

Pengaruh Penggunaan Material Inti Terhadap Arus Penyalaan Awal pada Transformator

Isa Hafidz¹, Arief Budi Ksatria², Muhammad Kaymal Akbar²

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom Surabaya

^{2,3}Departemen Teknik Elektro, ELECTICS, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus Sukolilo, Surabaya 60118

E-mail: arief.ksatria15@mhs.ee.its.ac.id²

ABSTRAK

Transformator memiliki peranan penting yang ditemukan dan dipergunakan secara luas dalam sistem tenaga listrik. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui efek dari perbedaan inti transformator terhadap kapasitas transformator dengan menggunakan fenomena inrush current. Pada penelitian ini, transformator tiga fasa dengan tipe inti yang berbeda disimulasikan pada perangkat lunak ATPDraw. Hasil perbandingan inrush current yang didapatkan bahwa jenis material inti M5 merupakan material terburuk bila dibandingkan dengan jenis material inti pada kapasitas transformator yang berbeda

Kata Kunci: Arus Inrush, ATP Draw, Transformator 3 Fasa

1. PENDAHULUAN

Terjadinya inrush current berawal saat saturasi yang tinggi dari inti besi, ketika suatu transformator di hubungkan dengan suatu sumber tegangan AC untuk yang pertama kalinya, akan ada suatu arus surja tambahan melewati kumparan primer dan nilainya mencapai 6-12 kali arus nominalnya[1]. Karena arus yang besar ini belitan transformator menderita beban yang sangat besar. Arus yang besar mengakibatkan panas berlebih pada penghantar, sehingga kekuatan isolator penghantar berkurang. Secara mekanik belitan akan mendapatkan gaya yang besar sehingga bentuk belitan rusak. Dampak arus inrush secara mekanik telah dilakukan penelitian[2].

Pengaruh lain pada fenomena inrush current pada sistem tenaga listrik ialah dapat menaikkan harmonisa tegangan lebih dan mengganggu sistem pengamanan jaringan. Dalam upaya menyediakan model transformator yang lebih akurat, dalam hal hemat biaya untuk penggunaan bahan inti yang memiliki rugi rendah, investasi yang signifikan banyak upaya telah dilakukan dalam dekade terakhir ini. Sebagian besar model yang diusulkan didasarkan pada prinsip dualitas, di mana elemen rangkaian listrik diperoleh dari rangkaian magnetik berdasarkan parameter fisik transformator, seperti dimensi inti dan topologi [3].

Pada studi ini akan dilakukan simulasi model hybrid atau XFMR pada ATPDraw menggunakan

transformator tiga fasa buatan Bambang Djaja dengan tipe inti yang berbeda dengan kapasitas yang bermacam macam. Pada studi ini akan diamati pengaruh nilai inrush current ketika pemodelan transformator dengan tipe inti dan kapasitas yang berbedabeda. Dengan menganalisa besar dari arus inrush maksimum diharapkan dapat dijadikan acuan dalam merancang transformator yang baik.

Berdasarkan prinsip dualitas model transformator, ATPDraw memiliki model yang disebut hybrid atau XFMR. Dalam model yang dimiliki ATPDraw, inti transformator ditempatkan pada belitan yang terpisah dan perwakilannya tergantung pada topologi inti yang bisa berupa triplex (core independen), core stacked (tiga atau lima kaki), dan juga core shell. Representasi inti yang lebih rinci ini penting untuk studi inrush current selama pemberian sumber tahanan AC pada transformator untuk pertama kalinya.

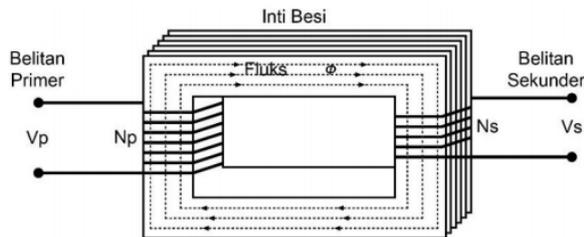
2. METODE PERHITUNGAN

2.1 Pemodelan Transformator

Transformator adalah peralatan listrik yang digunakan pada sistem tenaga listrik untuk menyalurkan daya dari pembangkit ke konsumen. Pada sistem tenaga listrik terdapat tegangan transmisi dan distribusi yang beragam. Hal ini menyebabkan transformator daya harus diletakkan pada tiap titik dimana di titik tersebut terjadi transisi

antar level tegangan.. Menurut kapasitasnya, transformator dapat diklasifikasikan sebagai berikut (U.S. rating) :

1. Transformator daya kecil; 500 – 7500 kVA
2. Transformator daya menengah; 7500 kVA – 100 MVA
3. Transformator daya besar; diatas 100 MVA



Gambar 1. Model Sederhana Transformator

Transformator bekerja berdasarkan prinsip induktansi mutual antara dua buah belitan yang dihubungkan oleh sebuah fluks magnetik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Prinsip kerja transformator ini sesuai dengan Hukum Faraday. Hukum Faraday menyatakan bahwa pada rangkaian tertutup, nilai gaya gerak listrik induksi sama dengan negatif rate perubahan fluks terhadap waktu [7].

$$\phi = \frac{\lambda}{N} \quad (1)$$

$$e = -N \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

keterangan: λ adalah total fluks linkage, ϕ adalah fluks, $d\phi$ perubahan garis gaya magnet, dt perubahan waktu, N jumlah belitan, dan e adalah GGL Induksi.

2.2 Arus Inrush Transformor

Nilai puncak inrush current merupakan fungsi dari tegangan suplai, kerapatan medan magnet sisa, kerapatan medan magnet saturasi, resistansi belitan primer dan induktansi pada transformator [8]. Berdasarkan studi [9] secara matematis nilai dari inrush current dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut:

$$i_{max} = \frac{\sqrt{2} \cdot V_m}{\sqrt{(wL)^2 + R^3}} \left(\frac{2B_n + B_r - B_s}{B_n} \right) \quad (3)$$

keterangan: V_m adalah tegangan terhubung maksimum (V), L adalah induktansi transformator (H), R adalah resistansi transformator (Ohm), B_n

adalah kerapatan medan magnetic saat kondisi normal (Wb/m^2), B_r adalah kerapatan medan magnet sisa (Wb/m^2), dan B_s adalah kerapatan medan magnet jenuh (Wb/m^2).

Kerapatan medan magnet normal diperoleh saat transformator beroperasi secara normal. Sedangkan kerapatan medan magnet sisa (B_r) dan kerapatan medan magnet jenuh (B_s) diperoleh berdasarkan permeabilitas inti transformator. Sehingga pada jenis

Tabel. 1 Spesifikasi Jenis Material inti Pada Percobaan Uji Transformator

Kapasitas Trafo (MVA)	Panjang Luar (mm)	Lebar Luar (mm)	Luas Luar (m2)	Panjang Rongga (mm)	Lebar Rongga (mm)	Luas (m2)
6	885	885	0.783	735	330	0.242
7	691	1473	1.018	269	1371	0.369
15	885	1055	0.934	350	985	0.345

material yang berbeda nilai arus inrush dapat berbeda meskipun memiliki kapasitas yang sama. Gambar 2.7 diatas menjelaskan bahwa adanya fluks sisa pada inti transformator berpengaruh pada kurva magnetisasi. Semakin tinggi nilai magnetisasi (saturasi), semakin tinggi pula arus yang dihasilkan.

3. PEMODELAN RANGKAIAN

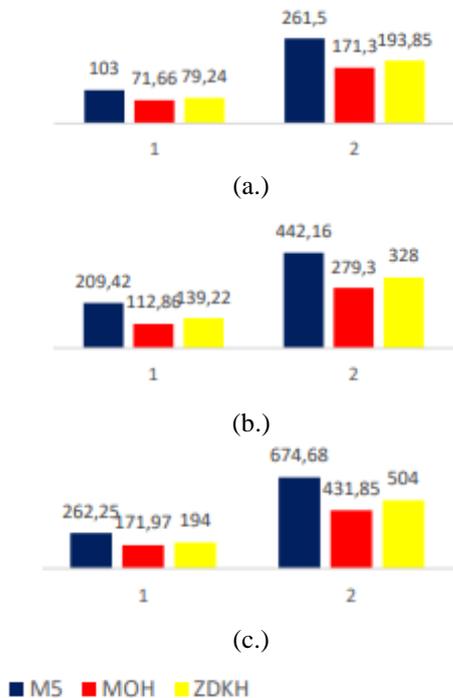
Fenomena inrush current pada transformator dengan inti yang berbeda dan kapasitas yang berbeda dapat ditunjukkan menggunakan pemodelan rangkaian pada studi ini. Pemodelan rangkaian dilakukan menggunakan perangkat lunak ATPDraw (Alternative Transient Program).

Dari hasil perhitungan metode open circuit test, didapatkan parameter inti transformator, yaitu nilai resistansi magnetisasi, fluks, dan arus eksitasi. Sedangkan dengan pengujian short circuit test didapatkan parameter resistansi dan induktansi sisi primer dan sekunder transformator. Spesifikasi jenis inti transformator yang disimulasikan dapat dijelaskan pada tabel 1.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Subbab ini membahas tentang simulasi software ATPDraw dimana untuk menentukan karakteristik inrush current pada transformator menggunakan parameter yang didapat dari perusahaan Bambang Djaja dengan berbagai jenis material inti transformator dan kapasitas. Jenis material inti yang digunakan ialah M5, MOH dan ZDKH dengan beberapa kapasitas, dengan rincian 6 MVA, 7 MVA, 15 MVA, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

Gambar 2. merupakan hasil dari perbandingan antara fasa pertama kedua dan ketiga pada masing masing material, dengan nilai dari switch serentak sebesar 0,2s. Pada gambar 3 menunjukkan hasil plotting dari simulasi ATPDraw pada sisi primer dan skunder material M5 dengan kapasitas 6MVA dimana memiliki nilai 70 kV pada sisi Primer dan 6 kV pada sisi sekunder



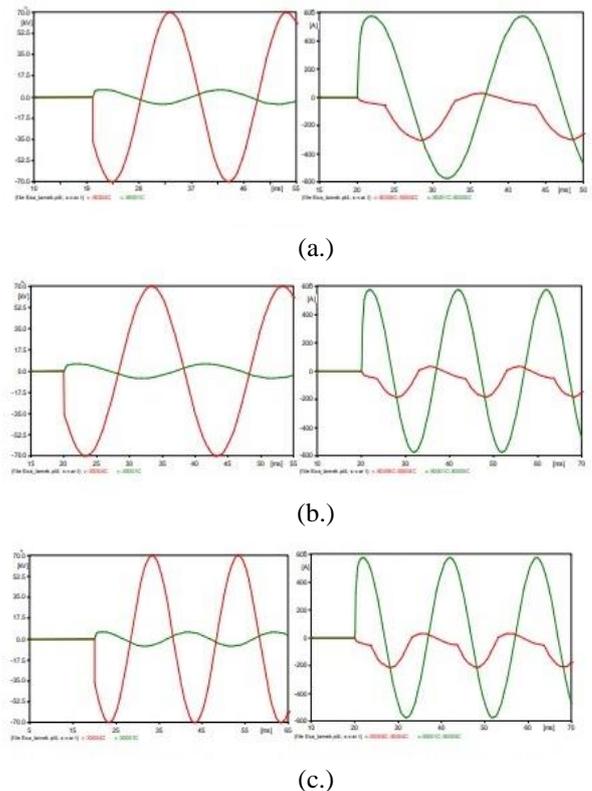
Gambar 2. Hasil perbandingan antar fasa material M5, MOH, dan ZDKH pada Kapasitas Transformator (a.) 6 MVA, (b.) 7 MVA, (c.) 15 MVA

Karakteristik arus *inrush* pada transformator dapat dilihat pada kurva magnetisasi inti transformator tersebut. Kurva magnetisasi inti menggambarkan hubungan antara arus magnetisasi (I_m) dengan *flux linkage* (λ). Untuk mendapatkan nilai – nilai tersebut, maka dilakukan pengujian transformator tanpa beban (*open – circuit test*). Berdasarkan hasil pengujian yang didapatkan, arus magnetisasi dan *flux linkage* didapatkan dari persamaan (2) dan (3).

Hasil pengujian transformator tanpa beban, nilai arus magnetisasi dan *flux linkage* ditunjukkan oleh Tabel 1. Sedangkan kurva magnetisasi pada fasa R, S, dan T pada salah satu Transformer berukuran 6 MVA, dapat ditunjukkan oleh Gambar 2a, Gambar 2b dan Gambar 2c.

Pada hasil simulasi memiliki nilai lebih tinggi hingga lebih dari 3 kali arus nominal pada perhitungan

dimana dari hasil diatas dapat menunjukkan bahwa pada sisi primer simulasi terjadi *inrush current* ketika transformator diberikan tegangan untuk pertama kalinya. Sedangkan pada sisi sekunder pada simulasi maupun perhitungan memiliki selisih sedikit yang termasuk dalam batas toleransi.



Gambar 3. Hasil plotting Tegangan dan Arus sisi primer dan skunder pada fasa T Kapasitas Transformator 6 MVA, secara berturut turut material (a.) M5, (b.) MOH, dan (c.) ZDKH

Tabel. 2 Perbandingan arus pada sisi primer material M5, MOH dan ZDKH dengan kapasitas 6 MVA, 7 MVA, 15 MVA

Kapasitas Trafo (MVA)	Simulasi			Perhitungan		
	Arus Nominal Primer (A)			Arus Nominal Sekunder (A)	Arus Nominal Primer (A)	Arus Nominal Sekunder (A)
	M5	MOH	ZDKH			
6	303.88	185.01	215.02	577.7	49.55	578.03
7	522.66	343.8	409.46	409.46	57.7	642.2
15	795.21	430.9	567.84	567.84	123.86	433.52

Arus pada hasil perhutngan simulasi memiliki nilai lebih tinggi hingga lebih dari 3 kali arus nominal pada perhitungan dimana dari hasil diatas dapat menunjukkan bahwa pada sisi primer simulasi terjadi *inrush current* ketika transformator diberikan tegangan untuk pertama kalinya. Sedangkan pada sisi sekunder pada simulasi maupun perhitungan memiliki selisih sedikit yang termasuk dalam batas toleransi.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis mengenai perbedaan jenis material inti terhadap kapasitas transformator berdasarkan inrush current, didapatkan kesimpulan bahwa respon inrush current dipengaruhi oleh karakteristik material inti transformator. Pada perbandingan respon inrush current dengan inti yang berbeda, material MOH memiliki nilai paling kecil pada kapasitas. Selain itu, perbandingan respon inrush current dengan inti yang berbeda, material ZDKH memiliki nilai paling kecil kedua pada kapasitas transformator. Material M5 memiliki karakteristik inrush current tertinggi pada setiap kapasitas transformator.

Karakteristik sebuah material sangat berpengaruh terhadap besar kecilnya nilai inrush current seperti pada material MOH pada penelitian ini. Semakin tinggi kapasitas transformer, maka semakin tinggi nilai inrush current. Hal ini juga membuktikan bahwa Inrush current memiliki nilai lebih dari 3 kali arus nominal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Wojtasiewicz et al., "Inrush Current of Superconducting Transformer," *IEEE Trans. Appl. Supercond.*, vol. 23, no. 3, pp. 5500304–5500304, Jun. 2013.
- [2] M. Steurer and K. Frohlich, "The impact of inrush currents on the mechanical stress of high voltage power transformer coils," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 17, no. 1, pp. 155–160, Jan. 2002.
- [3] N. Chiesa, B. A. Mork, and H. Høidalen, *Transformer Model for Inrush Current Calculations: Simulations, Measurements and Sensitivity Analysis*, vol. 25. 2010.
- [4] J. R. M. S. Souza C. S. Pereira Filho and A. De Conti, "Evaluation of the Effect of Advanced Core Settings of the Hybrid Transformer Model on the Harmonic Content of Inrush Currents."
- [5] Y. Wicaksono, "ANALISIS PENGARUH MATERIAL DAN CARA PEMOTONGAN INTI TRANSFORMATOR TERHADAP KERAPATAN FLUKS LISTRIK DAN ARUS INRUSH," vol. 7, p. 5, 2015.
- [6] J. H. Harlow, *Electric Power Transformer Engineering*, vol. 20. 2004.
- [7] S. J. Chapman, *Electric machinery fundamentals*, 4th ed., internat. ed. Boston, Mass.: McGraw-Hill, 2005.
- [8] M. Yulistya Negara, D. Fahmi, D. A. Asfani, and N. Arif Kurniawan, *Effect of core cutting topology on inrush current of threephases transformer*. 2016.
- [9] N. Chiesa, A. Avenda, H. Høidalen, B. A. Mork, D. Ishchenko, and A. P. Kunze, *On the ringdown transient of transformers*. 2007.
- [10] T. R. Specht, *Transformer Magnetizing Inrush Current*, vol. 70. 1951.
- [11] J. E. Holcomb, "Distribution Transformer Magnetizing Inrush Current," *Trans. Am. Inst. Electr. Eng. Part III Power Appar. Syst.*, vol. 80, no. 3, pp. 697–702, Apr. 1961.