2007, 91–97, Department of Electrical Engineering Indian Institute of Technology Madras, Chennai-600 036, India.
- [11]. Steiner.P.J dan Martzloff D.F. *Partial Discharge In Low-voltage Cables*. Conference Record of the 1990 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Toronto, Canada, June 3-6, 1990.
- [12]. Sudjana. 1996. *Metoda Statistika*. Bandung : PT Tarsito Bandung.
- [13]. Suwarno. 1999. *Material Elektroteknik*. Bandung : ITB.
- [14]. Syakur.A, Windarto.J, Suwarno, Mardiana .R. *Pengukuran Partial Discharge (PD) pada Bahan Isolasi Polimer untuk Mendeteksi Kerusakan Isolasi pada Peralatan Tegangan Tinggi Dengan Menggunakan Software LabView*. Seminar Nasional Teknik Ketenagalistrikan 2005 Teknik Elektro Fak. Teknik–Universitas Diponegoro.