

Analisis Peluahan Sebagian Pada Belitan Transformator Tegangan Menengah 5 Kv Dengan Proses Pengisolasian Yang Bervariasi

Henry B. H. Sitorus¹, Diah Permata¹, Edward Steven²

1. Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung

2. Alumni Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung

hbh_sitorus@unila.ac.id

Abstrak—Pada transformator tegangan menengah, isolasi belitan transformator merupakan suatu permasalahan yang penting. Salah satu penyebab yang dapat menurunkan umur transformator yaitu terjadinya peluahan sebagian pada bahan isolasi. Analisis peluahan sebagian yang dilakukan adalah pada belitan transformator tegangan menengah 5 kV. Belitan transformator tegangan menengah 5 kV yang proses pengisolasiannya bervariasi dimodelkan menjadi 3 yaitu tanpa melalui proses impregnasi dengan vernis dan pengovenan (model 1), melalui impregnasi dengan vernis (model 2), melalui impregnasi dengan vernis dan pengovenan (model 3). Tujuan dari tugas akhir ini adalah membandingkan pola peluahan sebagian (pC, n, θ) antara ketiga model tersebut. Gelombang peluahan sebagian yang didapat dari pengujian ini akan dipisahkan antara gelombang peluahan sebagian dengan *noise* melalui proses *denoising*. Pengolahan hasil pengujian dilakukan dengan menggunakan *wavelet* dari program Matlab. Untuk mendapatkan pola peluahan sebagian maka sinyal peluahan sebagian tersebut akan diolah menggunakan bantuan *software Adobe Photoshop CS2*. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, tingkat peluahan sebagian (pC, n, θ) yang terjadi pada model 3 lebih rendah dibandingkan dengan model 1 dan model 2.

Kata kunci: transformator, pola peluahan sebagian, *wavelet*

Abstract—On medium voltage transformer, winding insulation is a important problem. One of caused can drop of age winding is occurred partial discharge on insulation. Analysis of the partial discharge on winding insulation medium voltage 5 kV transformer. Medium voltage 5 kV transformer winding, which variated insulation process become on 3 are without impregnation process with varnish and oven (model 1), impregnation process with varnish (model 2), impregnation process with ¹varnish and oven (model 3). The final objective of the research is compared partial discharge pattern

(pC, n, θ) between three models. Partial discharge wave from this research will be separated of noise and partial discharge wave with denoising process. Processing of research with wavelet from Matlab program. For getting partial discharge wave using software Adobe Photoshop CS2. From the result already done, partial discharge level (pC, n, θ) on model 3 is lower than model 1 and model 2.

Keywords : transformer, partial discharge pattern, wavelet

A. Pendahuluan

Pada transformator tegangan menengah, isolasi belitan transformator merupakan suatu permasalahan yang penting dimana isolasi berfungsi untuk memisahkan bagian-bagian yang mempunyai beda tegangan agar tidak terjadi lompatan listrik (*flash-over*) atau percikan (*spark-over*). Salah satu penyebab yang dapat menimbulkan umur transformator semakin menurun yaitu terjadinya peluahan sebagian pada bahan isolasi.

Oleh karena itu, penelitian terhadap peluahan sebagian sangat penting dilakukan. Hal ini dikarenakan peluahan sebagian merupakan awal terjadinya kegagalan pada isolasi transformator. Tujuan penelitian ini adalah membuat model belitan pada transformator yang umum digunakan pada transformator distribusi 20 kV menjadi 3 model yaitu model 1, model 2, dan model 3, dan membandingkan pola peluahan sebagian (pC, n, θ) antara ketiga model tersebut.

Proses pengisolasian yang bervariasi pada belitan tersebut yaitu tanpa melalui proses impregnasi dengan vernis dan pengovenan

Naskah ini diterima pada tanggal 20 Juni 2009, direvisi pada tanggal 15 Juli 2009 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 1 Agustus 2009

(model 1), melalui proses impregnasi dengan vernis (model 2), dan melalui proses impregnasi dengan vernis dan pengovenan (model 3). Pemodelan yang akan dilakukan adalah dengan 2 buah konduktor yang salah satu bagiannya berisolasi kertas sedangkan bagian yang lainnya tidak berisolasi kertas kemudian 2 buah konduktor tersebut akan disatukan menggunakan isolasi tape.

B. Tinjauan Pustaka

Isolasi Terimpregnasi

Isolasi terimpregnasi adalah bahan isolasi yang dilapisi dan diisi dengan bahan pengimpregnasi seperti *varnish*, *epoxy*, *polyester*, *silicon* dan lain-lain. Proses ini dapat dilakukan dengan cara mencelup atau dapat juga dengan proses pemvakuman terlebih dahulu dengan bantuan peralatan *Vacuum Pressure Impregnation*. Proses impregnasi bertujuan untuk mengisolasi, mengikat belitan dan mengisi celah dan rongga-rongga yang ada pada isolasi peralatan listrik yaitu transformator.

Impregnasi Vernis

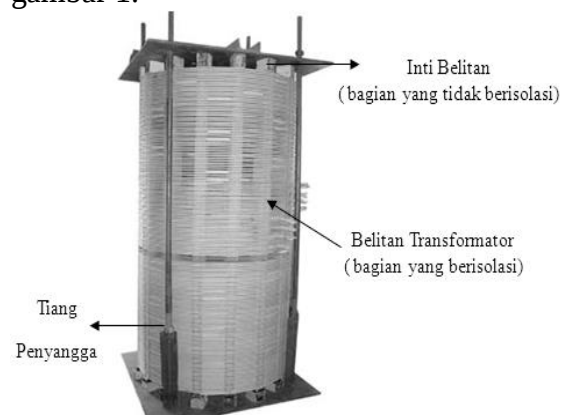
Fungsi dari suatu impregnasi vernis atau damar adalah untuk menguatkan belitan mesin, untuk melindungi belitan dari embun, bahan-kimia dan kotoran, dan untuk meningkatkan konduktivitas termal. Suatu impregnasi vernis terdiri atas polimer yang bersifat linear, bahan pelarut dan minyak. Berdasarkan isi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

Isolasi yang permukaannya divernis akan meningkatkan mutu permukaan dari isolasi tersebut. Permukaan vernis membentuk suatu mantel yang tak dapat ditembus sehingga akan mempermudah dalam membersihkannya dan hal ini akan meningkatkan kualitas isolasi. 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. Impregnasi ditujukan untuk mengurangi serta menghilangkan udara atau gas yang tertinggal di dalam isolasi. Sifat dari vernis adalah kedap air, bersifat isolasi, dapat melindungi peralatan dari karat, dan tahan terhadap panas.

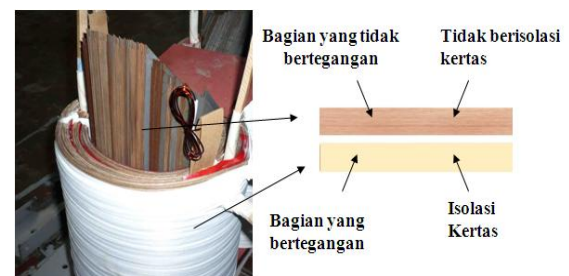
Pemodelan Belitan Transformator

Pada umumnya belitan transformator tegangan menengah diperlihatkan seperti gambar 1.



Gambar 1. Belitan Transformator Tegangan Menengah

Dari gambar 1 dapat dimodelkan sebuah belitan yang lebih sederhana dimana belitan yang tidak berisolasi adalah bagian yang tidak bertegangan sedangkan bagian yang berisolasi merupakan bagian yang bertegangan seperti gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan Belitan Transformator

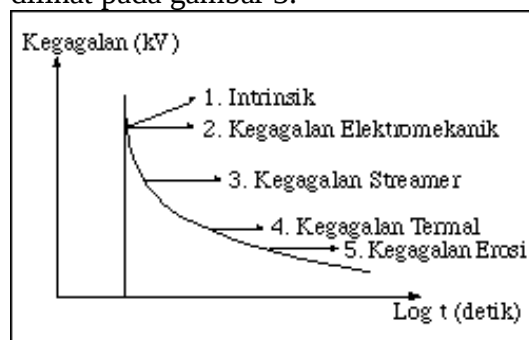
Selanjutnya belitan transformator tersebut akan dilakukan proses pengovenan untuk

mengilangkan udara-udara yang terjebak dalam belitan transformator. Selain itu, suatu belitan transformator yang diharapkan melalui proses pengisolasian yang bervariasi akan menghasilkan tingkat peluahan sebagian yang kecil atau rendah.

Peluahan Sebagian

Peluahan sebagian adalah peristiwa pelepasan/loncatan bunga api listrik yang terjadi pada suatu bagian isolasi pada rongga dalam atau pada permukaan sebagai akibat adanya beda potensial yang tinggi dalam isolasi tersebut. Peluahan sebagian dapat terjadi pada bahan isolasi padat, bahan isolasi cair maupun bahan isolasi gas. Mekanisme kegagalan pada bahan isolasi padat meliputi kegagalan asasi, elektromekanik, streamer, termal dan kegagalan erosi. Kegagalan pada bahan isolasi cair disebabkan oleh adanya butiran pada zat cair dan tercampurnya bahan isolasi cair.

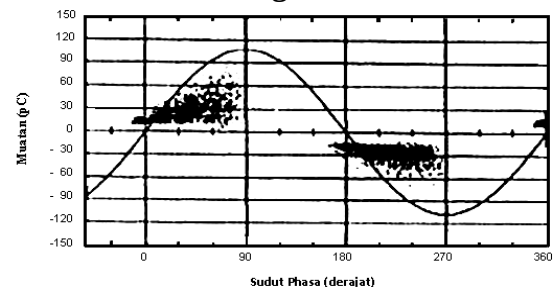
Adanya peluahan sebagian di dalam bahan isolasi dapat ditentukan dengan tiga metode yaitu: dengan pengukuran tegangan pada objek, dengan pengukuran arus di dalam rangkaian luar dan mengukur intensitas radiasi gelombang elektromagnetik yang disebabkan karena adanya peluahan sebagian. Mekanisme kegagalan bahan isolasi padat terdiri dari beberapa jenis sesuai fungsi waktu penerapan tegangannya. Hal ini dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik Kegagalan Isolasi

Jenis-jenis kegagalan pada bahan isolasi padat adalah kegagalan asasi, kegagalan elektromekanik, kegagalan streamer, kegagalan termal, dan kegagalan erosi [Anonim 3, 2007].

Pola Peluahan Sebagian

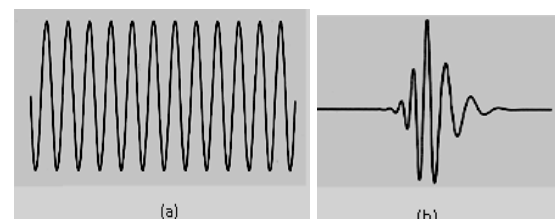


Gambar 4. Pola Peluahan Sebagian

PD pulsa terjadi setiap setengah putaran. Magnitude PD terdistribusi pada *range* yang cukup luas, sampai 100pC baik untuk positif maupun negatif PD [Edwards, T., 1991].

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 5.



Gambar 5. (a) Gelombang, (b) Wavelet

Pada transformasi wavelet lebar dari fungsi wavelet berubah untuk setiap komponen tertentu. Transformasi wavelet pada frekuensi tinggi memberikan resolusi

waktu yang baik dan resolusi frekuensi yang buruk, sedang pada frekuensi rendah, memberikan resolusi frekuensi yang baik dan resolusi waktu yang buruk [Edwards, T., 1991]

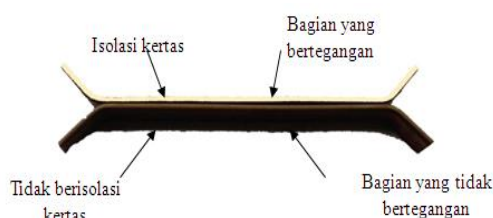
Prosedur *de-noising* yang umum melibatkan tiga langkah yaitu dekomposisi (penguraian), koefisien detail ambang (*threshold detail coefficients*), dan rekonstruksi. Untuk tujuan penghilangan *noise* yang timbul dalam sinyal maka digunakan suatu metode yang disebut *thresholding*.

Transformasi wavelet diskret didapat dari transformasi kontinu wavelet. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan tempat atau posisi terjadinya perubahan, tipe dari perubahan yang terjadi (putusnya sinyal, atau terjadinya perubahan tiba-tiba pada pendekatan pertama atau kedua), dan besarnya perubahan.

C. Metode Penelitian

Pemodelan dan Prosedur Pembuatan Sampel

Sampel yang dibuat akan menyerupai belitan transformator pada umumnya. Pemodelan ini dilakukan untuk mewakili belitan dari sebuah transformator. Dua buah konduktor tersebut akan dibedakan menjadi 2 bagian yaitu pada sisi pertama akan dililiti dengan isolasi kertas sedangkan pada sisi yang kedua tidak dililiti dengan isolasi kertas. Isolasi tersebut akan memisahkan antara 2 buah konduktor yang disusun secara sejajar dengan sisi yang bertegangan dan sisi yang tidak bertegangan seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Pemodelan Sampel

Prosedur pembuatan sampel adalah konduktor yang sudah dipersiapkan dibengkokkan 2,5 cm dari tiap sisi ujung konduktor tersebut dengan sudut 45°, seperti terlihat pada gambar 6. Dimana konduktor yang telah diisolasi kertas akan digabungkan menjadi satu dengan konduktor yang tidak berisolasi. Jarak yang dibuat pada tiap sisi ujungnya dimaksudkan untuk selama pengujian tidak terjadi hubung singkat dari kedua konduktor tersebut. Setelah itu akan dilakukan proses pembakaran dengan menggunakan oven dengan suhu 100°C selama 2 jam untuk memberikan perlakuan yang berbeda terhadap 2 buah konduktor tersebut.

Proses Pengolahan Data

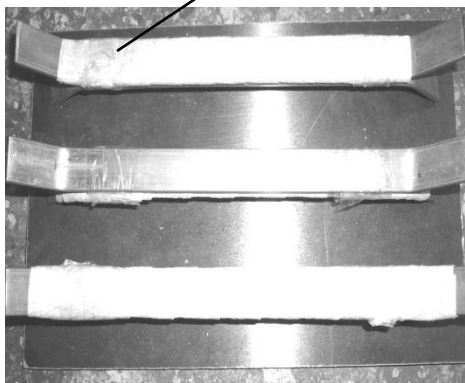
Bentuk gelombang tegangan yang diperoleh dari hasil pengujian dapat digunakan untuk mengetahui apakah terjadi peluahan sebagian pada belitan transformator, untuk itu diperlukan analisis lebih lanjut terhadap gelombang tegangan yang diperoleh. Perubahan yang terjadi tidak dapat terlihat langsung melalui gelombang yang diperoleh dari hasil pengujian tanpa adanya analisis lebih lanjut terhadap gelombang tersebut. Perubahan ini terjadi secara singkat, nilainya kecil dan berbeda-beda, serta terjadi secara acak. Perubahan ini terlihat dari adanya peluahan muatan pada gelombang tegangan belitan transformator.

Transformasi wavelet diskret untuk analisis hasil pengujian dilakukan menggunakan program MATLAB. Data hasil pengujian dari osiloskop dalam bentuk *tab file* kemudian diubah dalam bentuk matlab data *file*. Data dalam bentuk matlab data *file* inilah yang akan digunakan untuk dianalisis menggunakan transformasi wavelet diskret. Transformasi dilakukan menggunakan wavelet *toolbox* yang ada pada program MATLAB.

Pembuatan Model Belitan Transformator di CV. Centrado Prima Jakarta

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam pembuatan model belitan transformator adalah menyiapkan plat konduktor dan kertas isolasi yang akan dilakukan proses pengisolasian; mengisolasi plat konduktor tersebut dengan isolasi kertas sesuai dengan pemodelan belitan yang direncanakan; membuat plat tersebut menjadi 3 model belitan yaitu tanpa melalui impregnasi dengan vernis atau pengovenan (model 1), melalui proses impregnasi dengan vernis (model 2), dan melalui proses impregnasi dengan vernis dan pengovenan (model 3); mencelupkan model 2 ke dalam larutan vernis dan dibiarkan kering dengan sendirinya; mencelupkan model 3 ke dalam larutan vernis dan memasukkan ke dalam oven dengan suhu 100°C selama 2 jam. Model belitan transformator yang dibuat di CV. Centrado Prima Jakarta diperlihatkan gambar 7.

Belitan transformator tanpa dicelup dengan vernis dan dioven



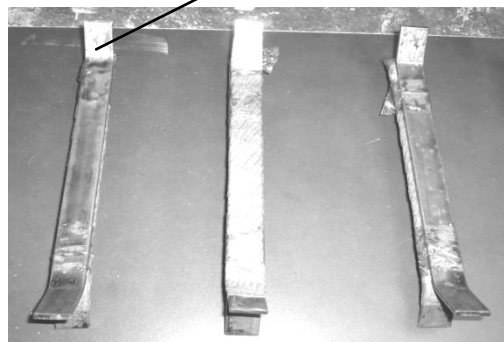
Gambar 7. Model 1

Belitan transformator telah dicelup dengan vernis



Gambar 8. Model 2

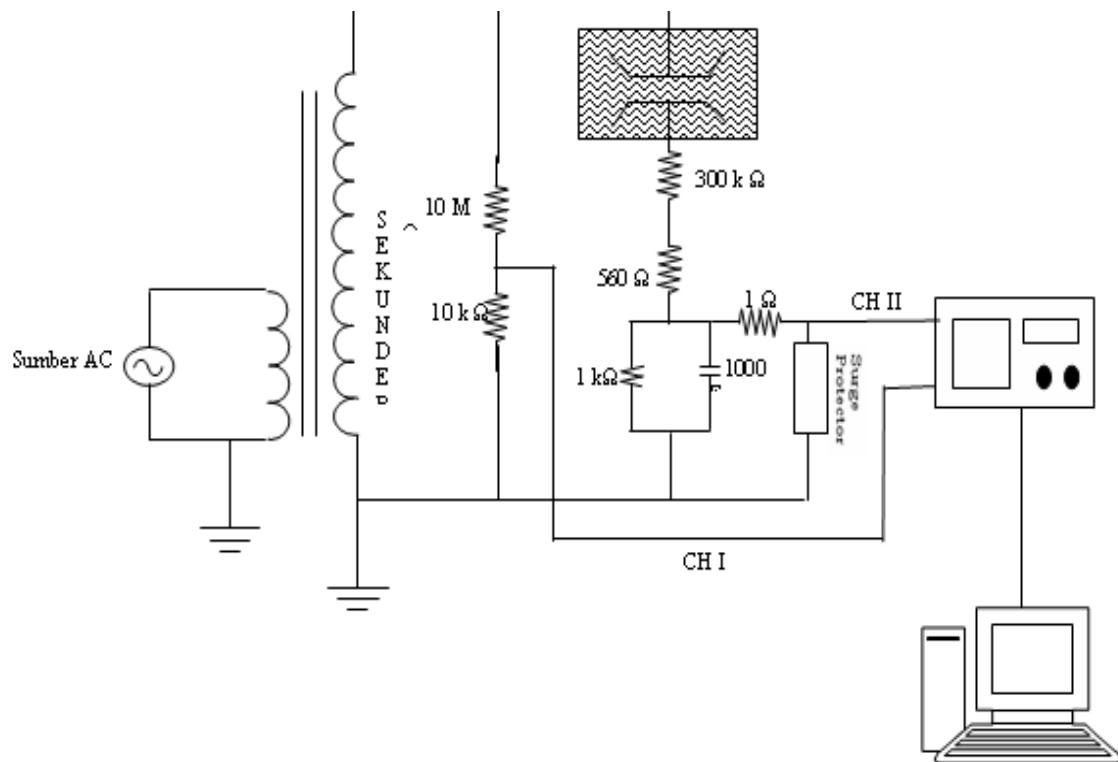
Belitan transformator telah dicelup dengan vernis dan dioven



Gambar 9. Model 3

Pembuatan Rangkaian Pengujian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam membuat rangkaian pengujian adalah merancang rangkaian pengujian, menyiapkan alat dan bahan sesuai dengan rangkaian pengujian, dan melakukan uji coba terhadap rangkaian percobaan tersebut seperti ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Rangkaian Pengujian

Pengukuran Peluahan Sebagian

Proses pengukuran peluahan sebagian dibagi menjadi dua langkah yaitu menyiapkan rangkaian pengujian dan melakukan proses pengambilan data. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pengambilan data adalah mengukur tegangan dari keluaran *voltage regulator* dan keluaran trafo *step-up* 6 kV, mengukur keluaran dari *divider* dengan menggunakan multimeter, melakukan pengambilan data tegangan setiap kenaikan 100 V dimulai dari 0.5 kV–2 kV, memasukkan benda uji ke dalam bejana yang berisikan minyak transformator, melakukan pengujian terhadap benda uji, mencuplik gelombang peluahan sebagian dengan menggunakan osiloskop, menyimpan data gelombang peluahan sebagian dengan format *.mes* dan *.tab* serta melakukan proses pengolahan data dengan menggunakan bantuan *software Matlab*.

D. Hasil Dan Pembahasan

Sebelum pengambilan data pengujian dilakukan *threshold* terlebih dahulu sehingga gelombang yang didapat akan dipisahkan sinyal asli dari *noise* yang terjadi. Besarnya tingkat *denoising* dapat ditentukan dengan mengatur nilai dari setting *threshold*. Untuk menentukan setting *threshold* yang digunakan dalam *denoising*, maka diinjeksikan sebuah sinyal berfrekuensi tinggi dari *function generator*. Frekuensi sinyal yang digunakan bernilai 500 kHz. Nilai *threshold* yang didapatkan menggunakan *toolbox wavelet* adalah 0.035 sehingga nilai ini yang akan dipakai dalam proses *denoising*. Selanjutnya data-data yang dicuplik dari osiloskop akan disimpan dalam format *tabular (.tab)* agar dapat ditampilkan dalam MS-Excel. Data hasil penelitian yang telah ditampilkan dengan format *.tab* seperti gambar 11.

	A	B	C	D	E	F
1	Time in s	CH I in Vol	CH II in V	REF I in V	REF II in Volt	
2	0,00E+00	-1,00E-01				
3	1,00E-05	-1,00E-01				
4	2,00E-05	-1,00E-01				
5	3,00E-05	-1,00E-01				
6	4,00E-05	-1,00E-01				
7	5,00E-05	-1,00E-01				
8	6,00E-05	-1,00E-01				
9	7,00E-05	-1,00E-01				
10	8,00E-05	-1,00E-01				
11	9,00E-05	-1,00E-01				
12	1,00E-04	-1,00E-01				
13	1,10E-04	-8,00E-02				
14	1,20E-04	-1,00E-01				
15	1,30E-04	-1,00E-01				
16	1,40E-04	-1,00E-01				
17	1,50E-04	-8,00E-02				
18	1,60E-04	-1,00E-01				
19	1,70E-04	-1,00E-01				
20	1,80E-04	-8,00E-02				
21	1,90E-04	-1,00E-01				
22	2,00E-04	-1,00E-01				

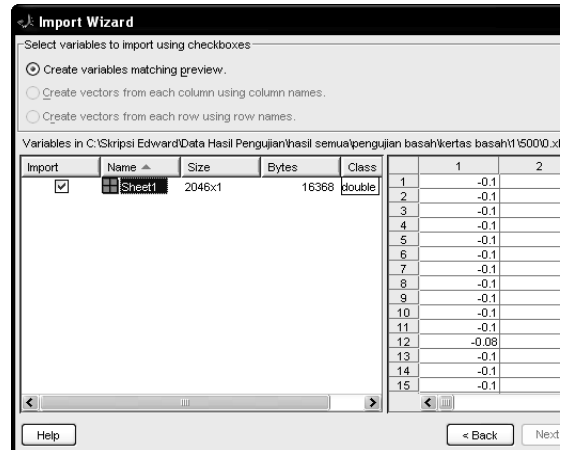
Gambar 11. Data dengan format *tabular* pada MS-Excel

Dari data *tabular* pada gambar 11 kolom B merupakan data PD yang didapatkan selama pengujian. Selanjutnya kolom B tersebut akan disalin untuk disimpan dalam format xls, seperti tampak pada gambar 12.

	A	B	C	D	E	F
1	-1,00E-01					
2	-1,00E-01					
3	-1,00E-01					
4	-1,00E-01					
5	-1,00E-01					
6	-1,00E-01					
7	-1,00E-01					
8	-1,00E-01					
9	-1,00E-01					
10	-1,00E-01					
11	-1,00E-01					
12	-8,00E-02					
13	-1,00E-01					
14	-1,00E-01					
15	-1,00E-01					
16	-8,00E-02					
17	-1,00E-01					
18	-1,00E-01					
19	-8,00E-02					
20	-1,00E-01					
21	-1,00E-01					
22	-8,00E-02					

Gambar 12. Data dengan format xls pada MS-Excel

Dari data-data MS-Excel akan diolah menggunakan bantuan *software Matlab*. Contoh tampilan menu *import* data dalam *Matlab* ditunjukkan gambar 13.



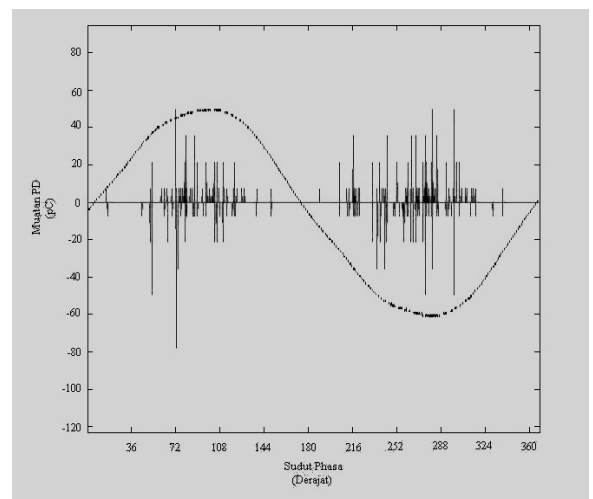
Gambar 13. Tampilan menu *import* data pada *Matlab*

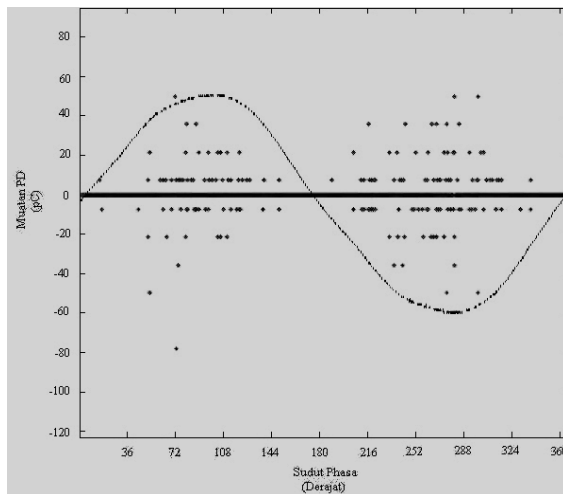
Pola Peluahan Sebagian Yang Terjadi Pada Belitan Transformator

Pengujian dilakukan dengan merendam belitan transformator ke dalam bejana yang berisikan minyak transformator. Sudut terjadinya peluahan dapat dihitung dengan persamaan 1.

$$\frac{\theta}{\theta_1} = \frac{x}{x_1} \quad (1)$$

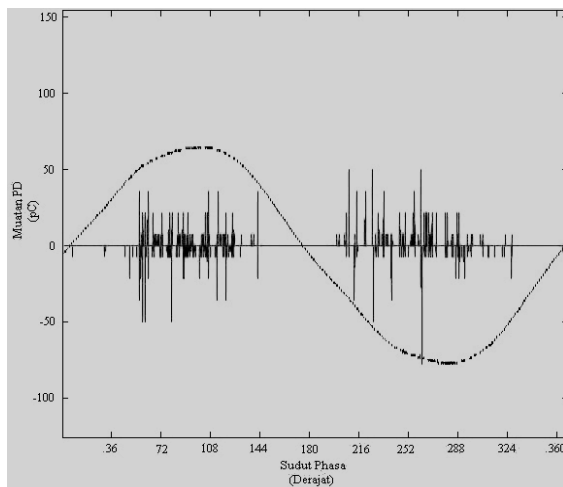
Model 1 Pada Tegangan 0.5 kV





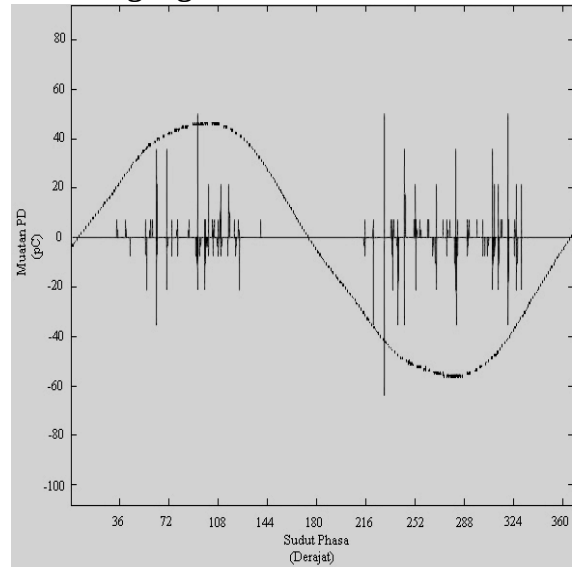
Gambar 14. Pola Peluahan Sebagian Pada Tegangan 0.5 kV

Pada Tegangan 2 kV



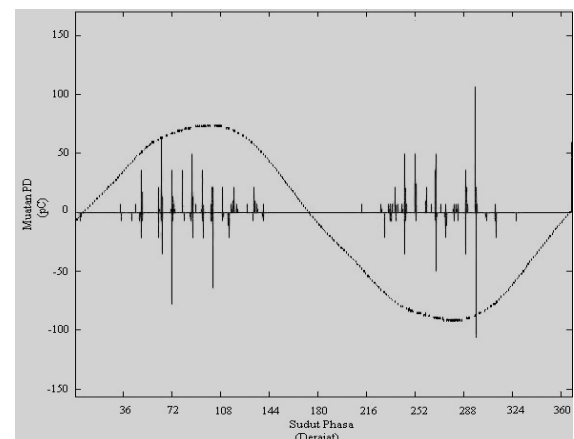
Gambar 15. Pola Peluahan Sebagian Pada Tegangan 2 kV

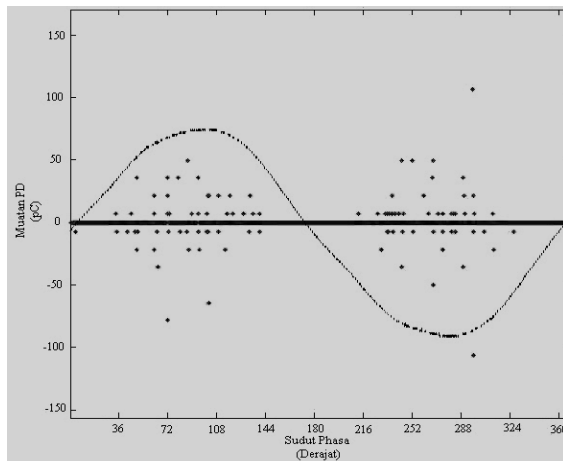
Model 2
Pada Tegangan 0.5 kV



Gambar 16. Pola Peluahan Sebagian Pada Tegangan 0.5 kV

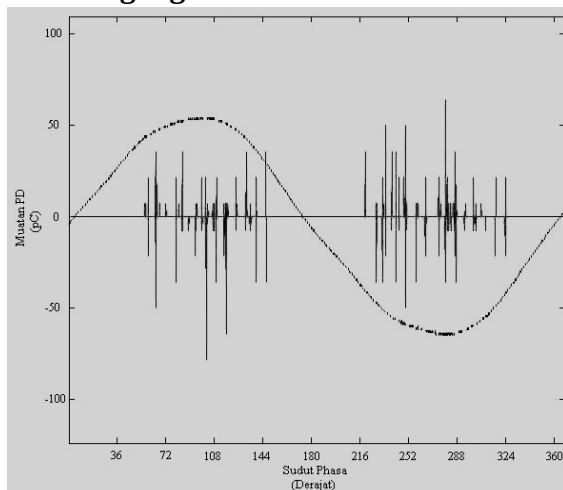
Pada Tegangan 2 kV





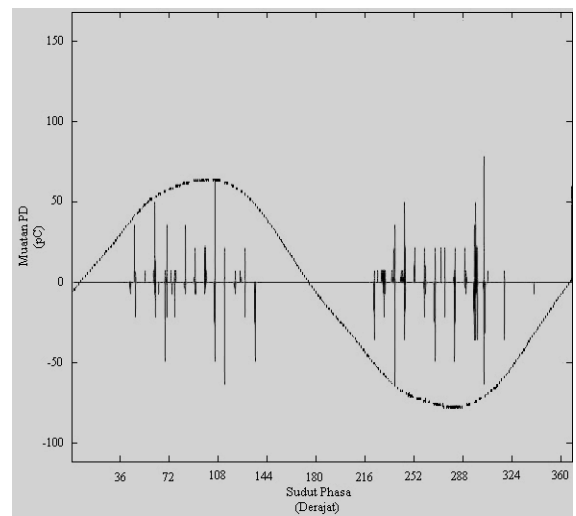
Gambar 17. Pola Peluahan Sebagian Pada Tegangan 2 kV

Model 3 Pada Tegangan 0.5 kV



Gambar 18. Pola Peluahan Sebagian Pada Tegangan 0.5 kV

Pada Tegangan 2 kV



Gambar 19. Pola Peluahan Sebagian Pada Tegangan 2 kV

Analisis Pola Peluahan Sebagian Pada Belitan Transformator dengan Proses Pengisolasian Yang Bervariasi

Pola peluahan sebagian yang didapatkan pada saat pengujian akan dibandingkan untuk menentukan manakah mutu suatu isolasi transformator yang baik digunakan pada transformator. Dari ketiga proses pengisolasian yang bervariasi maka dapat dibandingkan tingkat peluahan sebagian (pC) dan jumlah peluahan sebagian (n) serta sudut fasa (θ) yang terjadi pada

belitan transformator seperti terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Besar Muatan (pC), Jumlah (n) dan Sudut Phasa (θ)

Model 1			
Teg (kV)	Besar Muatan (pC)	Jumlah (n)	Sudut Phasa (θ)
0,5	77	147	72,94°
0,6	79	150	296,64°
0,7	78	121	276,12°
0,8	78	152	207°
0,9	106	155	58,36°
1	93	172	103,75°
1,1	105	125	300,78°
1,2	64	135	112,64°
1,3	91	158	297,36°
1,4	136	136	259,20°
1,5	91	151	218,34°
1,6	92	155	95,72°
1,7	106	152	56,93°
1,8	78	155	307,26°
1,9	92	148	110,54°
2	76	149	259,56°

Model 2			
Tegangan (kV)	Besar Muatan (pC)	Jumlah (n)	Sudut Phasa (θ)
0,5	65	98	228,60°
0,6	60	76	81,62°
0,7	64	78	309,96°
0,8	123	94	306,54°
0,9	105	78	233,82°
1	81	92	309,06°
1,1	77	96	83,74°
1,2	91	100	66,82°
1,3	63	95	240,84°
1,4	49	98	116,87°
1,5	73	89	96,91°
1,6	78	90	312,48°
1,7	63	102	110,55°
1,8	117	105	244,44°
1,9	65	80	134,51°
2	104	76	297,18°

Model 3			
Tegangan (kV)	Tegangan (kV)	Tegangan (kV)	Tegangan (kV)
0,5	0,5	0,5	0,5
0,6	0,6	0,6	0,6
0,7	0,7	0,7	0,7
0,8	0,8	0,8	0,8
0,9	0,9	0,9	0,9
1	1	1	1
1,1	1,1	1,1	1,1
1,2	1,2	1,2	1,2
1,3	1,3	1,3	1,3
1,4	1,4	1,4	1,4
1,5	1,5	1,5	1,5
1,6	1,6	1,6	1,6
1,7	1,7	1,7	1,7
1,8	1,8	1,8	1,8
1,9	1,9	1,9	1,9
2	2	2	2

Dari data tabel 1, untuk mengetahui karakteristik besar muatan (pC) sebagai fungsi tegangan (kV) dapat dilihat dari gambar 20. Dari data pada gambar 20, nilai R^2 menunjukkan tingkat korelasi antara data dan garis *trendline*. Nilai koefisien korelasi R^2 antara -1 sampai 1 dimana $R^2 = 1$ artinya hubungan antara sumbu X dan Y kuat dan searah, sedangkan $R^2 = -1$ artinya hubungan antara sumbu X dan Y kuat dan berlawanan arah dan $R^2 = 0$ artinya tidak ada hubungan antara sumbu X dan Y. Koefisien korelasi pada model 1 adalah $R^2 = 0,0288$, pada model 2 adalah $R^2 = 0,0126$ dan pada model 3 adalah $R^2 = 0,0369$.

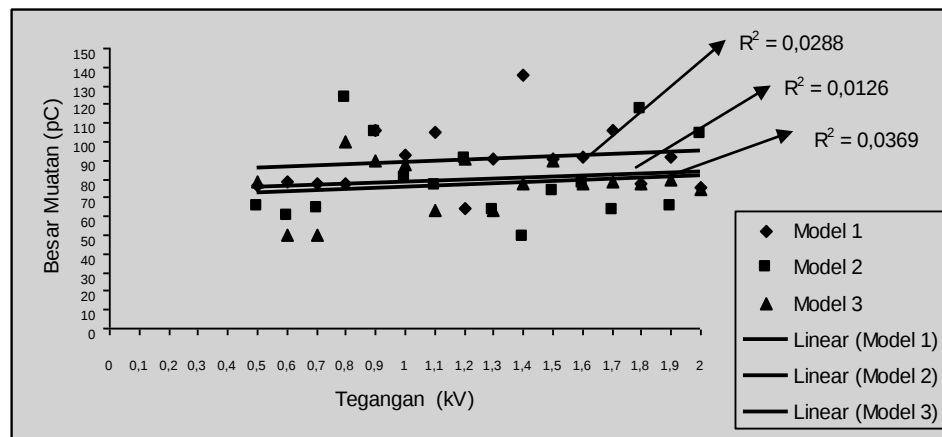
Dari gambar 20 terlihat bahwa garis hijau (model 3) mempunyai nilai besar muatan (pC) yang paling kecil, artinya model ini mempunyai tingkat peluahan sebagian yang rendah dibandingkan dengan model 1 dan model 2. Hal ini dikarenakan pada model 3 melalui proses impregnasi dengan vernis dan pengovenan dimana impregnasi bertujuan untuk mengisi rongga yang ada pada isolasi belitan transformator sehingga rongga-rongga yang ada pada isolasi

belitan tersebut akan teresapi oleh vernis dan proses pengovenan yang dilakukan bertujuan untuk menghilangkan udara-udara yang terjebak dalam belitan transformator sehingga kekuatan dielektrik dari bahan isolasi akan semakin tinggi.

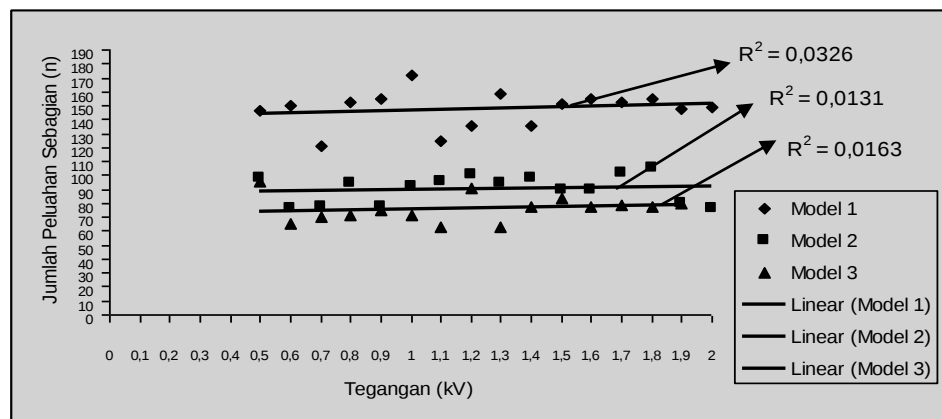
Pada model 1 memiliki besar muatan (pC) yang tinggi dikarenakan pada model ini belitan transformator tanpa melalui proses impregnasi dengan vernis dan pengovenan sehingga kekuatan dielektrik semakin berkurang ketika meningkatnya tegangan uji yang diberikan dan menyebabkan besar

muatan (pC) semakin tinggi. Sedangkan model 2 besar muatan (pC) masih tetap tinggi. Ini dikarenakan pada model 2 melalui pengeringan secara alami, sehingga menimbulkan rongga baru pada belitan transformator dan menyebabkan besar muatan (pC) menjadi tinggi.

Selain dari besar muatan (pC), karakteristik jumlah peluahan sebagian (n) sebagai fungsi tegangan (kV) dapat dilihat dari gambar 21.



Gambar 20. Karakteristik Besar Muatan (pC) terhadap Tegangan (kV)



Gambar 21. Karakteristik Jumlah Peluahan Sebagian (n) terhadap Tegangan (kV)

Dari gambar 21, nilai R^2 menunjukkan tingkat korelasi antara data dan garis *trendline*. Nilai koefisien korelasi R^2 antara

-1 sampai 1 dimana $R^2 = 1$ artinya hubungan antara sumbu X dan Y kuat dan searah, sedangkan $R^2 = -1$ artinya

hubungan antara sumbu X dan Y kuat dan berlawanan arah dan $R^2 = 0$ artinya tidak ada hubungan antara sumbu X dan Y. Koefisien korelasi pada model 1 adalah $R^2 = 0,0326$, pada model 2 adalah $R^2 = 0,0131$ dan pada model 3 adalah $R^2 = 0,0163$.

Dari gambar 21 terlihat bahwa garis hijau (model 3) jumlah peluahan sebagian (n) yang paling sedikit, artinya model ini mempunyai tingkat peluahan sebagian yang rendah dibandingkan dengan model 1 dan model 2. Hal ini dikarenakan pada model 3 melalui proses impregnasi dengan vernis dan pengovenan dimana impregnasi bertujuan untuk mengisi rongga yang ada pada isolasi belitan transformator sehingga rongga-rongga yang ada pada isolasi belitan tersebut akan teresapi oleh vernis dan proses pengovenan yang dilakukan bertujuan untuk menghilangkan udara-udara yang terjebak dalam belitan transformator sehingga kekuatan dielektrik dari bahan isolasi akan semakin tinggi.

Pada model 1 memiliki jumlah peluahan sebagian (n) yang lebih banyak dikarenakan pada model ini belitan transformator tanpa melalui proses impregnasi dengan vernis dan pengovenan sehingga kekuatan dielektrik semakin berkurang ketika meningkatnya tegangan uji yang diberikan dan menyebabkan jumlah peluahan sebagian (n) semakin banyak dan pada model 2 jumlah peluahan sebagian (n) masih cenderung banyak. Ini dikarenakan proses impregnasi dengan vernis pada model 2 tersebut melalui pengeringan secara alami, sehingga menimbulkan rongga baru pada belitan transformator dan menyebabkan jumlah peluahan sebagian (n) masih tetap banyak.

E. Kesimpulan

Pembuatan model belitan transformator dilakukan dengan tiga cara yaitu tanpa melalui proses impregnasi dengan vernis

dan pengovenan (model 1), melalui impregnasi dengan vernis (model 2), melalui impregnasi dengan vernis dan pengovenan (model 3). Proses pengisolasian yang bervariasi akan mempengaruhi tingkat peluahan sebagian (pC, n, θ) yang terjadi pada ketiga model belitan transformator. Pola peluahan sebagian (pC, n, θ) pada model 1 besar muatan (pC) berkisar antara 64 pC–136 pC, jumlah (n) berkisar antara 121 buah–172 buah, sudut phasa (θ) berkisar antara 36° – 144° dan 216° – 324° , sedangkan pada model 2 besar muatan (pC) berkisar antara 49 pC – 123 pC, jumlah (n) berkisar antara 76 buah - 105 buah, sudut phasa (θ) berkisar antara 36° – 144° dan 216° – 324° , dan pada model 3 besar muatan (pC) berkisar antara 50 pC – 100 pC, jumlah (n) berkisar antara 63 buah - 96 buah, sudut phasa (θ) berkisar antara 36° – 144° dan 216° – 324° . Dari ketiga model tersebut, model 3 memiliki tingkat peluahan sebagian yang paling baik dibandingkan dengan model 1 dan model 2.

Daftar Pustaka

- [1]. Anonim 1, Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN 61). 1985. Spesifikasi Transformator Tegangan Tinggi. Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi.
- [2]. Anonim 2, Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN 50). 1997. Spesifikasi Transformator Distribusi. Jakarta: PT.Perusahaan Listrik Negara.
- [3]. Anonim 3, Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN D3.002-1). 2007. Spesifikasi Transformator Distribusi Bagian 1. Jakarta: Bidang Distribusi dan Kelompok Kerja Transformator Distribusi.
- [4]. Aly., O. A. M. and Omar, A. S. , Elsherbeni., A . Z. 2006. Detection and Localization of RF Radar Pulses in Noise Environments Using Wavelet Packet Transform and High Order Statistics. Progress in

- Electromagnetics Research . PIER 58, 301-317 .
- [5]. Agung, Haryo dan Adib, Saiful. Partial Disharge and Diagnosis. <http://cumibakar.files.wordpress.com/2007/05/partial-discharge-1.doc>
- [6]. Edwards, T., 1991, Discrete Wavelet Transforms: Theory and Implementation, Stanford University, USA.
<http://qss.stanford.edu/~godfrey/wavelets/wavepaper.pdf>.
- [7]. Hewlerd , Packard. 2004. Partial Discharge Testing Decreasing The Field Failures of High Voltage Components. Silicon Valley.<http://www.ht-world.com/pdfs/PartialDischargePaper.pdf>.
- [8]. Lee, Kacey.C., dan Gweon, Sun Cheol. 2004. Performance Analysis of VPI Transformer. Dupont (Korea) Inc, New Korea Electric Co.Ltd.
- [9]. Liu, Z., Phung, B.T., James,R.E., Blackburn, T.R dan Aristiana, W.G. 2001. Optimisation Of Measurement Error in Partial Discharge Testing. School of Electrical Engineering and Telecommunications University of New south Wales.
- [10].Markalous, Sacha.M., Ing, Prof. Dr., Feser, Dr. Kurt. All Acoustic PD Measurement of Oil/Paper-Insulated Transformers For PD-Localization. Institute of Power Transmission and High Voltage Technology. University of Stuttgart.
- [11].Markalous, S.M. 2003. Online Acoustic PD Measurement of Oil/Paper Insulated Transformers and Methods. Institute of Power Transmission and High Voltage (IEH). Germany
- [12].Rux, Lorelynn Mary. 2004. The Physical Phenomena Associated With Stator Winding Insulation Condition As Detected By the Ramped Direct High-Voltage Method. Faculty of Mississippi State University in the Departement of Electrical and Computer Engineering.
- [13].Sitorus, Henry.B.H. 2001. Karakteristik Partial Discharge Dan Rugi Dielektrik ($\tan \delta$) Isolasi Belitan Motor Listrik Terimpregnasi, Thesis. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta. 93 hlm.
- [14].Stigant, S.Austen , Franklin, A.C. 1984. Transformer Book 10th Edition. A Practical Technology of The Power Transformer. Newnes-Butterworths. London-Boston.
- [15].Syakur, Abdul. 2005. Pengukuran Partial Disharge (PD) pada Bahan Isolasi Polimer untuk Mendeteksi Kerusakan Isolasi pada Peralatan Tegangan Tinggi Dengan Menggunakan bantuan software Labview. Jurusan Teknik Elektro-Universitas Diponegoro. Semarang
- [16].Syakur, Abdul dan Facta, Mochammad. 2005. Perbandingan Tegangan Tembus Media Isolasi Udara dan Media Isolasi Minyak Trafo Menggunakan Elektroda Bidang-Bidang. Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Semarang. Transmisi Vol. 10 No. 2, December 2005 : 26-29
- [17].Vogelsang, R. , Fruth, B. dan Frohlich, K. 2003. Detection of Electrical Tree Propagation in Generator Bar Insulations by Partial Discharge Measurements. Proceeding of The 7th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials. ICPADM. Nagoya. Japan.
- [18].Witos, Franciszek .2005. Partial Discharge Within The Bars Assigned For Generator Coils. Institute of Physcim Silesian University of Techonolgy. Gliwice. Poland