

Teknik Proteksi Diferensial Transformator Daya Tiga Fasa Menggunakan Transformasi Wavelet

Candra Reza¹, Wasimudin Surya S², Maman Somantri²

¹Mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

²Staf Pengajar Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

Abstrak — Penelitian ini membahas teknik proteksi diferensial pada transformator daya tiga fasa dengan menggunakan transformasi wavelet. Transformasi wavelet digunakan untuk memperoleh karakteristik arus gangguan pada transformator daya. Dengan mengetahui karakteristik arus gangguan antara sinyal gangguan di sisi primer dan di sisi sekunder transformator daya, teknik ini mampu membedakan jenis gangguan dalam (*internal fault*) dan gangguan luar (*eksternal fault*) serta arus *magnetizing inrush*.

Teknik proteksi ini menggunakan arus dari setiap fasa sebagai besaran listrik yang dianalisis. Teknik ini diujicobakan dan dievaluasi dengan menggunakan *Matlab/SIMULINK* untuk berbagai jenis gangguan meliputi gangguan tiga fasa, dua fasa, dan satu fasa ke tanah. Evaluasi juga dilakukan untuk memperhitungkan pengaruh saturasi trafo arus (CT), pengaruh hubungan belitan transformator, dan pengaruh tahanan gangguan dan tahanan tanah. Hasil simulasi yang dilakukan menunjukkan bahwa hubungan belitan, tahanan gangguan, dan tahanan tanah tidak berpengaruh terhadap selektivitas, respon kecepatan relai, dan nilai batas ambang (*threshold*) atau setting relai.

Kata Kunci — Proteksi Transformator, Relai Proteksi, Transformasi Wavelet

I. PENDAHULUAN

Analisis gangguan pada sistem tenaga listrik sangat penting, mengingat gangguan dapat terjadi kapan dan dimana pun sehingga memerlukan proteksi yang maksimal terhadap setiap gangguan yang terjadi. Pada kenyataannya terdapat banyak sekali gangguan yang terjadi, salah satunya adalah gangguan hubung singkat serta gangguan lainnya berupa pembebanan berlebih yang dapat merusak peralatan maupun gangguan luar dari alam contohnya petir.

Peralatan proteksi merupakan komponen penting dalam sistem tenaga listrik yang berguna untuk mendeteksi dan mengisolasi adanya gangguan. Skema proteksi yang tepat haruslah dipilih sedemikian sehingga menghasilkan keamanan operasi peralatan sistem tenaga dan menjaga keandalan pada sistem secara keseluruhan (Attapol, 2006).

Metode yang umumnya digunakan untuk proteksi diferensial pada transformator daya adalah dengan melakukan pengukuran arus diferensial antara sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah. Apabila amplitudo arus diferensial melebihi ambang batas yang ditentukan maka relai akan mendeteksi gangguan dan

segera bekerja untuk melindungi transformator dari kerusakan yang parah serta menjaga sistem agar tetap stabil. Pada sistem proteksi diferensial ada dua komponen utama, yaitu : *operating coil* dan *restraint coil*.

Transformasi wavelet dalam beberapa tahun terakhir ini banyak digunakan untuk mengetahui sinyal transien yang bertujuan untuk mengetahui informasi yang berada pada domain frekuensi dan domain waktu (Mario, 2010). Transformasi ini bertujuan untuk menganalisis fenomena sinyal transien pada transformator daya untuk membedakan arus *inrush* dan arus normal dari arus gangguan.

Transformasi wavelet sudah banyak digunakan pada berbagai aplikasi, termasuk juga pada aplikasi sistem tenaga. Aplikasi wavelet pada sistem tenaga sangat banyak diaplikasikan pada analisa dan deteksi transien elektromagnetik, pengukuran kualitas daya, kompresi data (Efrina, 2002) dan deteksi gangguan (Sendilkumar, 2010). Wavelet juga telah digunakan pada proteksi diferensial (*differential protection*) trafo daya untuk mendeteksi sinyal gangguan pada arus sekaligus mengetahui harmonik dari sinyal tersebut lalu diolah menggunakan transformasi wavelet packet (TWP) sebagai proteksi berarah (*directional protection*) pada transformator daya (Adel). Teknik yang digunakan menggunakan dua buah besaran listrik, yaitu sinyal arus gangguan dan sinyal tegangan sebelum gangguan sebagai sinyal arah.

II. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan Software Matlab Simulink untuk menghasilkan data gangguan hubung singkat pada jaringan sistem tenaga listrik di daerah sekitar transformator daya. Transformator yang digunakan memiliki spesifikasi 13.8/150 kV hubungan Y/ serta frekuensi 50 Hertz. Titik netral dari hubungan Y diketanahkan. Parameter sumber pada sisi tegangan rendah transformator adalah 0.5 GVA dan pada sisi tegangan tinggi setelah saluran transmisi adalah 1.5 GVA. Panjang saluran transmisi adalah 50 Kilometer.

1. Parameter sumber :

Generator G1 : 0.5 GVA, 13.8kV, X/R = 5

Generator G2 : 1.5 GVA, 150 kV, X/R = 5

2. Parameter transformator daya :

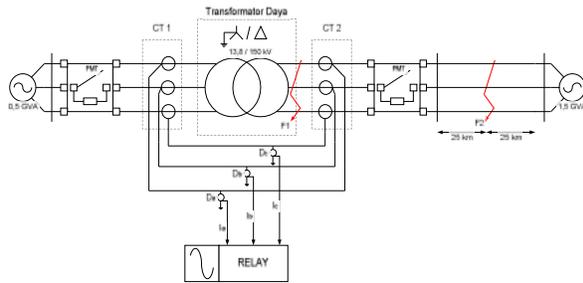
50 MVA, 3 fasa, 13.8/150 kV, Yg/ solid grounding

Kumparan primer : R = 0.002 pu, X = 0.08 pu

Kumparan sekunder : R = 0.002 pu, X = 0.08 pu

Impedansi Magnetisasi : Rm = 500 pu, Lm = 500 pu

- Parameter saluran transmisi :
 $R1 = 0.001273 \text{ } \Omega/\text{km}$; $R0 = 0.3864 \text{ } \Omega/\text{km}$
 $L1 = 0.00293 \text{ H/km}$; $L0 = 0.00413 \text{ H/km}$
 $C1 = 0.012 \text{ } \mu\text{F/km}$; $C0 = 0.007 \text{ } \mu\text{F/km}$
- Resistansi tanah dan resistansi gangguan :
Resistansi gangguan (R_f) = { 0.01 ; 5 ; 20 ; 50 ohm }
Resistansi tanah (R_g) = 5 ohm



Gambar 1. Diagram Satu Garis Transformator Daya dengan Proteksi Diferensial

Algoritma dari metode proteksi ini secara umum dapat dituliskan sebagai berikut :

- Langkah pertama, data yang diperoleh berupa sinyal arus dari transformator daya dari terminal arus trafo arus.
- Langkah kedua, mengolah data sinyal arus dari sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah menjadi sinyal kompleks dengan transformasi Wavelet Paket.
- Langkah ketiga, membandingkan sinyal output pada kedua sisi dengan menggunakan perbandingan arus biasa.
- Langkah keempat, menentukan sinyal trip relay.

Algoritma tersebut dirancang pada program Matlab Simulink dimana data input berupa arus dari saluran tenaga listrik akan diolah. Output yang dihasilkan akan ditampilkan berupa sinyal-sinyal yang akan menentukan besarnya arus yang keluar pada trafo arus tegangan rendah dan trafo arus tegangan tinggi, yang kemudian kita akan membandingkannya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

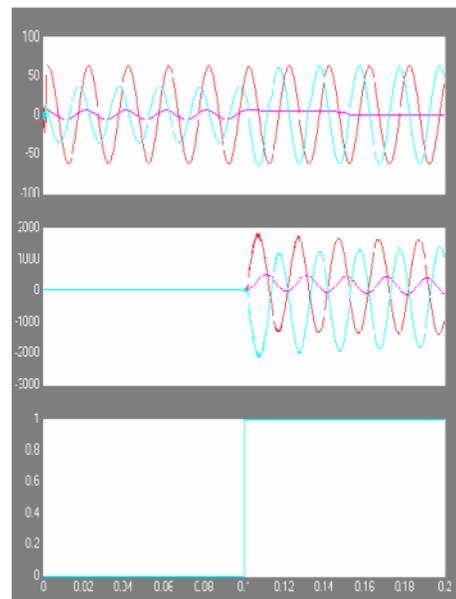
Hasil simulasi yang akan diperoleh merupakan hasil dari evaluasi metoda penggunaan transformasi wavelet pada proteksi transformator daya dengan pengaruh dari parameter-parameter yang berubah-ubah, masing-masing meliputi beberapa macam gangguan. Parameter-parameter yang diubah diantaranya yaitu :

- Resistansi gangguan, meliputi nilai R_f yang diubah yaitu 0.01, 5, 20, 50 (dalam ohm) masing-masing dengan resistansi tahanan tanah tetap ($R_g = 5 \text{ ohm}$).
- Belitan pada transformator daya tiga fasa, meliputi hubungan Y_g - dan $- Y_g$.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut :

- Pada keadaan temperatur yang tetap, dengan semakin bertambahnya jarak sela elektroda maka nilai tegangan tembus minyak isolasi pakai dan baru juga semakin bertambah.
- Pada keadaan jarak sela elektroda yang tetap, dengan semakin bertambahnya temperatur maka nilai tegangan tembus minyak isolasi pakai dan baru juga semakin bertambah.
- Nilai rata-rata kekuatan dielektrik minyak isolasi Nynas baru cenderung lebih tinggi dari pada nilai rata-rata kekuatan dielektrik minyak isolasi Nynas pakai.
- Dengan treatment khusus, berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan maka dapat dikatakan bahwa minyak isolasi Nynas pakai masih bisa digunakan sebagai bahan minyak isolasi trafo.

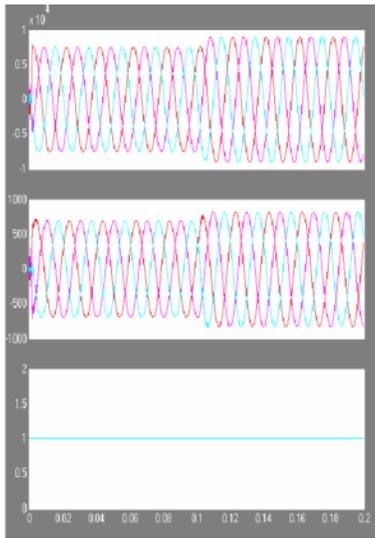


Gambar 2. Gangguan Dalam Tiga Fasa ke Tanah

Kinerja dari metoda untuk jenis gangguan ini ditunjukkan pada gambar diatas. Panel pertama menunjukkan besar amplitudo (*amplitude-envelope*) dari arus fasa pada sisi tegangan rendah. Panel kedua menunjukkan besar amplitudo (*amplitude-envelope*) dari arus fasa pada sisi tegangan tinggi. Panel ketiga menunjukkan sinyal trip yang akan memberikan sinyal pada relay untuk bekerja. Pada gambar hasil simulasi menunjukkan bila pada panel pertama dan kedua, besar amplitudo (*amplitude-envelope*) dari seluruh arus fasa baik pada sisi tegangan rendah dan sisi tegangan rendah melampaui batas ambang yang telah ditentukan, hal ini disebabkan karena hubung singkat pada masing-masing

fasa dengan tanah sehingga menimbulkan adanya arus *short-circuit*.

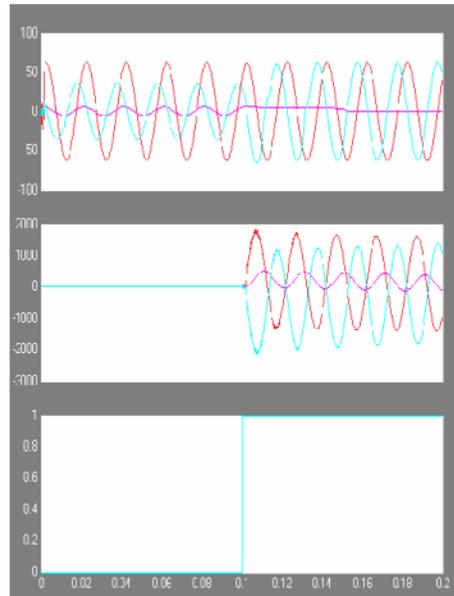
Dari kedua panel, dengan jelas dapat diketahui bahwa sinyal trip berubah statusnya dari rendah ke tinggi yang mana mengindikasikan adanya gangguan dalam (*internal fault*). Hal ini menentukan bahwa gangguan yang terjadi terletak di dalam zona proteksi dari transformator daya.



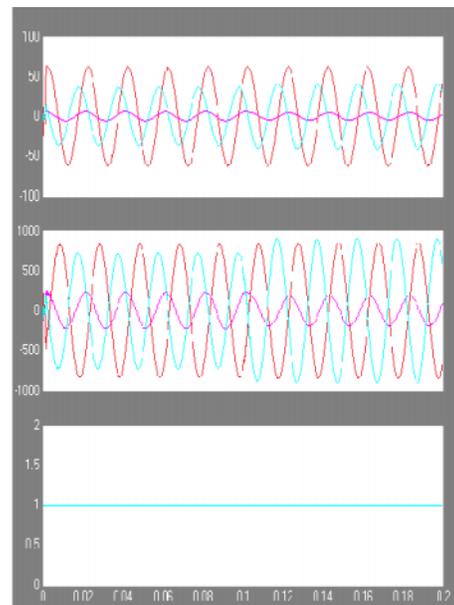
Gambar 3. Gangguan Luar Tiga Fasa ke Tanah

Kinerja dari metoda untuk jenis gangguan ini ditunjukkan pada gambar diatas. Panel pertama menunjukkan besar amplitudo (*amplitude-envelope*) dari arus fasa pada sisi tegangan rendah. Panel kedua menunjukkan besar amplitudo (*amplitude-envelope*) dari arus fasa pada sisi tegangan tinggi. Panel ketiga menunjukkan sinyal trip tidak akan memberikan sinyal pada relai untuk bekerja. Pada gambar hasil simulasi menunjukkan bila pada panel pertama dan kedua, besar amplitudo (*amplitude-envelope*) dari seluruh arus fasa baik pada sisi tegangan rendah dan sisi tegangan rendah tidak melampaui batas ambang yang telah ditentukan. Dari kedua panel, dengan jelas dapat dilihat bahwa sinyal trip tidak mengindikasikan kondisi tidak ada gangguan yang terjadi di dalam zona proteksi transformator daya atau merupakan gangguan luar.

Perhatikan Gambar 4. Panel pertama menunjukkan adanya distorsi pada gelombang arus sisi tegangan rendah yang disebabkan oleh adanya saturasi trafo arus. Panel kedua menunjukkan bahwa besar amplitudo (*amplitudo-envelope*) dari arus masing-masing fasa melampaui batas yang telah ditentukan, hal ini disebabkan karena hubungan singkat antara masing-masing fasa dan tanah sehingga menimbulkan adanya arus *short-circuit*. Panel ketiga menunjukkan sinyal trip yang berubah statusnya dari rendah ke tinggi. Oleh karena itu, saturasi trafo arus tidak memiliki pengaruh untuk deteksi gangguan. Dengan kata lain, metoda ini mampu mendeteksi gangguan dalam ini.



Gambar 4. Gangguan Dalam 3 Fasa ke Tanah dengan Saturasi Trafo Arus



Gambar 5. Gangguan Luar 3 Fasa ke Tanah dengan Saturasi Trafo Arus

Panel pertama menunjukkan adanya distorsi pada gelombang arus sisi tegangan rendah yang disebabkan oleh adanya saturasi trafo arus. Panel kedua menunjukkan bahwa besar amplitudo (*amplitudo-envelope*) dari arus masing-masing fasa tidak melampaui batas yang telah ditentukan. Panel ketiga menunjukkan sinyal trip tidak akan memberikan sinyal pada relai untuk bekerja. Sinyal trip tidak mengindikasikan kondisi tidak ada gangguan yang terjadi di dalam zona proteksi transformator daya atau merupakan gangguan luar.

Tabel 1. Besar Arus Primer dan Sekunder Saat Simulasi Hubung Singkat Dengan Perubahan Resistansi Gangguan

Gangguan Dalam									
Tipe Gangguan	Respon Relay	0.01 Ω		5 Ω		20 Ω		50 Ω	
		Primer (kA)	Sekunder (kA)	Primer (kA)	Sekunder (kA)	Primer (kA)	Sekunder (kA)	Primer (kA)	Sekunder (kA)
3L-G	Trip	10	2	9.5	1.6	8.4	1.1	7.6	0.6
L-L	Trip	9.7	1.2	9.3	1.1	8.8	0.8	8.2	0.5
L-G	Trip	8.8	0.86	8.7	0.84	8.3	0.73	7.9	0.53
3L-G (saturasi)	Trip	0.62	1.82	0.62	1.58	0.62	1.28	0.62	0.77
Gangguan Luar									
Tipe Gangguan	Respon Relay	0.01 Ω		5 Ω		20 Ω		50 Ω	
		Primer (kA)	Sekunder (kA)	Primer (kA)	Sekunder (kA)	Primer (kA)	Sekunder (kA)	Primer (kA)	Sekunder (kA)
3L-G	Normal	8.95	0.82	8.7	0.796	7.65	0.74	7.64	0.72
L-L	Normal	8.95	0.84	8.55	0.82	7.9	0.77	7.75	0.73
L-G	Normal	8.3	0.74	8.16	0.73	7.82	0.72	7.6	0.71
3L-G (saturasi)	Normal	0.62	1.02	0.62	1.04	0.62	0.96	0.62	0.81

Tabel 2. Besar Arus Primer dan Sekunder Saat Simulasi Hubung Singkat Dengan Perubahan Belitan

Gangguan Dalam							
Hubungan Belitan Y_g -				Hubungan Belitan - Y_g			
Tipe Gangguan	Respon Relay	5 Ω		Tipe Gangguan	Respon Relay	5 Ω	
		Primer (kA)	Sekunder (kA)			Primer (kA)	Sekunder (kA)
3L-G	Trip	9.5	1.6	3L-G	Trip	9.5	1.1
L-L	Trip	9.3	1.1	L-L	Trip	9.5	1.6
L-G	Trip	8.7	0.84	L-G	Trip	9.3	1.3
3L-G (saturasi)	Trip	0.62	1.58	3L-G (saturasi)	Trip	0.62	1.58
Gangguan Luar							
Hubungan Belitan Y_g -				Hubungan Belitan - Y_g			
Tipe Gangguan	Respon Relay	5 Ω		Tipe Gangguan	Respon Relay	5 Ω	
		Primer (kA)	Sekunder (kA)			Primer (kA)	Sekunder (kA)
3L-G	Normal	8.7	0.796	3L-G	Normal	9.5	1.1
L-L	Normal	8.55	0.82	L-L	Normal	9.5	1.6
L-G	Normal	8.16	0.73	L-G	Normal	9.3	1.3
3L-G (saturasi)	Normal	0.62	1.04	3L-G (saturasi)	Normal	0.62	1.58

Penggolongan gangguan pada proteksi transformator daya menggunakan metoda transformasi Wavelet dengan data arus saluran sebagai inputnya memiliki pengertian bahwa dampak terjadinya gangguan hubung singkat pada sistem transmisi dapat dilihat dari tempat terjadinya gangguan hubung singkat. Jika gangguan terjadi diluar zona proteksi transformator daya, yang berarti gangguan luar (*external fault*), maka transformator daya akan merasakan gangguan namun tidak memberikan pengaruh yang berarti dan tetap beroperasi dengan stabil. Tetapi jika

gangguan hubung singkat terjadi didalam zona proteksi transformator daya, yang berarti gangguan dalam (*internal fault*), maka relai akan bekerja secepat dan secepat mungkin untuk mengisolasi transformator daya untuk mencegah terjadinya kerusakan.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisis, dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Teknik proteksi dengan menggunakan transformasi Wavelet dapat digunakan untuk simulasi proteksi diferensial pada transformator daya tiga fasa.
2. Saturasi trafo arus (CT) tidak berpengaruh terhadap selektivitas, respon kecepatan relai, dan nilai batas ambang (*threshold*) atau setting relai.
3. Hubungan belitan trafo tidak berpengaruh terhadap selektivitas dan respon kecepatan relai, tetapi berpengaruh terhadap nilai batas ambang (*threshold*) atau setting relai.
4. Perubahan tahanan gangguan (Rf) dan tahanan tanah (Rg) tidak berpengaruh terhadap selektivitas, respon relai, dan nilai batas ambang (*threshold*) atau setting relai.
5. Perubahan tap changer trafo tidak berpengaruh terhadap nilai batas ambang (*threshold*) atau Setting Relai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aktaibi Adel and M. Azizur Rahman. *Digital Differential Protection of Power Transformer Using Matlab*. Memorial University of Newfoundland, Canada.
- [2] Aktaibi Adel and M. A. Rahman. *Wavelet Packet Transform Algorithm Based Differential Protection of 3 phase Power Transformers*. St. John's, NL, Canada, A1B 3X5.
- [3] Anderson P.M. (1999). *Power System Protection .Canada* : IEEE Press.
- [4] Blackburn J.Lewis and Thomas J.Domin. (2006). *Protective Relaying Principles and Applications Third Edition*. USA : CRC Press.
- [5] Das Sukanta, Gautam Bandyopadhyay and Prasad Syam. (2008, December). *Current Transformer Saturation Detection By Wavelet Transform and Compensation By Newton's Forward Interpolation*. Fifteenth National Power Systems Conference (NPSC), IIT Bombay.
- [6] Jamali M., M. Mirzaie, and S. Asghar Gholamian. (2011). *Calculation and Analysis of Transformer Inrush Current Based on Parameters of Transformer and Operating Conditions*. Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas: Technologija, No. 3(109). P. 17–20.
- [7] Mario. O.Oliveira, A. S. Bretas, and G.D. Ferreira. (2010). *Differential Protection Of Three-Phase Transformer Based On Transient Signal Analysis*. CIDEL Argentina International Congress on Electricity Distribution.
- [8] Monsef H. and S. Lotfifard. (2008 , April). *A New Wavelet-Based Approach for Internal Fault Current Identification in Power Transformers*. Scientia Iranica, Vol. 15, No. 2, pp 160-169.
- [9] Ngaopitakkul Attapol and Anantawat Kunakorn. (2006, June). *Internal Fault Classification in Transformer Winding using Combination of Discrete Wavelet Transforms and Back-Propagation Neural Networks*. Internal Journal of Control, Automation, and System, vol. 4, no. 3, pp. 365-371.
- [10] Obed A. Adel, Majed A. Alwan and Waad N. Taboor. (2011, August). *A WaveletPacket Transform-Based Technique for the Discrimination of Inrush Currents from Faults in Three-Phase Transformer*. Journal of Basrah Researches (Sciences) Volume 37. Number 4 A / 15.
- [11] Subramanian Sendilkumar, B. L. Mathur, and Joseph Henry. (2010, May). *Wavelet Packet Transform and Support Vector Machine Based Discrimination of Power Transformer Inrush Current from Internal Fault Currents*. Modern Applied Science Vol. 4, No. 5.
- [12] Subramanian Sendilkumar, B. L. Mathur, and Joseph Henry. (2010). *Differential Protection for Power Transformer Using Wavelet Transform and PNN*. International Journal of Electrical and Electronics Engineering 4:7.
- [13] Sudha .S and A. Ebenezer Jeyakumar. (2007). *Wavelet and ANN Based Relaying for Power Transformer Protection*. Journal of Computer Science 3 (6): 454-460, ISSN 1549-3636.
- [14] Yanti Hamid Effrina and Zen-Ichiro Kawasaki. (2002, Apr). *Wavelet-Based Data Compression for Power Disturbances using Minimum Description Length Criterion*. IEEE Trans. Power Del., vol. 17, no. 2, pp. 460-466.