

Analisis Karakteristik Gangguan Hubung Singkat Antar Belitan Transformator Menggunakan Transformasi Wavelet Diskrit

Herman H Sinaga¹, Henry B. H. Sitorus¹, Risky²

1. Staf Pengajar Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung
Jl.Prof.Dr. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung
2. P.T. Budi Acid Jaya, Jl. Raya Way Abung km. 105 Gunung Batin Lampung Tengah

Abstrak--Gangguan transien dapat terjadi pada transformator dalam suatu sistem tenaga. Hal ini dapat terjadi akibat gangguan eksternal maupun gangguan internal. Gangguan dapat terjadi akibat terjadinya gangguan hubung singkat antar belitan transformator. Gangguan hubung singkat anatar belitan dapat memicu terjadinya kerusakan fatal pada transformator. Sehingga dibutuhkan pendeteksian gangguan hubung singkat antar belitan pada transformator. Pengujian dilakukan dengan menggunakan sebuah transformator step up 220/500 volt dengan 5 tap pada primer dan 10 tap pada sekunder. Tiap tap pada sisi primer dan sekunder dihubungsingkatkan untuk menirukan gangguan antar belitan pada transformator. Pada sisi sekunder dihubungkan dengan beban yang juga di beri tap sebanyak 10 tap untuk menirukan gangguan hubung singkat pada beban. Pengukuran dilakukan pada kedua sisi dan hasil pengukuran dianalisis dengan menggunakan analisis transformasi wavelet. Hasil pengujian memperlihatkan hasil pengukuran pada sisi sekunder memberikan hasil dekomposisi wavelet yang lebih mudah untuk membedakan keadaan gangguan hubung singkat antar belitan dengan gangguan hubung singkat pada beban. Dengan menggunakan analisis wavelet gangguan hubung singkat dapat diketahui dengan adanya spike yang dihasilkan.

Kata kunci : transformasi wavelet, gangguan hubung singkat, komposisi wavelet

Abstract—*Transient fault could occur on transformer in power system. This is could be because of internal fault or external fault. Disturbance could be because of short circuit between winding of transformer or because of short circuit on load. Short circuit on transformer winding could lead to catastrophic failure of transformer. So it's needed to detect short circuit*

between winding on transformer before it breakdown. On this paper discussed experiment using a step transformer 220/500 volt with 5 tap on primer side and 10 tap on secondary side. Each tap on primary and secondary side is connected to simulated short circuit evidence in transformer winding. The transformer connected to resistif load that have 10 tap to simulated short circuit on load side. Measurements conduct on both side and analysis done using wavelet transformation analysis. Experiment result shows measurement result on secondary side gave wavelet decomposition that easier to discriminate fault result from normal condition. Fault condition could be known from spike that's occurs on wavelet decomposition.

Keywords : wavelet transformation, short circuit fault, wavelet decomposition

A. Pendahuluan

Gangguan hubung singkat yang terjadi pada sebuah transformator dapat mengakibatkan kerusakan pada isolasi transformator sehingga dapat berpotensi terjadinya kerusakan pada transformator. Hal ini disebabkan karena arus yang mengalir pada belitan transformator saat terjadi hubung singkat sangat besar. Untuk itu perlu diketahui perbedaan antara keadaan transformator dalam keadaan normal dan keadaan transformator saat terhubung singkat.

Keadaan transformator yang terhubung singkat akan mengakibatkan kondisi gangguan yang bersifat transien. Begitu pula ketika proses pensaklaran akibat perubahan beban, baik saat penambahan beban maupun ketika pelepasan beban akan dirasakan efek gangguan pada transformator. Oleh sebab itu, penelitian

Naskah ini diterima pada tanggal 28 September 2007, direvisi pada tanggal 3 Nopember 2007 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 1 Desember 2007

ini akan menganalisis peristiwa hubung singkat pada belitan transformator, analisis terhadap proses pensaklaran akibat perubahan pembebanan Data untuk menganalisis gangguan diambil berdasarkan hasil pengujian terhadap transformator tap *step-up* yang memiliki beberapa tap tegangan pada sisi primer dan sekundernya.

Metode yang digunakan untuk menganalisis data dari kedua keadaan tersebut adalah metode transformasi wavelet dengan bantuan program Matlab. Hal ini dilakukan karena transformasi wavelet memberikan analisis keadaan yang lebih jelas yang tak terlihat hanya dengan menggunakan osiloskop saja. Analisis transformasi wavelet dilakukan untuk mendapatkan karakterisasi gangguan hubung singkat dan gangguan pensaklaran perubahan beban.

B. Teori Dasar

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. Jika transformator menerima energi pada tegangan rendah dan mengubahnya menjadi tegangan yang lebih tinggi, ia disebut transformator penaik (*step-up*). Jika transformator diberi energi pada tegangan tertentu dan mengubahnya menjadi tegangan yang lebih rendah, ia disebut transformator penurun (*step-down*). Setiap transformator dapat dioperasikan baik sebagai transformator penaik maupun penurun, tetapi transformator yang memang dirancang untuk suatu tegangan harus digunakan untuk tegangan tersebut.

Dalam keadaan tertentu, transformator dapat mengalami gangguan salah satu jenis gangguan yang mungkin adalah gangguan

hubung singkat pada belitan transformator. Saat terjadi gangguan hubung singkat pada belitan transformator, maka tegangan dan arus akan berubah. Tegangan dan arus juga dapat berubah jika terjadi pelepasan beban transformator. Kondisi gangguan hubung singkat pada transformator harus cepat diketahui untuk mencegah terjadinya breakdown atau kerusakan total pada transformator. Juga, harus dapat dibedakan antara gangguan hubung singkat antar belitan pada transformator dengan perubahan tegangan dan arus akibat pelepasan beban.

Transformasi Wavelet (Wavelet Transform)

Transformasi Fourier Short Time atau Windowed.

Istilah $w(t)$ dari *Short Time Fourier Transform / STFT* adalah fungsi window dimana dalam secara sederhana telah dipakai pada transformasi Fourier. Window ini kemudian ditampilkan pada sumbu waktu. Besarnya window ini memberikan sebuah interval waktu yang mana memuat informasi tentang besarnya frekuensi. Walaupun tidak mungkin untuk mengetahui frekuensi yang tepat, STFT memberikan pengetahuan tentang batas maksimal dari yang mereka dapatkan. STFT merupakan alat yang hebat untuk menganalisis sinyal yang tidak tetap, tapi sekarang memiliki masalah baru yaitu seberapa luas penggunaan window? Meskipun SFTF menjadi sebuah kemajuan dari transformasi Fourier tapi STFT masih memiliki kelemahan. Kemudian muncul teori tentang wavelet.

Transformasi Wavelet Kontinu (Continuous Wavelet Transform/ CWT)

Wavelet merupakan sebuah fungsi yang pemakaiannya secara khusus yaitu sebagai fungsi basis atau fungsi dasar untuk dekomposisi sebuah sinyal. Wavelet induk merupakan dasar dari wavelet yang lain

dan merupakan operasi dari penskalaan dan translasi untuk mendapatkan wavelet anak.

Transformasi Wavelet Kontinu:

$$\gamma(s,\tau) = \int f(t)\psi_{s,\tau}^*(t) dt \tag{1}$$

Invers transformasi Wavelet Kontinu: $f(t) =$

$$\iint \gamma(s,\tau) \psi_{s,\tau}(t) d\tau ds \tag{2}$$

Wavelet Induk:

$$\psi_{s,\tau}(t) = 1 / (\sqrt{s}) \psi(t - \tau / s), \tag{3}$$

s dan τ menunjukkan faktor penskalaan dan translasi.

Sebuah fungsi wavelet harus memiliki syarat fungsi tersebut. Perkalian integral dari transformasi Fourier pada wavelet harus dibatasi. Ini juga menunjukkan bahwa wavelet tidak dapat menganalisis komponen-komponen DC dan ini berarti tidak ada analisis pada frekuensi nol. Kondisi yang dihasilkan:

$$\int (|\psi(\omega)|^2 / |\omega|) d\omega < \pm \infty \tag{4}$$

$$|\psi(\omega)|^2 |_{\omega=0} = 0 \tag{5}$$

$$\int \psi(t) dt = 0 \tag{6}$$

Kondisi tersebut menjadi momen yang hilang dan terjadi sangat cepat sehingga terlewatkan pada wavelet. Hal ini memberikan banyaknya koefisien-koefisien dari fungsi perkalian yang terus menerus.

Analisis Transformasi Wavelet Diskrit / DWT.

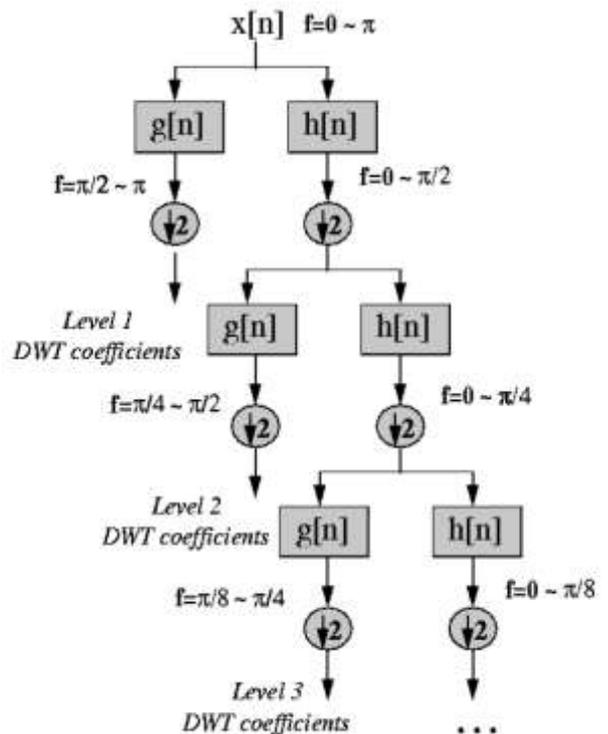
DWT mempunyai 2 fungsi yaitu fungsi penskalaan dan fungsi wavelet dimana ini merupakan penyatuan antara filter frekuensi rendah dan filter frekuensi tinggi. Sinyal asli $x[n]$ dilewatkan melalui filter setengah frekuensi tinggi $g[n]$ dan setengah frekuensi rendah $h[n]$. Setelah itu sinyal menjadi 2 bagian yaitu sinyal frekuensi rendah dengan frekuensi $0 \sim \pi/2$ dan sinyal frekuensi tinggi dengan frekuensi $\pi/2 \sim \pi$. Ini adalah tingkat pertama dari analisis

DWT. Proses matematika adalah sebagai berikut :

$$y_{high}[k] = \sum_n x[n] \cdot g[2k - n] \tag{7}$$

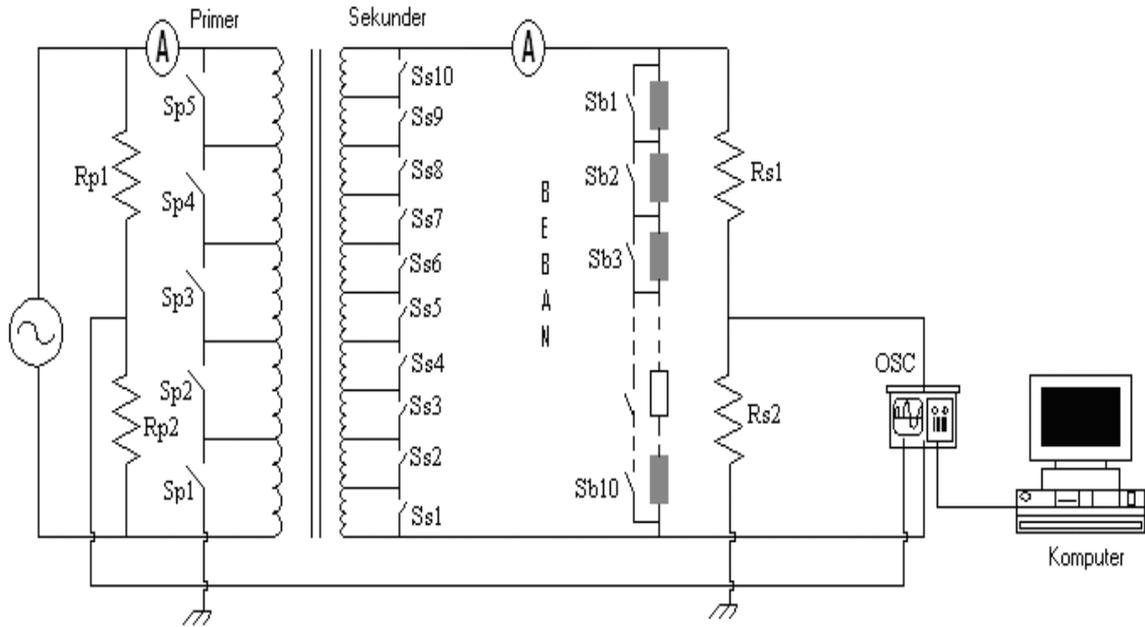
$$y_{low}[k] = \sum_n x[n] \cdot h[2k - n]$$

di mana $y_{high}[k]$ dan $y_{low}[k]$ adalah keluaran dari filter frekuensi tinggi dan filter frekuensi rendah.



Gambar 1 Algoritma Pengkodean Setengah

Dekomposisi pada tingkat pertama sinyal dilepaskan melewati filter frekuensi tinggi dan rendah yaitu melewati 2 buah sampling. Menghasilkan keluaran dari filter frekuensi tinggi sebanyak 256 titik (menghasilkan 1/2 resolusi waktu) dengan frekuensi $\pi/2$ hingga π rad/s (menghasilkan 2 kali resolusi frekuensi). Ini adalah 256 contoh titik yang didapatkan pada koefisien DWT tingkat pertama. Keluaran dari filter frekuensi rendah juga mempunyai 256 titik tapi ini akan menjadi 1/2 frekuensi anak-anak (dengan frekuensi 0



Gambar 2. Rangkaian Pengujian Transformator

hingga $\pi/2$ rad/s) sampai dengan untuk diproses selanjutnya di tingkat 2. sinyal ini kemudian dilepaskan melewati filter frekuensi rendah dan filter frekuensi tinggi yang sama untuk proses dekomposisi berikutnya. Keluaran kedua dari filter frekuensi rendah oleh subsampling adalah 128 contoh dengan frekuensi 0 sampai dengan $\pi/4$ rad/s dan keluaran kedua dari filter frekuensi tinggi oleh subsampling juga sebanyak 128 contoh dengan frekuensi mulai dari $\pi/4$ hingga $\pi/2$ rad/s. Sinyal keluaran kedua dari filter frekuensi tinggi merupakan koefisien DWT tingkat kedua. Sinyal ini merupakan $1/2$ resolusi waktu tapi 2 kali resolusi frekuensi dari sinyal tingkat pertama. Resolusi waktu semakin kecil pada tingkat 4 dan resolusi frekuensi semakin naik dari sinyal yang asli. Keluaran dari filter frekuensi rendah kemudian difilter sekali lagi untuk proses dekomposisi berikutnya. Proses ini terus berlanjut hingga didapatkan 2 contoh. Untuk lebih jelasnya, dekomposisi dapat dilakukan hingga 8 tingkat dan banyaknya contoh setiap tingkat adalah $1/2$ dari tingkat berikutnya.

C. Metode Penelitian

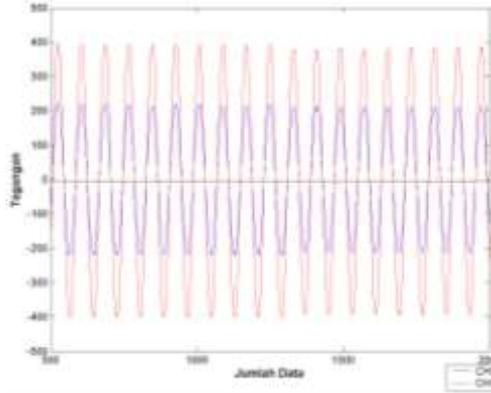
Makalah ini membahas karakteristik gangguan hubung singkat pada transformator. Pengujian dilakukan dengan membuat sebuah transformator 220/500 volt, 250 VA, dengan frekwensi kerja 50 Hz. Transformator dibuat sedemikian sehingga memiliki 5 buah tap pada sisi primer dan 10 tap pada sisi sekunder. Gangguan hubung singkat di tirukan dengan menghubungkan antar tap yng menirukan gangguan antar belitan dalam sebuah transformator. Rangkaian pengujian seperti ditunjukkan dalam gambar 2. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan sebuah osiloskop dan dihubungkan dengan satu unit personal komputer menggunakan hubungan serial. Hasil pengujian disimpan dalam format text sehingga dapat dengan mudah di olah menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan metode analisis wavelt diskrit.

D. Hasil Dan Pembahasan

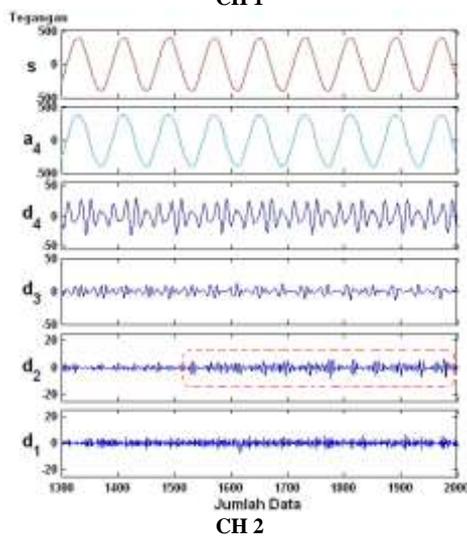
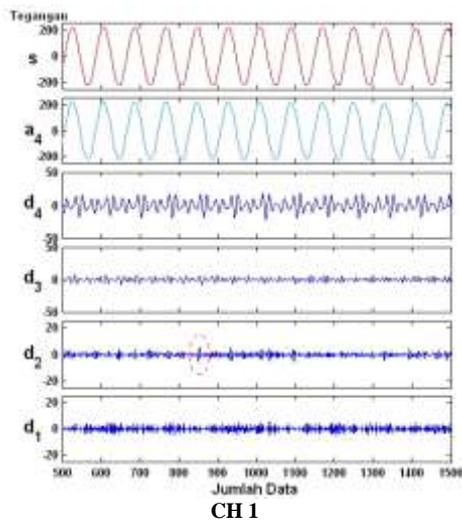
Pengujian Pada Belitan Primer

Data hasil pengujian ini merupakan data hasil pengujian gangguan hubung singkat

yang terjadi pada belitan primer antara belitan pertama dan kedua (Sp1) dengan beban normal sebesar 250 watt. Berikut ini adalah gambar tipikal tegangan ketika terjadi hubung singkat antar belitan:

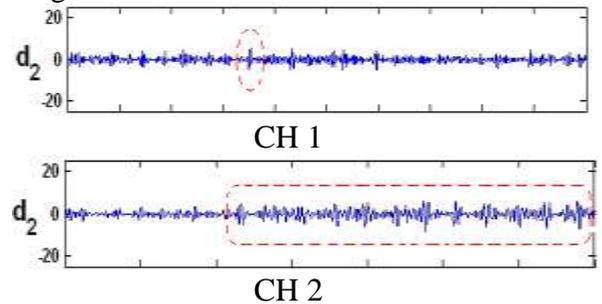


Gambar 3(a). Tegangan Hubung Singkat pada Belitan Primer



Gambar 3(b). Dekomposisi Tegangan Hubung Singkat pada Belitan Primer

Gambar 3(b) merupakan gambar tegangan hasil analisis menggunakan wavelet saat terjadi hubung singkat antar belitan pertama dan kedua pada sisi primer transformator. Sinyal tegangan pada terminal primer dan sekunder mengalami penurunan saat Sp1 dan Sp2 pada rangkaian pengujian di hubung singkat. Penurunan tegangan yang terjadi sangat kecil sekitar 10% nominalnya. Kedua tegangan ini kemudian di analisis dengan menggunakan analisis wavelet untuk mendekomposisi sinyal tegangan dalam skala dan translasi yang berbeda-beda. Hasil analisis memperlihatkan gangguan pada lokasi data ke 1500 dan lokasi gangguan hasil analisis wavelet ini bersesuaian dengan tegangan yang diukur pada gambar 3(a). Namun masih sangat sulit untuk membedakan antara kondisi tegangan terganggu dengan tegangan normalnya, karena perbedaannya yang sangat kecil.



Gambar 3(c). Ripple hasil dekomposisi Sinyal Wavelet

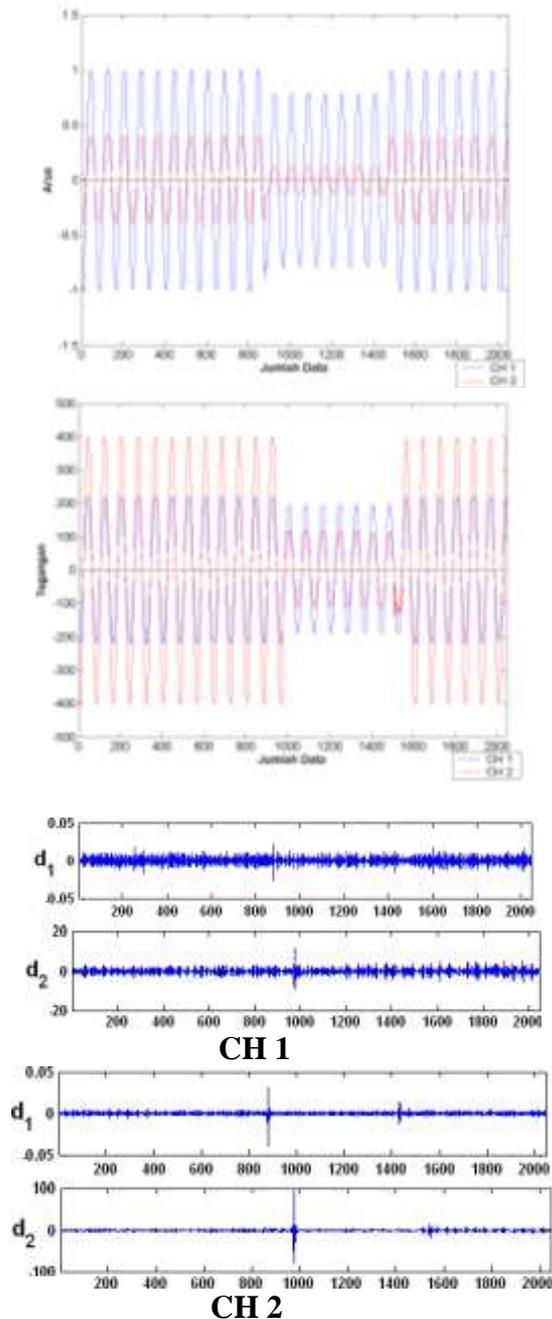
Pada CH 1 ripple tegangan ditunjukkan oleh garis merah melingkar yang terlihat antara data ke-800 dan data ke-900. Sedangkan pada CH 2 ripple tegangan ditunjukkan oleh garis melingkar berwarna merah di sepanjang sinyal mulai dari data ke-1500 sampai data ke-2000.

Berdasarkan hasil analisis arus dan tegangan diatas dapat disimpulkan bahwa tidak semua hubung singkat yang terjadi dibelitan primer akan menimbulkan gangguan pada tranformator. Dan tidak

semua gangguan hubung singkat dapat terdeteksi menggunakan wavelet.

Pengujian pada Belitan Sekunder

Berikut di tampilkan saat tap 10 (Ss10) pada transformator dihubung-singkatkan, yang dilakukan untuk waktu yang sangat cepat beban diset pada nilai nominal 250 VA.



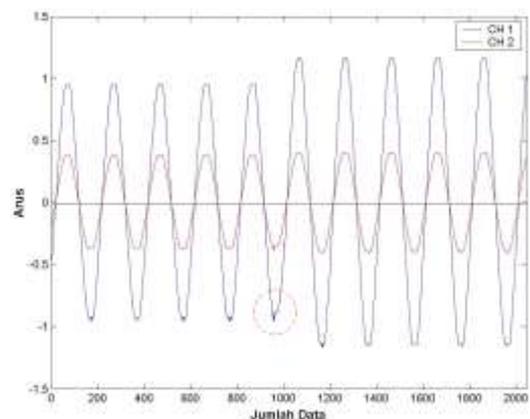
Gambar 4. Sinyal Hubung Singkat pada Ss10

Tegangan yang dihubung singkat oleh Ss1 adalah antara 0 volt dan 75 volt sedangkan tegangan yang dihubung singkat oleh saklar Ss10 adalah antara 490 volt dan 500 volt. Hasil pengukuran arus memperlihatkan penurunan magnitude arus saat saklar di hubungkan dan naik kembali menjadi normal saat dilepas. Dari hasil pengukuran arus hampir tidak terlihat adanya gangguan kecuali penurunan besar magnitudenya, namun hasil analisis wavelet dapat memperlihatkan dengan jelas adanya spike saat terjadinya perubahan magnitude arusnya. Hal yang sama juga dapat dilihat dari hasil pengukuran tegangannya.

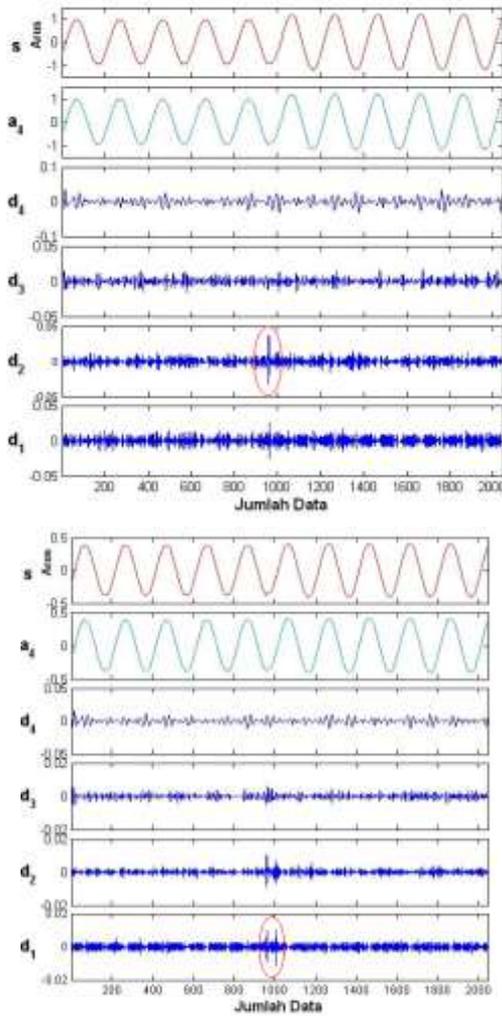
Gangguan Hubung Singkat Akibat Pensaklaran Pelepasan Beban

Analisis pengujian hubung singkat akibat proses pensaklaran pelepasan beban ini dilakukan pada sinyal tegangan dan arus transformator baik pada sisi primer maupun pada sisi sekundernya.

Sinyal tipikal arus gangguan ditunjukkan seperti pada gambar 5 ditandai dengan menaiknya arus secara tiba-tiba dengan keadaan transient saat terjadinya pelepasan beban yang ditunjukkan dengan adanya ripple sesaat. Dalam gambar 5 diperlihatkan pada data ke-800 dan data ke-1000.

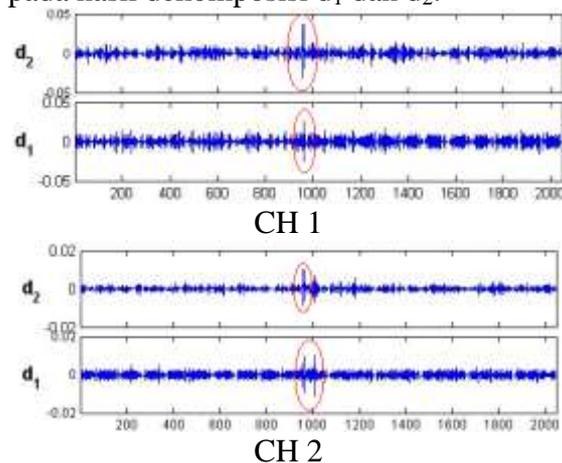


Gambar 5(a). Arus Pensaklaran saat Pelepasan Beban



Gambar 5(b). Analisis Arus Pensaklaran saat Pelepasan Beban

Gambar 5(b) merupakan gambar hasil analisis sinyal dimana gangguan terdeteksi pada hasil dekomposisi d_1 dan d_2 .



Gambar 5(c). Spike saat Pelepasan Beban

Hasil dekomposisi wavelet memperlihatkan pelepasan beban menghasilkan spike yang hampir sama dengan keadaan gangguan hubung singkat pada belitan transformator.

Dari gambar arus dan tegangan pensaklaran diatas dapat disimpulkan bahwa pelepasan beban dapat menyebabkan gangguan transien akibat proses pensaklaran dan dapat mempengaruhi sinyal tegangan dan arus ke beban.

Perbedaan jenis gangguan hubung singkat pada belitan dan hubung singkat yang disebabkan oleh proses pensaklaran perubahan beban dapat dilihat pada keadaan sinyal tegangan setelah terjadi gangguan. Lebih jelas dapat dilihat pada perubahan sinyal tegangannya dimana jenis gangguan hubung singkat yang terjadi di belitan selalu menyebabkan drop tegangan selama terjadi hubung singkat dan semakin besar tegangan hubung singkat di belitan maka semakin besar transien tegangan yang dihasilkan. Sedangkan sinyal tegangan hubung singkat akibat pensaklaran perubahan beban tergantung pada jenis perubahan beban dan besarnya perubahan beban.

Hasil dekomposisi wavelet memperlihatkan gangguan lebih mudah diamati pada pengukuran di sisi sekunder daripada hasil pengukuran pada sisi primer. Hal ini mungkin terjadi karena pada sisi sekunder magnitude tegangan lebih besar dibandingkan pada sisi primer.

Namun hasil dekomposisi wavelet untuk kedua jenis gangguan, yakni gangguan hubung singkat pada belitan dan gangguan ubung singkat pada beban tidak menunjukkan perbedaan yang berarti. Sehingga analisis belum mampu mendeteksi perbedaan kedua jenis gangguan.

Berdasarkan semua hasil pengujian dan analisis gangguan yang telah dipaparkan diatas ternyata tidak bisa dibedakan antara jenis gangguan akibat hubung singkat yang terjadi antar belitan dan jenis gangguan akibat pensaklaran beban. Karena karakteristik hasil analisis wavelet terhadap kedua jenis gangguan tersebut hampir sama sehingga sulit untuk membedakannya. Namun analisis wavelet ini sangat mudah sekali untuk membedakan keadaan normal dan keadaan saat terjadi gangguan.

E. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pendeteksian gangguan akibat hubung singkat antar belitan dan pensaklaran pelepasan dapat dilakukan dengan pengukuran tegangan dan arus pada sisi primer dan sekunder transformator.
2. Analisis wavelet dapat memperlihatkan lokasi waktu gangguan yang ditunjukkan dari hasil dekomposisi sinyal tegangan dan arus, yang ditunjukkan dengan adanya spike pada sinyal dekomposisi dan membedakannya dengan sinyal tegangan dan arus normal.
3. Hasil pengukuran pada sisi sekunder menghasilkan dekomposisi wavelet yang lebih baik untuk menentukan adanya gangguan akibat hubung singkat dan pelepasan beban.
4. Hasil analisis wavelet belum dapat membedakan gangguan hubung singkat dengan gangguan pelepasan beban.

Saran

Pengujian dapat dilanjutkan untuk jenis gangguan mula (*incipient fault*) pada isolasi. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui perbedaan antara kerusakan mula dengan hubung singkat dan gangguan perubahan beban.

Daftar Pustaka

- [1] Karen L. Butler-Purry, dan Mustafa Bagriyanik., 2003, "*Characterization of Transients in Transformers Using Discrete Wavelet Transforms*". IEEE Transactions On Power System, Vol.18, No. 2, Mei 2003.
- [2] Karen L. Butler-Purry, dan Mustafa Bagriyanik., 2002, "*Identifying Transformer Incipient Events for Maintaining Distribution System Reliability*". Proceedings of the 36th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'03), 2002.
- [3] Karen L, Butler dan Adedayo Kuforiji. , 2001, "*Experimental Results from Short-Circuit Faults on a Distribution Transformer*". IEEE. 2001
- [4] Polikar, Robby. 1996, *The Wavelet Tutorial. Part III Multiresolution Analysis & The Continuous Wavelet Transform*. Dept. of Electrical and Computer Engineering, Rowan University. 1996.
- [5] Polikar, Robby. 1996, *The Wavelet Tutorial. Part IV Multiresolution Analysis The Discrete Wavelet Transform*. Dept. of Electrical and Computer Engineering, Rowan University. 1996.