

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Isolasi Cair

Isolasi cair memiliki dua fungsi yaitu sebagai pemisah antara bagian yang bertegangan dan juga sebagai pendingin sehingga banyak digunakan pada peralatan seperti trafo, pemutus tenaga, *switch gear*²⁾. Isolasi cair diaplikasikan untuk mengisolasi bagian trafo daya yang mempunyai beda tegangan. Selain sebagai isolasi, isolasi cair juga berfungsi sebagai pendingin karena isolasi cair memiliki transfer panas yang baik. Selain itu, isolasi cair dapat memperbaiki dirinya sendiri apabila terjadi kerusakan pada isolasi sehingga tidak terdapat kerusakan permanen pada isolasi cair. Minyak isolasi dapat dihasilkan dari bahan tambang ataupun akhir-akhir ini yang sedang dikembangkan adalah dari minyak nabati. Banyak isolasi cair yang dihasilkan dari bahan tambang, seperti salah satunya adalah minyak trafo *Nynas AB Nytro Libra*.

1. Minyak Trafo *Nynas AB Nytro Libra*

Minyak trafo *Nynas AB Nytro Libra* adalah suatu minyak isolasi cair yang dihasilkan dari bahan tambang. Minyak ini memiliki kekuatan isolasi yang baik.

²⁾ IEC 60296 (03) , *Product Data Sheet Nytro Libra*. <http://www.nynas.com> (10 Februari 2010)

Aplikasi utama dari minyak *Nynas AB Nytro Libra* ini yang digunakan dalam bidang isolasi antara lain adalah untuk isolasi trafo dan *switch-gears*. Selain itu, juga digunakan pada peralatan listrik lainnya seperti *rectifier* dan pemutus kontak (*circuit breakers*).

Table 1. Standar minyak trafo *Nynas AB (Nytro Libra)*

Sifat	Unit	Tes Metode IEC	Nilai
1. Fisika			
penampilan		IEC 60296	Bening bebas dari endapan
densitas, 20°C	kg/dm ³	ISO 12185	0,879
viskositas, 40°C	mm ² /s	ISO 3104	9,4
viskositas, -30°C	mm ² /s	ISO 3104	1100
titik tuang	°C	ISO 3016	-53
2. Kimia			
kadar asam	mg KOH/g	IEC 62021	<0,01
kandungan bau	%	IEC 60590	10
kandungan air	mg/kg	IEC 60814	<20
3. Elektrik			
Dielectric dissipation factor (DDF) pada 90°C		IEC 60247	<0,001
Tegangan tembus			
sebelum perawatan	kV	IEC 60156	40-60
setelah perawatan	kV		>70
4. Stabilitas Oksidasi			
pada 120°C, 164 h		IEC 61125 C	
total keasaman	mg KOH/g		0,50

Minyak *Nynas AB Nytro Libra* memiliki keistimewaan diantaranya ialah memiliki stabilitas oksidasi yang baik, memiliki kekuatan dielektrik yang baik yang dapat melebihi kebutuhan dari semua spesifikasi utama, capaian temperatur rendah tanpa menambahkan zat aditif, serta memiliki sifat pemindahan kalor yang baik sehingga dapat membantu dalam proses pendinginan alat. Spesifikasi dari *Nynas AB Nytro Libra* ini sesuai dengan standar IEEE, ISO, dan ASTM.

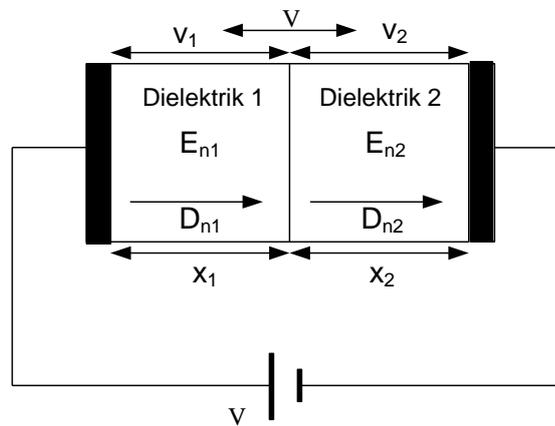
Kelemahan dari minyak isolasi adalah mudah terkontaminasi oleh material asing. Zat yang dapat mencemari minyak dapat berupa cairan, embun dan partikel. Campuran ini dapat menyebabkan menurunnya tingkat kekuatan isolasi dari minyak, oleh karena itu penyimpanan dari minyak isolasi harus dijaga agar sekecil mungkin dapat menghindarkan minyak isolasi dari pencemaran-pencemaran.

B. Kekuatan Dielektrik

Kekuatan dielektrik merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk bisa tahan terhadap tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan³⁾. Kekuatan dielektrik ini tergantung pada sifat atom dan molekul cairan itu sendiri. Namun demikian dalam prakteknya kekuatan dielektrik tergantung pada material dari elektroda, suhu, jenis tegangan yang diberikan, gas yang terdapat dalam cairan dan sebagainya yang dapat mengubah sifat molekul cairan. Dalam isolasi cair, kekuatan dielektrik setara dengan tegangan kegagalan yang terjadi. Dalam upaya memberikan gambaran tentang kekuatan dielektrik maka akan lebih memudahkan

³⁾ Bonggas, L. Tobing, Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Gramedia Pustaka Utama. Jakarta (2003) h.12

bila dua dielektrik seri ditinjau. Dalam hal ini medan dianggap seragam, arus bocor diabaikan dan konsentrasi fluks pada pinggiran juga diabaikan.



Gambar 1. Rangkaian dua dielektrik seri

$$D = \epsilon_0 E_0$$

Di mana :

D : (*displacement*) perpindahan electron

E : kuat medan listrik

ϵ : permitivitas relatif suatu bahan

Dengan syarat-syarat batas perpindahan (*displacement*) netral sama.

$$D_{n1} = D_{n2}$$

maka

$$\epsilon_1 E_{n1} = \epsilon_2 E_{n2}$$

$$E_{n1} = (v_1/x_1) \text{ dan } E_{n2} = (v_2/x_2)$$

v_1, v_2 adalah tegangan tiap dielektrik

x_1, x_2 adalah tebal tiap dielektrik

$$v_1 = \frac{v}{\left(1 + \frac{x_2 \varepsilon_1}{x_1 \varepsilon_2}\right)} \text{ dan } v_2 = \frac{v}{\left(1 + \frac{x_1 \varepsilon_2}{x_2 \varepsilon_1}\right)} \dots\dots\dots(1)$$

Jika n buah dielektrik dalam hubungan seri maka gradien atau kuat medannya pada titik x adalah :

$$E_{nx} = \frac{v}{\varepsilon_x \left(\frac{x_1}{\varepsilon_1} + \frac{x_2}{\varepsilon_2} + \frac{x_3}{\varepsilon_3} + \dots + \frac{x_n}{\varepsilon_n} \right)} \dots\dots\dots(2)$$

Jika terdapat lapisan udara, minyak dan padat yang tebalnya 0,5 cm dengan permitivitas masing-masing 1, 2 dan 4 serta tegangan V=280 kV, berdasarkan rumus diatas gradien tegangan udara 320 kV/cm, minyak 160 kV/cm dan bahan padat 80 kV/cm. Menurut ketetapan kekuatan dielektrik udara mulai gagal saat 31,7 kV/cm, minyak pada saat 128 kV/cm dan bahan padat pada saat 295 - 314 kV/cm⁴⁾.

C. Peluahan Sebagian (*Partial Discharge*)

Ada beberapa alasan mengapa isolasi cair digunakan, antara lain yang pertama adalah isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih dibandingkan dengan isolasi gas⁴⁾, sehingga memiliki kekuatan dielektrik yang lebih tinggi menurut hukum Paschen. Kedua isolasi cair akan mengisi sela atau ruang yang akan diisolasi dan secara serentak melalui proses konversi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi energi. Ketiga isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri

⁴⁾ Elektro Indonesia, Analisis Kegagalan Minyak Transformator, Elektro Online, Maret 1998. <http://elektroindonesia.com/elektro/energi12.html>

sendiri (*self healing*) jika terjadi pelepasan muatan (*discharge*)⁵⁾. Namun kekurangan utama isolasi cair adalah mudah terkontaminasi.

Pada perinsipnya tegangan pada isolator merupakan suatu tarikan atau tekanan (*stress*) yang harus dilawan oleh gaya dalam isolasi itu sendiri agar isolasi tidak gagal. Dalam struktur molekul material isolasi, bila ikatan ini putus pada suatu tempat maka sifat isolasi pada tempat itu hilang. Bila pada bahan isolasi tersebut diberikan tegangan akan terjadi perpindahan elektron-elektron dari suatu molekul ke molekul lainnya sehingga timbul arus konduksi atau arus bocor. Karakteristik isolasi akan berubah bila material tersebut termasuk suatu ketidakmurnian (*impurity*) seperti adanya gelembung udara atau kelembaban dalam isolasi yang dapat menyebabkan terjadinya peluahan⁶⁾.

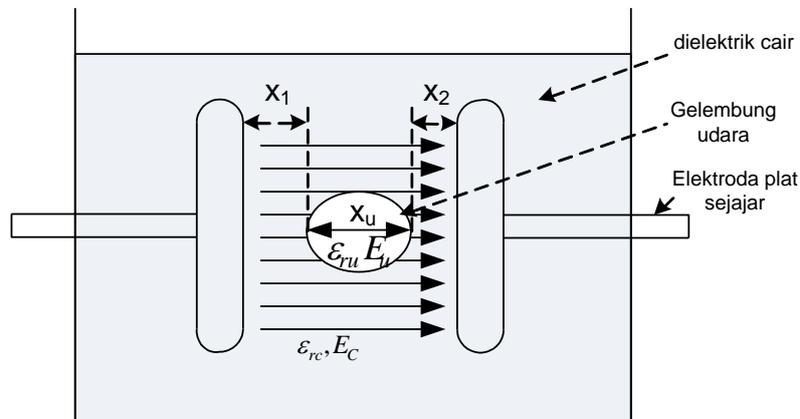
Peluahan sebagian (*partial discharge*) adalah peluahan elektrik pada medium isolasi yang terdapat di antara dua elektroda berbeda tegangan, di mana peluahan tersebut tidak sampai menghubungkan kedua elektroda secara sempurna. Peristiwa ini dapat terjadi karena ketidak murnian isolasi tersebut. Beberapa macam faktor yang diperkirakan mempengaruhi peluahan sebagian minyak trafo seperti luas daerah elektroda, jarak sela (*gap spacing*), pendinginan, pengkontaminasian, perawatan sebelum pemakaian (elektroda dan minyak)⁷⁾.

⁵⁾ Tadjuddin, Analisis Kegagalan Minyak Transformator, Elektro Indonesia Edisi ke Dua Belas(1998)

⁶⁾ Bonggas, L. Tobing, Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Gramedia Pustaka Utama.Jakarta (2003) h.12

⁷⁾ Sarathi, Ramanujam dan Prathap D. Singh, Characterization of Partial Discharges in Transformer Oil Insulation Under ac and dc Voltage Using Acoustic Emission Technique, Department of Electrical Engineering Indian Institute of Technology Madras, Chennai-600 036, India (2006)

Pada gambar 2 ditunjukkan suatu gelembung udara di dalam dielektrik cair yang berada dalam medan dielektrik. Volume gelembung udara (x_u) relatif sangat kecil dibanding volume dielektrik cair (x_1 dan x_2)



Gambar 2. *Partial discharge* isolasi cair

Jika medan dielektrik yang dihasilkan oleh dua elektroda piring sejajar yang luasnya tak berhingga, maka kuat medan elektrik pada setiap lapis dielektrik adalah:

$$E_n = \frac{V}{\epsilon_n \left(\frac{x_1}{\epsilon_1} + \frac{x_2}{\epsilon_2} + \dots + \frac{x_n}{\epsilon_n} \right)} \dots\dots\dots(3)$$

Di mana : V : beda tegangan di antara elektroda (V)

ε : konstanta dielektrik

x : tebal dielektrik

Jika dimisalkan konstanta dielektrik cair adalah 6 dan konstanta dielektrik udara adalah 1, maka kuat medan elektrik pada celah udara untuk susunan dielektrik gambar 2. adalah :

$$E_u = \frac{V}{\left(\frac{x_1}{6} + x_u + \frac{x_2}{6}\right)} = \frac{V}{\frac{x_1 + x_2}{6} + x_u} \dots\dots\dots(4)$$

karena x_u relatif sangat kecil dibandingkan tebal keseluruhan dielektrik cair (x_1+x_2), maka kuat medan dielektrik pada celah udara dapat ditulis sebagai berikut:

$$E_u = \frac{6V}{x_1 + x_2} \dots\dots\dots(5)$$

Dengan cara yang sama dapat dihitung kuat medan elektrik pada dielektrik cair, hasilnya adalah:

$$E_C = \frac{V}{x_1 + x_2} \dots\dots\dots(6)$$

Terlihat bahwa kuat medan elektrik pada celah udara 6 kali lebih besar dari pada kuat medan elektrik dielektrik cair. Sedang kekuatan dielektrik udara jauh lebih kecil dari kekuatan dielektrik cair. Jika kuat medan elektrik di celah udara melebihi kekuatan dielektrik udara, maka udara akan tembus listrik. Sementara itu dielektrik cair tidak mengalami tembus listrik, karena terpaan elektrik yang dialaminya masih di bawah kekuatan dielektriknya. Karena tembus elektrik hanya terjadi di celah udara , maka peristiwa ini disebut peluahan sebagian (*partial discharge*).

Berikut ini beberapa faktor yang mempengaruhi mekanisme peluahan sebagian pada isolasi cair yaitu :

1. Partikel

Ketidak murnian memegang peranan penting dalam peluahan sebagian isolasi. Partikel debu atau serat selulosa dari sekeliling dielektrik padat selalu tertinggal dalam cairan. Apabila diberikan suatu medan listrik maka partikel ini akan

terpolarisasi. Jika partikel ini memiliki permitivitas ϵ_2 yang lebih besar dari permitivitas carian ϵ_1 , suatu gaya akan terjadi pada partikel yang mengarahkannya ke daerah yang memiliki tekanan elektrik maksimum di antara elektroda-elektroda. Untuk partikel berbentuk bola (*sphere*) dengan jari jari r maka besar gaya F adalah :

$$F = \frac{1}{2} r^3 \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{2\epsilon_2 - \epsilon_1} \text{grad}E^2 \quad \dots\dots\dots(7)$$

Jika partikel tersebut lembab atau basah maka gaya ini makin kuat karena permitivitas air tinggi. Partikel yang lain akan tertarik ke daerah yang bertekanan tinggi hingga partikel partikel tersebut bertautan satu dengan lainnya karena adanya medan.

2. Air

Air yang dimaksud adalah berbeda dengan partikel yang lembab. Air sendiri akan ada dalam minyak yang sedang beroperasi atau dipakai. Namun demikian pada kondisi operasi normal, nilai kelembaban cenderung dibatasi hingga nilainya kurang dari 10 %. Medan listrik akan menyebabkan tetesan air yang tertahan di dalam minyak yang memanjang searah medan dan pada medan yang kritis, tetesan itu menjadi tidak stabil. Peluahan sebagian akan terjadi pada air yang memiliki sifat konduksi.

3. Gelembung

Pada gelembung dapat terbentuk kantung-kantung gas yang terdapat dalam lubang atau retakan permukaan elektroda, yang dengan penguraian molekul-molekul cairan menghasilkan gas atau dengan penguatan cairan lokal melalui emisi elektron dari ujung tajam katoda. Gaya elektrostatis sepanjang gelembung segera

terbentuk dan ketika kekuatan kegagalan gas lebih rendah dari cairan, maka di dalam gas sudah terjadi peluahan elektrik sedangkan isolasi cair masih dapat menahannya.

D. Elektroda Standard CIGRE

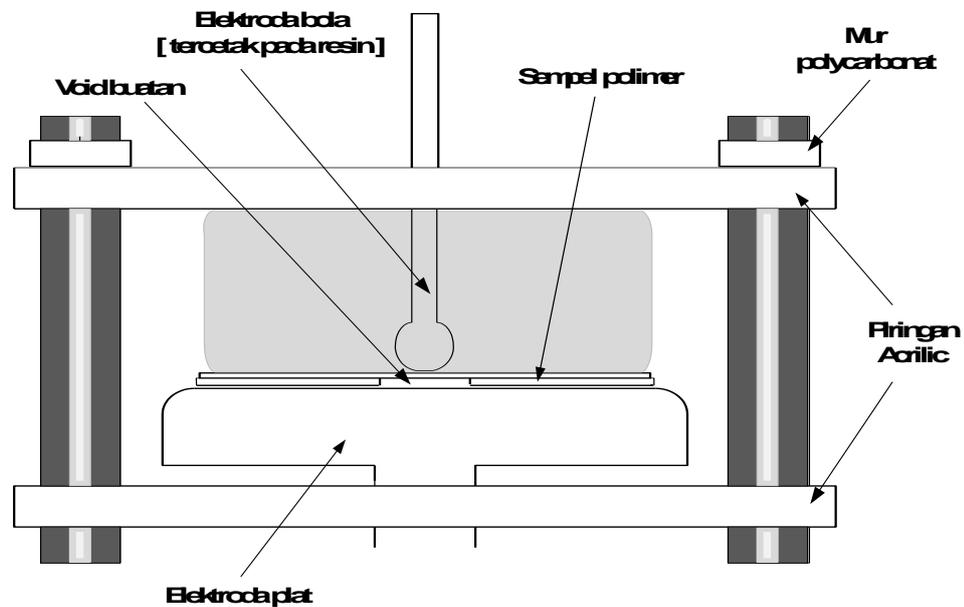
Sistem elektroda II CIGRE (*Conference Internationale Grand Reseaux Electriques*) adalah metodologi terkini untuk memperkirakan ketahanan material isolasi berbeda terhadap PD dengan penyebaran data eksperimen yang sedikit⁸⁾.

Sistem ini adalah pengembangan dari sistem elektroda I CIGRE dan dikarakteristikan dengan kelebihan sebagai berikut : ketahanan PD dari material dapat diperkirakan, menggunakan bahan percobaan berupa lembaran tipis, bermacam-macam material isolasi padat dapat diujicoba, pembuatan sel percobaan termasuk bahan uji relatif sederhana, secara geometris ruang *void* lebih besar 100 kali dibandingkan dengan sistem metoda I CIGRE, dan PD dikonsentrasikan dalam area yang tertentu dan akan berlanjut hingga kegagalan akhir tidak terpengaruh akan dinding sisi dari rongga.

Penggunaan sistem pengukuran metoda II CIGRE pada pengukuran *partial discharge* isolasi cair dimaksudkan untuk meniru kondisi minyak trafo pada aplikasinya dalam mengisolasi trafo. Elektroda bola pada sistem CIGRE II

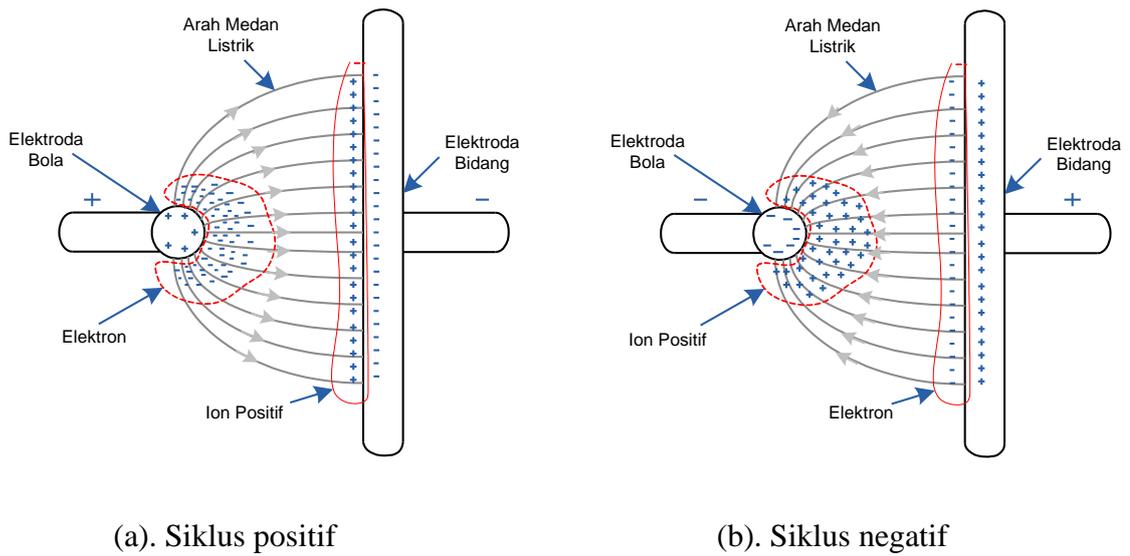
⁸⁾ Santoro, Karakteristik Peluahan Sebagian Pada Model Void Berdasarkan Fungsi Waktu Dalam Polyvinyl Chloride (PVC) Menggunakan Elektroda Metode II CIGRE, Tugas Akhir S-1, Universitas Diponegoro, Semarang (2007)

dimisalkan sebagai kawat belitan pada trafo yang memiliki tegangan yang sangat tinggi, sedangkan elektroda bidang dimisalkan sebagai *body* trafo.



Gambar 3. Sistem pengukuran metoda II CIGRE

Pada elektroda bola-bidang, medan listrik yang lebih besar berada pada elektroda bola. Apabila elektroda bola diberi potensial positif atau pada saat siklus positif gelombang sinusoidal, maka elektron akan berkumpul di sekitar elektroda bola sedangkan ion positif cenderung menyebar di sekitar elektroda bidang. Karena berkumpulnya elektron yang sangat rapat, maka peluahan atau loncatan elektron ke polaritas negatif akan lebih banyak. Sedangkan pada saat siklus negatif, ion positif yang akan berkumpul di sekitar elektroda bola sedangkan elektron cenderung menyebar di sekitar elektroda bidang. Sehingga menyebabkan elektron yang meluahkan cenderung lebih sedikit dibanding saat siklus positif. Gambaran arah medan listrik dan konsentrasi elektron terlihat seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Arah medan listrik dan konsentrasi muatan pada elektroda bola-bidang

E. Proses Pengolahan Pola Peluahan Sebagian

Matlab adalah sebuah bahasa dengan (*high-performance*) kinerja tinggi untuk komputasi masalah teknik. *Matlab* mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam suatu model yang sangat mudah untuk dipakai di mana masalah-masalah dan penyelesaiannya diekspresikan dalam notasi matematika yang familiar. Dalam lingkungan perguruan tinggi teknik, *Matlab* merupakan perangkat standar untuk memperkenalkan dan mengembangkan penyajian materi matematika, rekayasa dan kelimuan. Di industri, *Matlab* merupakan perangkat pilihan untuk penelitian dengan produktifitas yang tinggi.

Fitur-fitur *Matlab* sudah banyak dikembangkan, dan lebih kita kenal dengan nama *toolbox*. Sangat penting bagi seorang pengguna *Matlab*, *toolbox* mana yang mendukung untuk *learn* dan *apply* teknologi yang sedang dipelajarinya. *Toolbox*

ini merupakan kumpulan dari fungsi-fungsi *Matlab* (M-files) yang telah dikembangkan ke suatu lingkungan kerja *Matlab* untuk memecahkan masalah dalam kelas *particular*. Salah satu *toolbox* yang ada pada *matlab* adalah *wavelet*.

Wavelet adalah suatu *toolbox* dalam *matlab* yang digunakan untuk memproses dan menganalisa suatu sinyal. Dalam penelitian ini akan dipakai *tool wavelet* yang digunakan untuk menganalisis sinyal 1 dimensi. Dalam *toolbox wavelet 1-D* terdapat beberapa *tool* diantaranya *SWT De-noising 1-D*, *Density Estimation 1-D*, *Regression Estimation 1-D*, *Coefficients Selection* dan *Fractional Brownian Generation*.

De-Noising merupakan suatu *tool* yang digunakan dalam pemulihan sinyal dari data yang bercampur dengan noise. Data PD merupakan data yang terdiri dari pulsa luahan muatan dengan frekuensi yang tinggi yang dianggap sebagai noise, sehingga periodanya sangat pendek. *Discrete Wavelet Transform* (DWT) adalah suatu bagian dari proses *de-noising*. Kemampuan DWT dapat mentransformasikan suatu fungsi atau operator ke dalam komponen-komponen frekuensi yang berlainan, dan kemudian mengkaji setiap komponen dengan suatu resolusi yang sesuai dengan skalanya. Alasan yang paling mendasar mengapa digunakan DWT dalam menganalisis sinyal PD, bahwasanya hasil yang diharapkan setelah pengolahan data adalah titik – titik puncak tertinggi dari pulsa PD yang tersusun secara diskrit, DWT juga dapat menampilkan suatu sinyal dengan resolusi frekuensi tinggi dan resolusi waktu yang tinggi, resolusi frekuensi tinggi dan resolusi waktu yang rendah. Persamaan umum DWT dapat dituliskan sebagai berikut:

$$W(j,k) = \sum_j \sum_k x(k) 2^{-j^2} \psi(2^{-j} n - k) \dots\dots\dots (8)$$

Di mana, k adalah konstanta waktu *real* dari suatu fungsi energi terbatas dan j adalah konstanta waktu *immaginer* yang biasa disebut sebagai *mother wavelet*. Analisa DWT dapat dilakukan dengan cepat, yaitu dengan menggunakan algoritma berbentuk piramid yang biasa disebut dengan *multirate filterbanks*. Sebagai *filter bank*, DWT dapat dianggap sebagai tetapan Q dengan jarak yang teratur antara *center filter* dengan masing-masing *sub-band*⁹⁾. Dalam menganalisa data hasil penelitian, banyak *software* yang bisa digunakan sebagai *tool*, diantaranya dengan menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)*¹⁰⁾, dengan menggunakan *Lab-View*¹¹⁾ dan juga menggunakan *Transformasi Wavelet Diskrit*¹²⁾.

Wavelet pertama kali ditemukan oleh seorang ahli matematika dari Inggris yang bernama Alfred Haar. Transformasi *Wavelet (WT)* adalah suatu teknik untuk menganalisa suatu sinyal yang terus dikembangkan sebagai suatu alternatif dari penggunaan *Short Time Fourier Transform (STFT)* untuk menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan waktu dan frekuensi.

⁹⁾ Hewlerd , Packard, Partial Discharge Testing Decreasing The Field Failures of High Voltage Components, Silicon Valley, <http://www.ht-world.com/pdfs/PartialDischargePaper.pdf> (10 Oktober 2009)

¹⁰⁾ Sitorus, Henry.B.H, Karakteristik Partial Discharge Dan Rugi Dielektrik (Tan δ) Isolasi Belitan Motor Listrik Terimpregnasi, Thesis, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta. 93 hlm (2001)

¹¹⁾ A. Syakur, Pengukuran Partial Discharge pada Void Menggunakan Sistem Elektroda Metoda II Cigre, Thesis Magister Program Pascasarjana, ITB, Bandung (2002)

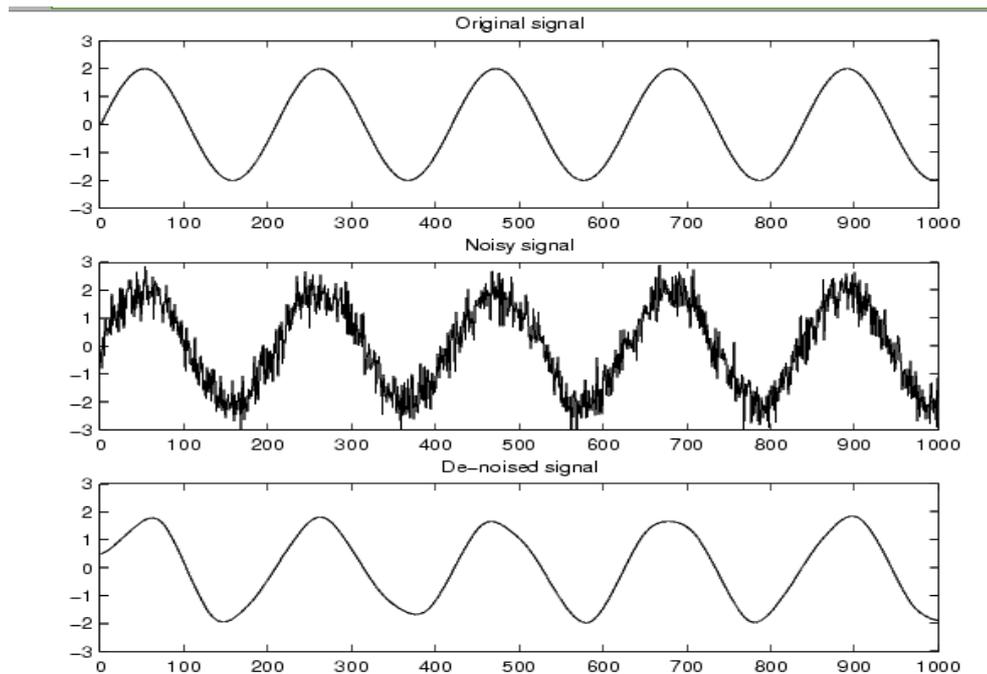
¹²⁾ Kundu, Prasanta dan A.K. Sinha, Classification of Acoustic Emission Based Partial Discharge in Oil Pressboard Insulation System Using Wavelet Analysis, International Journal of Electrical and Electronics Engineering (2008)

Kemampuan WT yang sangat menonjol yaitu dapat menampilkan resolusi yang lebih rinci, tidak sama dengan STFT yang hanya mampu menampilkan resolusi waktu seragam untuk semua sinyal¹³⁾.

Data PD merupakan data yang terdiri dari pulsa luahan muatan dengan frekuensi yang tinggi, Sehingga periodanya sangat pendek. Kemampuan DWT dapat mentransformasikan suatu fungsi atau operator ke dalam komponen-komponen frekuensi yang berlainan, dan kemudian mengkaji setiap komponen dengan suatu resolusi yang sesuai dengan skalanya.

Penggunaan DWT dalam menganalisa gelombang PD sebagai *tool* untuk menampilkan gelombang PD dari sinyal derau yang menyelimuti gelombang PD yang sebenarnya, maka bagian dari beberapa fungsi DWT yang akan diterapkan dalam penelitian ini adalah *SWT De-noising 1-D*, prinsip kerjanya adalah membandingkan gelombang derau dengan gelombang PD yang sebenarnya. Seperti contoh sederhana pada gambar 5 berikut:

¹³⁾ Edwards, T., 1991, Discrete Wavelet Transforms: Theory and Implementation. Stanford University, USA, <http://qss.stanford.edu/~godfrey/wavelets/wave paper.pdf> (10 Oktober 2009)



Gambar 5. Sebuah contoh *de-noising*

1. Pemodelan Dasar Satu-Dimensi

Pemodelan dasar untuk sinyal bercampur noise pada dasarnya adalah bentuk berikut:

$$s(n) = f(n) + \sigma e(n) \quad \dots\dots\dots (9)$$

Di mana n waktu mempunyai jarak yang sama.

Dalam model yang paling sederhana kita menganggap bahwa $e(n)$ adalah Gaussian kebisingan, $N(0,1)$ dan tingkat kebisingan σ seharusnya sama dengan 1. Tujuan *de-noising* adalah untuk menekan bagian noise dari sinyal dan mengembalikan f . Metode ini efisien untuk keluarga dari fungsi f yang hanya memiliki beberapa koefisien *wavelet* nol. Fungsi ini memiliki representasi *wavelet*

jarang. Misalnya, fungsi halus hampir di mana-mana, dengan hanya beberapa perubahan mendadak.

Dari sudut pandang statistik, model tersebut adalah model regresi dari waktu ke waktu dan metode ini dapat dilihat sebagai estimasi non-parametrik dari fungsi f dengan menggunakan dasar ortogonal.

2. Prosedur-prosedur De-noising

De-noising umumnya melibatkan tiga langkah dasar yang dijelaskan di bawah ini.

a. *Decompose*

Pilih *wavelet*, pilih tingkat N . Hitunglah *wavelet* dekomposisi sinyal s pada tingkat koefisien N .

b. *Threshold detail coefficients*

Untuk setiap tingkat dari 1 sampai N , pilih *threshold* dan menerapkan *thresholding* lunak untuk koefisien detail.

c. Merekonstruksi

Rekonstruksi *wavelet* dengan menggunakan pendekatan koefisien asli dari tingkat N dan koefisien detail diubah dari tingkat 1 sampai N . Dua poin yang harus diatasi adalah: bagaimana memilih ambang pintu, dan melakukan *thresholding* itu.

3. *Soft* atau *Hard Thresholding*

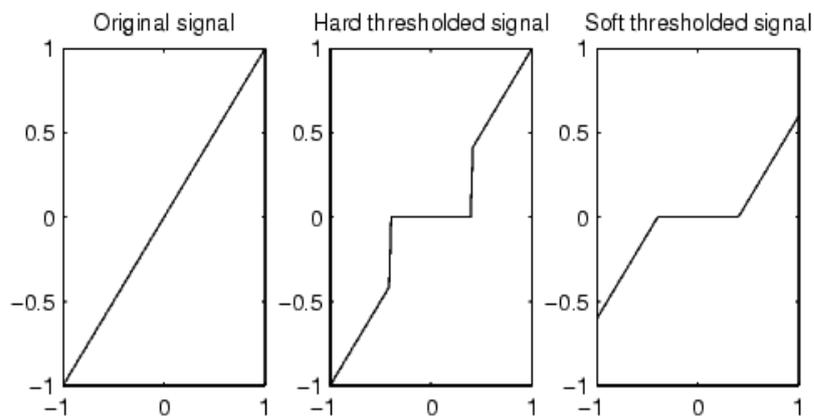
Thresholding dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi

```
yt = wthresh(y, sorh, thr)
```

Pengembalian *thresholding* lunak atau keras *y input*, tergantung pada pilihan *sorh*.

Hard thresholding adalah metode yang paling sederhana. *Soft thresholding* memiliki sifat matematika bagus dan hasil teoritis yang tersedia. Seperti contoh sederhana.

```
y = linspace(-1,1,100);
thr = 0.4;
ythard = wthresh(y, 'h', thr);
ytsoft = wthresh(y, 's', thr);
```



Gambar 6. *Thresholding hard* dan *soft* signal $s = x$

4. Operasi Matematika

Nilai absolut dapat diperoleh dengan *Syntax*

$$Y = \text{abs} (X)$$

Deskripsi $\text{abs} (X)$ mengembalikan sebuah *array* Y , sehingga setiap unsur Y adalah nilai absolut dari elemen yang sesuai dari X . Jika X adalah kompleks, $\text{abs} (X)$ mengembalikan modulus kompleks (besar), yang sama seperti $\sqrt{\text{real} (X)^2 + \text{imag} (X)^2}$.

5. Analisis Residual

Dalam pemodelan, sumber kebisingan $e (t)$ merupakan bagian dari *output* model yang tidak dapat mereproduksi. Hal ini memberikan "*left-over*" atau, dalam bahasa Latin, residunya. Untuk model yang baik, *residual* harus independen dari *input*. Jika tidak, akan ada lebih dalam output yang berasal dari masukan.

Untuk menguji ini, fungsi *cross-korelasi* antara *input* dan residu dihitung dengan memilih *View Model residual*. Untuk model yang ideal fungsi korelasi harus berada sepenuhnya di antara garis positif *lags*. Jika, misalnya, ada puncak di luar wilayah k lag, ini berarti bahwa ada sesuatu di *output* $y (t)$ yang berasal dari $u (tk)$ dan yang belum implementasikan oleh model. Tes ini dilakukan dengan menggunakan data validasi. Nilai *residual* harus saling *independen*. Pemodelan yang paling sederhana dari nilai residu adalah nilai awal dikurangkan dengan nilai hasil. Pemodelan ini yang digunakan *SWT De-noising 1-D* dalam mengambil nilai *residual*.