ANALISA POLA DAN SPEKTRUM *PARTIAL DISCHARGE* TERHADAP KERUSAKAN TRANSFORMATOR

Togi Sugiono[1)], Firdaus[2)]

[1,2)]Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Jl. H. R. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru 28293

Email: togi.sugiono3101@student.unri.ac.id; firdaus@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

Electrical system is one very important part in industry.Partial discharge is a disturbance phenomenon that occurs in power transformers. When partial discharge conducted continuously it will damage the transformer. Partial discharge Measurement on the transformer in PT. IKPP is conducted to determine the condition of the transformer insulation resistance, by analyzing the shape of the wave pattern and spectrum according to the standard used. The method uses Power PD-TP500A along with the Acoustic Emission (AE) sensor and the High Frequency Current Transducer (HFCT) sensor measurement on 3 33KV transformers and analyze the pattern and the spectrum using software Power PD-TP500A MD. The measurement of the 1st transformer on Tuesday, September 17th 2019 at 02:25 pm resulted there was no formation of wave patterns and spectrum and indicated normal transformer. The measurement of the 2nd transformer on Thursday, September 19th 2019 at 2:10 pm resulted there was the formation of wave patterns and spectrum indicating monitoring level condition. Then the measurements of the 3rd transformer on Monday, September 2019 at 2:30 pm resulted there was formation of wave patterns and spectrum on the AE and HFCT sensors indicating critical level condition. The normal, monitoring and critical condition of a transformer can be stated using partial discharge pattern and shape analysis done in this research.

Keywords: Transformer Partial Discharge, Power PD-TP500A, AE Sensor, HFCT Sensor

PENDAHULUAN

Di dalam industri, sistem kelistrikan merupakan hal sangat penting. Salah satu bagian penting ialah pada transformator daya. Transformator merupakan salah satu peralatan utama dalam sistem transmisi dan distribusi energi listrik. Sehingga dibutuhkan sebuah perencanaan pengawasan dan perawatan pada transformator daya.

Partial discharge merupakan sebuah fenomena gangguan yang terjadi pada transformator daya. Dimana, apabila gangguan *partial discharge* pada kondisi yang lama atau terus menerus akan berdampak kerusakan pada transformator. Pengecekan *partial discharge* merupakan salah satu cara untuk mengurangi kerusakan yang terjadi. *Monitoring* terjadwal dan perawatan secara rutin akan memberikan dampak positif terhadap transformator, sehingga proses produksi menjadi lancar dan mengurangi resiko kecelakan kerja.

Seiring kemajuan teknologi, kinerja transformator dapat dianalisa sebelum terjadi kerusakan dan mempunyai akurasi tinggi. Dengan Instrumen pendukung yang baik, seperti *Power PD* TP-500A sangat membantu teknisi secara tepat menangani *Partial Discharge* karena instrumen tersebut memberikan gambaran secara keseluruhan keadaan transformator, sehingga *partial discharge* dapat segera ditanggulangi.

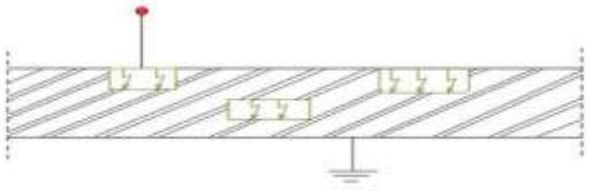
TINJAUAN PUSTAKA

Partial Discharge atau peluahan sebagian merupakan peristiwa pelepasan atau loncatan bunga api listrik (*spark*) yang terjadi pada suatu bagian isolasi akibat adanya beda potensial yang sangat tinggi dalam isolasi tersebut. *Partial discharge* juga dapat didefenisikan sebagai akibat dari konsentrasi *electrical stress* pada suatu lokasi didalam atau pada permukaan isolasi.Komponen urutan nol terdiri dari 3 fasor-fasor yang sama besar dan pergeseran fasa satu dengan yang lainnya nol.

Fenomena *partial discharge* apabila terjadi secara terus menerus maka akan menimbulkan panas berlebih pada daerah tertentu yang nantinya akan merusak bahan isolasi dan mengarah kepada terjadinya kegagalan sistem. Sebelum semua hal ini terjadi maka sangat penting dilakukan pendeteksian dan pengidentifikasian awal untuk mencari penyebab terjadinya peluahan elektrik yang dapat menurunkan kualitas bahan dielektrik dari suatu sistem yang menggunakannya. Penyebab terjadinya *partial discharge* tersebut dapat diidentifikasi dengan melakukan pengujian dan pengukuran pada isolasi dengan memakai alat pendeteksi terjadinya peluahan sebagian tersebut. Jenis-jenis *partial discharge* dapat dibagi menjadi 2 yaitu :

1. ***Internal Partial discharge***

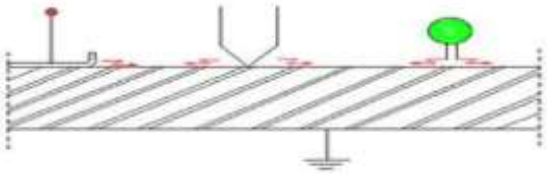
Internal partial discharge adalah *Partial discharge* yang terjadi karena adanya rongga, biasanya berisi udara, di dalam isolasi.



Gambar 1. *Internal Partial discharge*
(Syamsir Abduh, 2001)

2. ***Surface Partial discharge***

Surface discharge adalah *Partial discharge* yang terjadi pada bagian luar isolasi atau permukaan isolasi. *Surface discharge* terjadi pada komponen dimana discharge dari luar menyentuh permukaan isolasi (Syamsir Abduh, 2001, hal 93).



Gambar 2. *Surface Partial discharge*
(Syamsir Abduh, 2001)

Pada gambar diatas menunjukkan beberapa sumber terjadinya *surface discharge*. Pada bagian kanan dan tengah gambar, *surface discharge* terjadi karena adanya medan listrik yang cukup kuat sehingga menimbulkan *discharge* pada permukaan isolasi.

Transformator

Transformator ialah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Trafo *step-up* berfungsi untuk menaikkan tegangan, sedangkan trafo *step-down* berfungsi untuk menurunkan tegangan. Pada prinsipnya trafo itu terdiri dari 2 kumparan (lilitan) yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Ketika kumparan primer dialiri arus maka akan menimbulkan fluks magnet (medan magnet) disekitarnya. Kekuatan medan magnet dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang alirinya. Setelah kumparan primer dialiri oleh arus dan terjadi GGL (gaya gerak listrik) maka kumparan sekunder mendapat arus dari kumparan/lilitan primer (Soebagio, 2012).

Kegagalan Bahan Isolasi

Kegagalan isolasi pada peralatan tegangan tinggi akan sangat berpengaruh pada operasi peralatan tersebut dan akan mengganggu kestabilan sistem. *Partial discharge* dapat terjadi pada material isolasi padat, cair maupun gas.

Kegagalan Isolasi Padat

Mekanisme kegagalan pada bahan isolasi padat meliputi kegagalan asasi (intrinsik), elektro mekanik, *streamer*, *thermal* dan kegagalan erosi(Tadjuddin, 1998).

1. Kegagalan intrinsik, kegagalan yang berhubungan dengan jenis dan suhu bahan tanpa menghiraukan berbagai faktor lain sebagai pengaruh luar seperti tekanan, bahan elektroda, ketidakmurnian dan kantong udara. Kegagalan terjadi saat tegangan dinaikkan sehingga meningkatkan tekanan listrik yang terjadi pada bahan isolasi hingga 106volt/cm dalam waktu yang sangat singkat sekitar 10-8 detik.
2. Kegagalan Elektromagnet, kegagalan yang berhubungan dengan tekanan listrik pada bahan isolasi yang diakibatkan oleh perbedaan polaritas antara elektroda yang mengapit isolasi tersebut.
3. Kegagalan Streamer, kegagalan yang terjadi sesudah suatu banjiran elektron. Sebuah elektron yang memasuki band conduction di katoda akan bergerak menuju anoda dibawah pengaruh medan memperoleh energi antara benturan dan kehilangan energi pada waktu membentur. Jika lintasan bebas cukup panjang maka tambahan energi yang diperoleh melebihi pengionisasi latice. Akibatnya dihasilkan tambahan elektron elektron pada saat terjadi benturan. Bentuk muatan pada ujung pelepasan ini dalam keadaan tertentu dapat menimbulkan medan lokal yang cukup tinggi (sekitar 10 MV/cm). karena medan ini melebihi kekuatan

intrinsiknya maka akan terjadi kegagalan pada zat padat. Proses kegagalan ini terjadi sedikit demi sedikit yang dapat menyebabkan kegagalan total.

4. Kegagalan thermal, kegagalan yang berhubungan dengan kecepatan pembangkitan panas disuatu titik melebihi laju kecepatan pembuangannya. Sehingga terjadi penumpukan energi panas pada titik tersebut dan akan mengakibatkan keadaan tidak stabil sehingga berdampak pada kegagalan.
5. Kegagalan Erosi, kegagalan yang diakibatkan oleh ketidaksempurnaan bahan isolator yang digunakan seperti terdapat rongga dalam isolasi tersebut. Hal ini berakibat pada nilai tegangan normal kekuatan medan pada rongga dapat bernilai melebihi kekuatan kegagalan, sehingga dapat menyebabkan kegagalan.

Kegagalan Isolasi Cair

Isolasi berupa cairan rentan terhadap pengotor maupun zat lain seperti gelembung udara, partikel asing dan lain-lain yang mengisi bahan tersebut sehingga tingkat kemurniannya tidak begitu tinggi. Tentu hal ini mengakibatkan berkurangnya ketahanan isolasi cair terhadap kegagalan. Beberapa teori yang menjelaskan mekanisme kegagalan bahan isolasi cair saat ini belum mampu menjelaskan proses kegagalan dalam zat cair yang benar-benar sesuai antara keadaan secara teoritis dan keadaan sebenarnya (Tadjuddin, 1998). Beberapa teori yang sering dikemukakan antara lain :

1. Kegagalan Elektronik, kegagalan yang diakibatkan oleh permukaan konduktor yang tidak rata sehingga memiliki bagian yang lebih runcing yang mengakibatkan daerah tersebut memiliki kuat medan terkuat. Kegagalan kavitasi, kegagalan yang terjadi pada isolasi cair yang diakibatkan oleh adanya gelembung-gelembung udara di dalamnya.
2. Kegagalan Bola Cair, kegagalan yang diakibatkan jika suatu zat isolasi mengandung sebuah bola cair dari jenis lain, maka dapat terjadi kegagalan akibat ketidakstabilan bola cair tersebut dalam medan listrik. Medan listrik akan menyebabkan tetesan bola cair yang tertahan didalam minyak memanjang searah medan listrik tersebut.
3. Kegagalan Butiran Padat, kegagalan yang disebabkan oleh adanya butiran zat padat didalam isolasi cair yang akan memulai terjadi kegagalan.

Kegagalan Isolasi Gas

Ion merupakan atom atau gabungan atom yang memiliki muatan listrik, ion terbentuk apabila pada peristiwa kimia suatu atom unsur menangkap atau melepaskan elektron. Proses terbentuknya ion-ion ini disebut ionisasi. Jika diantara dua elektroda yang dimasukkan dalam media gas diterapkan tegangan V maka akan timbul suatu medan listrik E yang mempunyai besar dan arah tertentu yang akan mengakibatkan elektron bebas mendapatkan energi yang cukup kuat menuju ke arah anoda sehingga dapat merangsang timbulnya proses ionisasi (Tadjuddin, 1998).

Proses kegagalan dalam gas ditandai dengan adanya percikan secara tiba-tiba, percikan ini dapat terjadi karena adanya pelepasan yang terjadi pada gas tersebut. Proses dasar yang paling penting dalam kegagalan gas adalah proses ionisasi karena benturan, tetapi proses ini tidak cukup untuk menghasilkan kegagalan. Proses lain yang terjadi dalam kegagalan gas adalah mekanisme primer dan mekanisme sekunder.

Mekanisme primer banyak dipengaruhi oleh proses katoda, pada proses ini diawali dengan pelepasan elektron oleh suatu elektroda yang diuji, peristiwa ini akan mengawali terjadinya kegagalan percikan (*spark breakdown*). Elektroda yang memiliki potensial rendah (katoda) akan menjadi elektroda yang melepaskan elektron. Elektron awal yang dilepaskan oleh katoda akan memulai terjadinya banjiran elektron dari permukaan katoda. Jika jumlah elektron yang dibebaskan makin lama makin banyak atau terjadinya peningkatan banjiran maka arus akan bertambah dengan cepat sampai terjadi perubahan pelepasan dan peralihan pelepasan ini akan menimbulkan percikan atau kegagalan dalam gas.

***Power* PD-TP500A**

Perangkat yang digunakan untuk menampilkan informasi pada layar komputer disebut *Power* PD (PD-TP500A). Perangkat *Power* PD TP-500A adalah sistem diagnostik secara portabel, yang secara berkala memonitor *partial discharge* pada peralatan seperti Transformator. *Power* PD TP-500A akan mendeteksi, menganalisis, dan menemukan lokasi sumber sinyal.

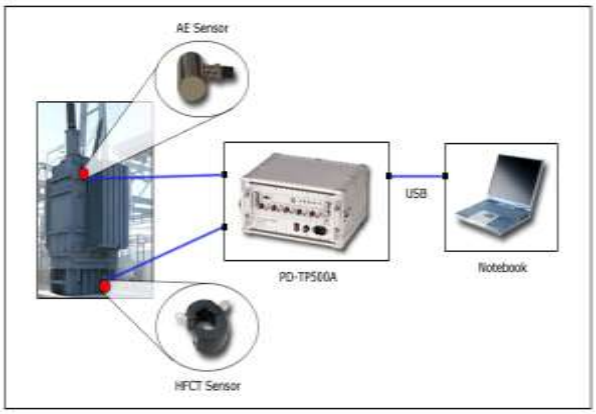
Gambar 3. *Power* PD-TP500A
(Amato, 2007)

Pada Power PD-TP500A pengujian *partial discharge* dilakukan dengan menggabungkan dua metode, yaitu metode akustik dan metode listrik. Metode akustik dilakukan dengan mendeteksi sinyal suara gangguan dari dalam trafo. Sinyal suara tersebut ditangkap oleh 4 buah *Acoustic Emission* (AE) sensor yang ditempelkan pada keempat sisi dinding trafo. Sedangkan metode listrik dilakukan dengan mendeteksi arus trafo yang mengalir pada bagian *grounding* trafo. Arus trafo ini dideteksi dengan menggunakan 1 buah *High Frequency Current Transducer* (HFCT) sensor yang dipasangkan pada bagian pentanahan trafo. Sensor pada perangkat *Power* PD-TP500A untuk pengecekan *partial discharge* yaitu :

1. Sensor AE *(Acoustic Emission)*
   Adalah gelombang elastis dalam material, yang disebabkan oleh pelepasan energi tegangan lokal yang cepat. Sumber peristiwa adalah penomena melepaskan energi elastis ke dalam material, yang kemudian merambat sebagai gelombang elastis. Emisi akustik dapat dideteksi pada rentang frekuensi hingga 100 MHz, namun sebagian besar energi yang dilepaskan berada dalam kisaran 1 kHz sampai 1 MHz. Peristiwa pelepasan *stress* yang cepat menghasilkan spektrum gelombang *stress* yang dimulai pada 0 Hz, dan biasanya jatuh beberapa MHz.
2. Sensor HFCT *(High Frequency Current Transducer)*
   Digunakan untuk mendeteksi arus debit *partial* pada kabel *grounding.*

Gambar 4. Sensor AE dan HFCT
(Amato, 2007)

Skema pengambilan data menggunakan *power* PD-TP500A terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Skema Pengukuran *Partial Discharge* (Amato, 2007)

METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengujian *partial discharge* pada beberapa transformator menggunakan *power* PD-TP500A beserta sensor *Acoustic Emission* (AE) dan sensor *High Frequency Current Transducer* (HFCT) lalu didukung *software power* PD-TP500A md_v6349 yang ada di PT. IKPP Tbk Perawang.

Gambar 6. *Power* PD-TP500A Beserta Sensor AE Dan HFCT

Untuk melihat hasil pengujian menggunakan alat *power* pd-tp500a dihubungkan ke laptop yang sudah terinstal *software* tp500-a md_v6349 menggunakan kabel USB.

Gambar 7. *Software Power* PD-TP500A MD

Parameter Penelitian

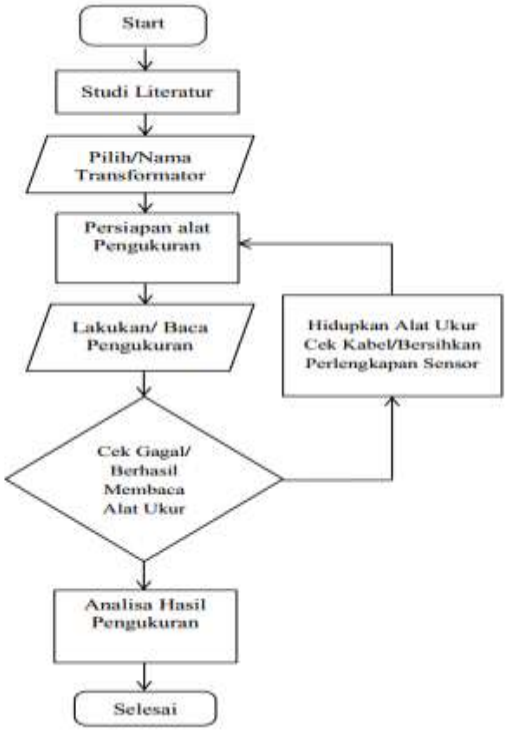
4 sensor AE akan di tempelkan pada dinding atau tangki transformator untuk mendeteksi *partial discharge* yang apabila terjadi di dalam sebuah transformator. Sensor AE akan mendeteksi suara di dalam transformator pada frekuensi tinggi.

Gambar 8. Sensor AE Pada Dinding Transfomator

Kemudian kabel *grounding* pada transformator saat waktu yang sama dijepitkan sensor HFCT untuk mendeteksi *partial discharge* pada kabel apabila terjadi kerusakan tahanan isolasi kabel *grounding* transformator.

Gambar 9. Sensor HFCT Pada Kabel *Grounding* Transformator

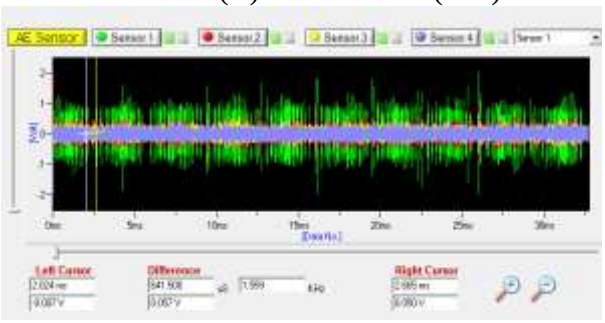
Diagram Alir Penelitian



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian

Analisa Pola PD

1. Perhatikan hasil pengukuran atau pola gelombang. Setelah kursor kanan dan kiri diletakkan akan muncul nilai yaitu kerapatan waktu(mikrodetik), perbedaan tegangan dari kedua kursor (V) dan frekuensi (Khz).



Gambar 11. Contoh Kasus

Dapat dilihat Gambar 11 merupakan contoh kasus telah terjadi pembentukan pola pd di sensor AE.

2. Setelah peletakan berada pada saat gelombang terjadi jeda dan akan membentuk gelombang lagi sehingga disebut kerapatan pola *partial discharge*.
3. Perbedaan waktu (Tinf) kerapatan pola *Partial Discharge* kursor kiri (warna putih) dan kursor kanan (warna kuning) menentukan apakah transformator dalam keaadan normal, monitoring atau kritis seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbedaan Kerapatan Waktu (T inf) *Power* PD-TP500A

Acceptable	≥ 5 ms
Monitor	2 ms ≤ T inf ≤ 5 ms
Critical	≤ 2 ms

(Power PD-TP500A PT.IKPP Perawang)

4. Kesimpulan dari hasil analisa.

Menghitung Spektrum Berdasarkan Persentase Luas Bidang

1. Perhatikan pembentukan spektrum, lebar frekuensi dan amplitudo yang terjadi.
2. Setelah diketahui nilai lebar frekuensi dan amplitudo, maka luas bidang yang terbentuk dari spektrum dapat dihitung dengan rumus luas bidang trapesium atau segitiga (Bella Octavia, 2017)

   Luas Trapesium = $\frac{1}{2}$ (a + b).....(1)

   Luas Segitiga = $\frac{1}{2}$. a . h.....(2)

3. Kemudian hitung luas keseluruhan dari bidang pembentukan *spectrum*

menggunakan rumus luas bidang persegi panjang.

Luas Persegi Panjang = P . L.....(3)

4. Kemudian persentase luas bidang dihitung dengan persamaan (4).

$$\text{Persentase (\%)} = \frac{\text{Luas Bagian}}{\text{Luas Keseluruhan}} \text{X } 100\% \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Dan Pola *Partial Discharge*

Analisa pengukuran dilakukan dengan menggunakan *software* power pd-tp500a pada transformator 3 yaitu hari senin tanggal 23 september pukul 14.30 WIB.

Gambar 12. Bentuk Pola PD Transformator 3

Dapat dilihat pada Gambar 12, selain terjadi pembentukan pola *partial discharge* pada sensor AE dan di sensor HFCT. Kerapatan pola pada sensor AE ialah 1.07 ms pada *difference* tegangan 0.104 V dan frekuensi 0.932 kHz. Kemudian kerapatan pola pada sensor HFCT ialah 0.552 ms pada *difference* tegangan 0.131 V dan frekuensi 1.809 kHz. Sesuai dengan standar, yaitu kerapatan pola PD yang di dapat terindikasi pada level parah atau *critical*.

Analisa Spektrum *Partial Discharge* Berdasarkan Persentase Luas Bidang

Gambar 13. Bentuk Spektrum Transformator 3

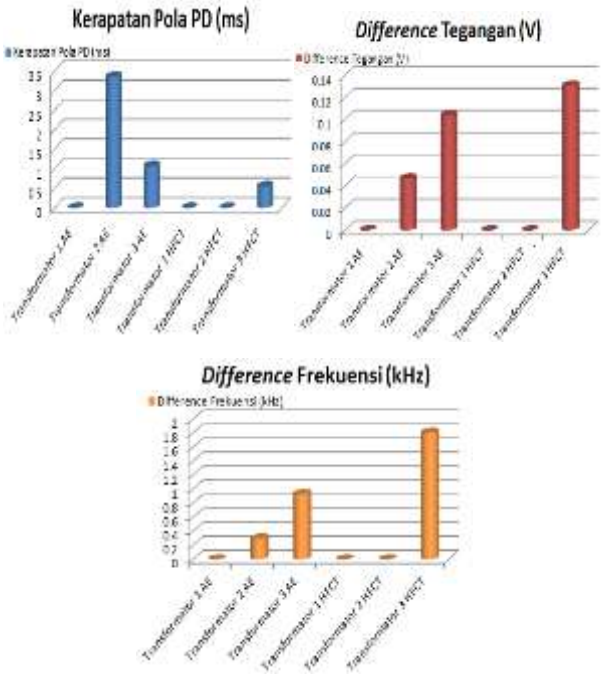
Pembentukan spektrum di sensor AE pada Gambar 13. terjadi pada frekuensi 106.08 – 234 kHz pada *difference* waktu 127 ms *difference* frekuensi 0.008 kHz dan ampitudo 0.00003 Vrms. Persentase luas bidang *spectrum* sensor AE pada transformator 3 ialah 70.8 %.Selanjutnya *spectrum* di sensor HFCT terjadi pada frekuensi 0 – 460.21 kHz pada *difference* waktu 460.21 ms dan *difference* frekuensi 0.002 kHz dan puncak amplitudo 0.001 Vrms dan amplitudo 0.0008 Vrms. Persentase luas bidang spektrum sensor HFCT pada transformator 3 ialah 42 %.

Perbandingan Hasil Evaluasi Dan Analisa

Tabel 2. Hasil Evaluasi Dan Analisa

Transformator Yang diuji	Sensor	Pola PD			*Spectrum*		
		Kerapatan Pola (ms)	*Difference* Tegangan (V)	*Difference* Frekuensi (kHz)	Amplitudo (V)	Lebar Frekuensi (kHz)	Persentase (%)
Transformator 1 (IP152 - T01)	AE	-	-	-	-	-	-
	HFCT	-	-	-	-	-	-
Transformator 2 (IP845 - TR001)	AE	3.35	0.047	0.298	0.00001	92	71.8
	HFCT	-	-	-	-	-	-
Transformator 3 (IP841 – TR001)	AE	1.07	0.104	0.932	0.00003	127	70.8
	HFCT	0.552	0.131	1.809	0.001	460	42

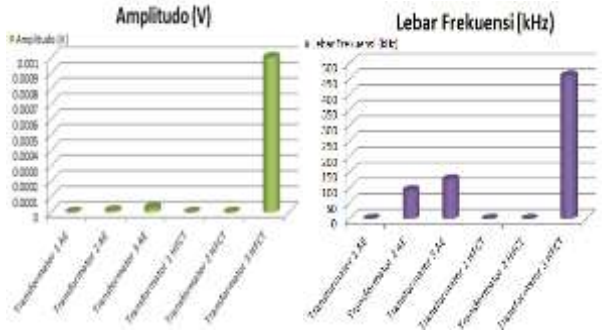
Jika dilihat pada tabel diatas, hasil evaluasi dan analisa pola pd dan spektrum pengukuran pada transformator 1. Dapat simpulkan transformator dalam keadaan normal. Tidak adanya nilai atau pembentukan pola pd dan spektrum di kedua sensor. Pada transformator 2, ada nilai atau pembetukan pola pd dan spektrum pada sensor AE saja. Jika dilihat pada standar pengukuran transformator 2 disimpulkan pada level *monitoring* atau pemantauan. Kemudian hasil evaluasi dan analisa pada transformator 3. Ada nilai atau pembentuakan pola pd dan spektrum pada kedua sensor. Dengan standar yang digunakan kedua sensor disimpulkan pada level *critical* atau berbahaya.

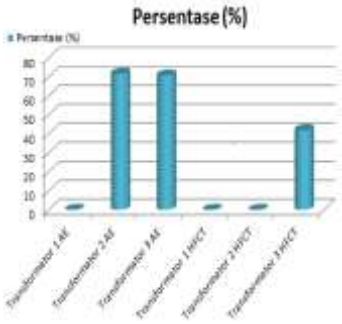


Gambar 14. Grafik Hasil Evaluasi Dan Analisa Pola PD

Grafik pada gambar 14. menjelaskan bahwa semakin tinggi nilai kerapatan pola yang didapat maka nilai *difference* tegangan dan frekuensi akan semakin kecil. Sebaliknya bila nilai kerapatan pola semakin kecil, maka nilai *difference* tegangan dan frekuensi akan semakin besar. Jadi semakin kecil nilai kerapatan pola PD maka semakin parah kerusakan yang terjadi pada transformator. Dan sebaliknya semakin besar nilai kerapatan pola PD atau tidak ada pola PD maka transformator tidak mengalami kerusakan atau dalam keadaan normal.

Kemudian dapat dilihat hasil evaluasi dan analisa spektrum pada setiap transformator dari grafik berikut ini :





Gambar 15. Grafik Hasil Evaluasi Dan Analisa Spektrum

Jika dilihat dari grafik pada Gambar 15, terlihat bahwa semakin kecil nilai amplitudo dan lebar spektrum frekuensi maka persentase luas bidang akan semakin besar. Sebaliknya apabila nilai amplitudo dan lebar spektrum frekuensi semakin besar maka persentase luas bidang spektrum akan semakin kecil.

KESIMPULAN

Pada pola PD, semakin tinggi nilai kerapatan pola yang didapat maka nilai *difference* tegangan dan frekuensi akan semakin kecil. Sebaliknya apabila nilai kerapatan pola semakin kecil, maka nilai *difference* tegangan dan frekuensi akan semakin besar. Jadi semakin kecil nilai kerapatan pola PD maka semakin parah kerusakan yang terjadi pada transformator. Dan sebaliknya semakin besar nilai kerapatan pola PD atau tidak ada pola PD maka transformator tidak mengalami kerusakan atau dalam keadaan normal.

Pada spektrum, berkaitan dengan hasil analisa dari kerapatan pola PD di masing-masing transformator. Yaitu semakin kecil nilai pola PD maka nilai amplitudo dan lebar frekuensi pada *spectrum* akan semakin besar, sehingga tingkat kerusakan transformator akan semakin parah. Kemudian sebaliknya, semakin besar nilai kerapatan pola PD maka nilai amplitudo dan frekuensi pada spektrum akan semakin kecil, sehingga tingkat kerusakan yang terjadi pada transformator tidak parah atau masih dalam keadaan normal.

DAFTAR PUSTAKA

Abduh, Syamsir (2001). Teknik Tegangan Tinggi, Dasar Pembangkit dan Pengukuan, Salemba Teknika, Jakarta.

Amato (2007). *User's Manual Power* PD, Mission Viejo, CA 92692, USA, Web: http://powerpd.net, E-mail: powerpd@powerpd.net.

Kadir, Abdul (2010). Transformator, Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta

Octavia, Bella (2017). Kumpulan Rumus Matematika Lengkap, Zenius.net, Jakarta.

Seobagio (2012). Transformator, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya (Surabaya ITS Press), Surabaya.

Tadjuddin (1998): *Partial Discharge* dan Kegagalan Bahan Isolasi", (online), http://www.elektro indonesia.com/elektro/ener13a.html.

Tobing, Bonggas L. (2012). Dasar-Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Erlangga, Jakarta.