

Program PSCAD Simulasi Distribusi Tegangan Impuls Di Belitan Transformator

Hendri Masdi
 Jurusan Teknik Elektro
 Universitas Negeri Padang
 Sumatera Barat, Indonesia
 hendri@ft.unp.ac.id;
hendri97@gmail.com

Hambali
 Jurusan Teknik Elektro
 Universitas Negeri Padang
 Sumatera Barat, Indonesia
 hendri@ft.unp.ac.id;

Abstrak— Dalam penelitian ini dilakukan analisis distribusi tegangan impuls di belitan transformator, dan respon belitan terhadap tegangan impuls dengan gelombang standard penuh dan tepotong terutama di ujung-ujung belitan.

Data eksperimental dibandingkan dengan simulasi PSCAD, diperoleh hasil $t < 1.0 \mu s$ terjadi perbedaan tegangan. Setelah $t > 2,0 \mu s$ diperoleh tegangan mendekati sama besar, antara hasil eksperimental dan simulasi. Jadi dapat dikatakan bahwa rangkaian simulasi PSCAD dapat menirukan keadaan sebenarnya dengan baik.

Konstruksi belitan serta ketebalan isolasi (Cs dan Cg) trafo, ternyata mempunyai pengaruh yang besar terhadap distribusi tegangan trafo saat mengalami transient (gejala peralihan).

Bagian belitan yang terdekat dengan terminal tegangan tinggi akan mengalami gradien tegangan paling tinggi dibandingkan bagian-bagian belitan yang lain, pengujian dilakukan dengan bentuk standar surja arus menurut IEC+71 yaitu $8/20 \mu s$.

Informasi penting yang diperoleh dari studi ini adalah bahwa simulasi memberikan hasil yang lebih pesimistik (perhitungan PSCAD menunjukkan nilai tegangan yang lebih besar dibandingkan dengan keadaan sesungguhnya / eksperimental). Jadi sekalipun sulit menirukan perilaku belitan di daerah awal transien, namun keadaan sesungguhnya tidaklah lebih buruk. Dengan demikian, simulasi PSCAD ini dapat dipergunakan sebagai substitusi dari eksperimental apabila ingin mengetahui tanggapan belitan terhadap surja arus.

Kata Kunci— *Gejala peralihan, Tegangan lebih transient, Model transformator, PSCAD.*

I. PENDAHULUAN

Gejala peralihan (transient) yang timbul sebagai akibat fenomena alam (petir) atau karena peristiwa alih-hubung (switching) di jaringan, baik yang dilakukan dengan sengaja maupun tidak, membawa dampak yang tidak baik bagi peralatan listrik sistem tenaga, karena tegangan lebih yang timbul akibat peralihan akan menimbulkan tekanan (stress) medan elektrik di bagian-bagian isolasi peralatan, apabila stress medan elektrik itu terjadi dengan tingkat keseringan dan periode yang panjang dapat berakibat degradasi material isolasi peralatan.

Transformator tenaga salah satu komponen terpenting dan vital dalam sistem tenaga, yang mempunyai surja probabilitas tinggi, mengalami terpaan tegangan lebih transien dalam pengoperasian sistem tenaga. Sekalipun trafo tenaga

dilindungi dengan peralatan proteksi seperti Surge Arrester dan peralatan pengamanan lainnya, namun iapun harus mempunyai kemampuan mengamankan dirinya yaitu dengan ketahanan isolasi yang memadai. Batas ketahanan isolasi peralatan dinyatakan dengan Basi insulation Level atau Tingkat Isolasi Dasar (TID), menurut IEC-71 didefinisikan sebagai ketahanan isolasi peralatan terhadap harga puncak dari tagangan surja $1,2/50 \mu s$.

Apabila trafo didesain memenuhi TID tertentu dan pemilihan level isolasinya dilakukan dengan memadai, diharapkan bahwa trafo tersebut akan dapat menahan stress medan elektrik yang timbul saat peristiwa peralihan berlangsung.

Untuk memahami fenomena internal yang terjadi saat transient berlangsung, dapat dilakukan dengan eksperimental yaitu dengan melakukan uji material isolasi di laboratorium tegangan tinggi. Namun hal ini tidak mungkin dapat dilakukan apabila ingin mengetahui kinerja trafo dalam pengoperasiannya pada sistem. Konstruksi trafo dan bentuk belitan serta ketebalan isolasi, ternyata mempunyai pengaruh yang besar terhadap distribusi tegangan trafo pada saat mengalami transient [2,4,5]. Berbagai studi menunjukkan, bagian belitan yang terdekat dengan terminal tegangan tinggi akan mengalami gradien tegangan paling tinggi dibandingkan bagian-bagian belitan yang lain [2,4,5].

Dengan komputer dan perangkat lunak yang khusus untuk mempelajari gejala transien ini, studi tentang kinerja trafo terhadap tegangan lebih menjadi lebih mudah dilakukan. Dari berbagai studi terdahulu [4,5] telah dihasilkan sirkuit untuk digunakan sebagai model trafo saat transien. Komponen dominan dari sirkuit trafo tersebut adalah kapasitansi bagian-bagian isolasi trafo baik kapasitansi antar lilitan maupun antar lilitan terhadap tanah. Namun pemodelan yang sederhana ini diduga kurang dapat menggambarkan keadaan sebenarnya. Oleh karena itu studi tentang sirkuit model transien dari transformator tenaga ini masih terus dilakukan oleh para peneliti di berbagai Negara.

Dalam makalah ini penulis melakukan studi kinerja transien dari trafo distribusi $20kV/380 V$, dengan mempergunakan perangkat lunak PSCAD (Versi 3.0, 1996) yang lazim digunakan untuk mensimulasi gejala transien di sistem tenaga. Dalam studi ini, selain dilakukan simulasi juga dilakukan pengukuran tegangan transien yang timbul di belitan saat belitan trafo dilalui arus surja.

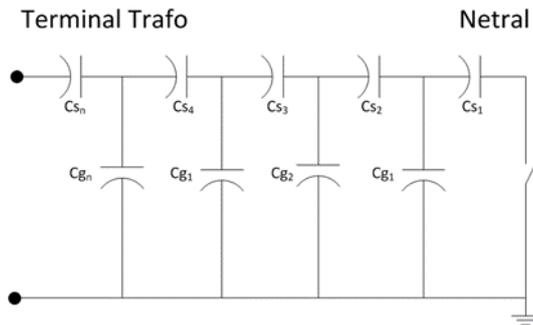
Pengkajian dilakukan dengan bentuk standar surja arus menurut IEC-71, yaitu $8/20 \mu s$, selain itu untuk mengetahui

pengaruh waktu punggung yang lebih panjang dilakukan pula kajian dengan gelombang surja arus 8/70 μ s.

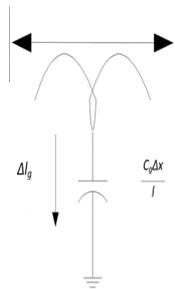
II. METODOLOGI

Metodologi yang dilakukan adalah observasi langsung dan eksperimen di laboratorium. Pada distribusi tegangan impuls di belitan transformator untuk tujuan analisis overvoltage (tegangan lebih transien), maka dalam penelitian, ini dipelajari respon belitan transformator terhadap tegangan impuls dengan gelombang standard penuh dan terpotong. Dengan mengetahui karakteristik impuls belitan transformator saat perigujian dengan gelombang standard penuh dan terpotong, maka diharapkan dapat diperoleh informasi yang memadai untuk menentukan BIL (Basic Insulation level) trafo yang optimum, agar prinsip tekno-ekonomis dalam penentuan koordinasi isolasi dapat tercapai

Model internal transformator digunakan untuk melihat distribusi stress medan elektrik akibat tegangan lebih di belitan transformator. Pendekatan dilakukan dengan membagi waktu setelah surja mengenai transformator menjadi interval, perioda pertama sangat singkat, yaitu beberapa mikrodetik. Selama waktu ini, tidak ada arus signifikan yang melalui belitan dengan baik karena induktansinya. Arus yang mengalir hanya arus pergeseran (displacement current) dalam kapasitansi belitan. Sehingga untuk mendapatkan distribusi tegangan awal, model yang dibutuhkan terdiri hanya elemen kapasitif saja. [3.5]



Gambar 1. Model untuk menentukan distribusi tegangan awal di trafo yang dikenal surja dengan muka gelombang curam^[5].



Gambar 2. Panjang elementer <x dari belitan

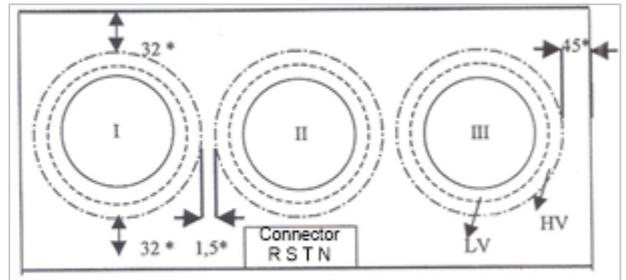
Gambar 2. Kapasitansi terhadap tanah dan terhadap belitan didekatnya

Model belitan, seperti direpresentasikan gambar 1, terbagi dalam segmen dengan jumlah tertentu. Diasumsikan kapasitansi terdistribusi seragam sepanjang belitan. Setiap elemen kecil dari panjang konduktor, mempunyai kapasitansi

terhadap tanah dan terhadap belitan didekatnya, gambar 2. Apabila kapasitansi keseluruhan terhadap tanah adalah C_g , dan kapasitansi dari ujung ke ujung adalah C_s , maka panjang belitan (l) tertentu^[5],

- kapasitansi ke tanah/unit panjang C_g/l
- Kapasitansi seri/ unit panjang C_s/l
- hubungan antara C_g , dan C_s , dinyatakan dengan $\alpha = (C_g/C_s)l/2$

Pada model belitan rangkaian terbuka, direpresentasikan dalam gambar 3, terbagi dalam segmen jumlah tertentu. Satu segmen mewakili satu lapis belitan, dan trafo percobaan mewakili 9 lapis belitan. Parameter belitan dalam satu lapis (R, L, C) dianggap homogeny dan diwakili oleh satu harga yang didapat dan hasil pengukuran dan perhitungan.



Gambar 3. Konstruksi dalam Trafo

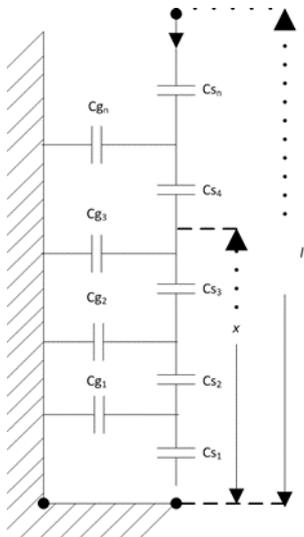
Tabel 1. Data Konduktor

Bagian	HV	LV
Konduktor (ϕ) mm	1,12/1,217	2 x 1 (7,3 x 3,6)
Jumlah Turn	2546	56
Jumlah Lapis	17	2
Jumlah Turn/Lapis	150	28
Isolasi antar Lapis	0,3-0,9 mm	0,25 mm
Resistansi	3,224 Ω	1,063 m Ω

Tabel 2. Kapasitansi, Induktansi dan Resistansi dari dimensi Trafo

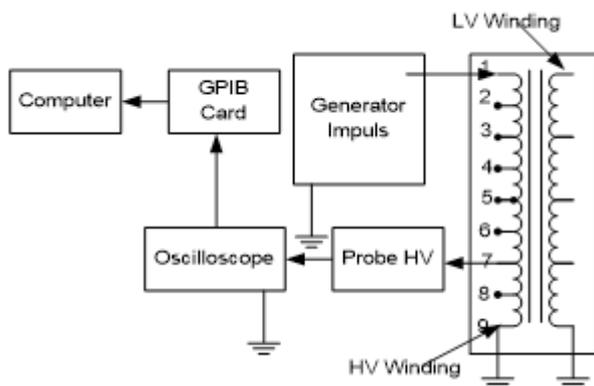
Belitan	Kapasitansi (pF)		Induktansi (mH)	Resistansi (Ohm)
	Cs	Cg		
L11	-	$3,4 \cdot 10^{-4}$	-	-
L12	$8,5 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	1,1	4
L13	$8,7 \cdot 10^{-3}$	$3,7 \cdot 10^{-4}$	1,1	4
L14	$9,0 \cdot 10^{-3}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$	1,1	4
L15	$9,2 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	1,1	4
L16	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	1,1	4
L17	$9,7 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-4}$	1,1	4
L18	$1,0 \cdot 10^{-2}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	1,1	4
L19	$1,02 \cdot 10^{-2}$	$4,8 \cdot 10^{-4}$	1,1	4

1. Generator Surja, Schaffner NSG587 dengan kapasitas maks. 10kV, 4,8 kA.
2. Osiloskop merk Tektronix TDS220 (Digital Real-Time Oscilloscopes) dilengkapi Modul TDS2MM (Measurement Extension Module).
3. Sebuah computer yang dihubungkan dengan CRO menggunakan GPIB (General Purpose Interface Bus) untuk merekam data.
4. Divider probe Tegangan Tinggi type HP Model 1137 A dengan nilai N 1000 : 1 untuk tegangan AC atau DC.
5. RCL Meter digital keluaran Philip type PM 6303 Automatic. Ada baiknya memisahkan isi teks, tabel, dan gambar terlebih dahulu. Pastikan format untuk teks selesai setelah itu masukkan gambar dan tabelnya.



Gambar 4. Rangkaian Uji Trafo

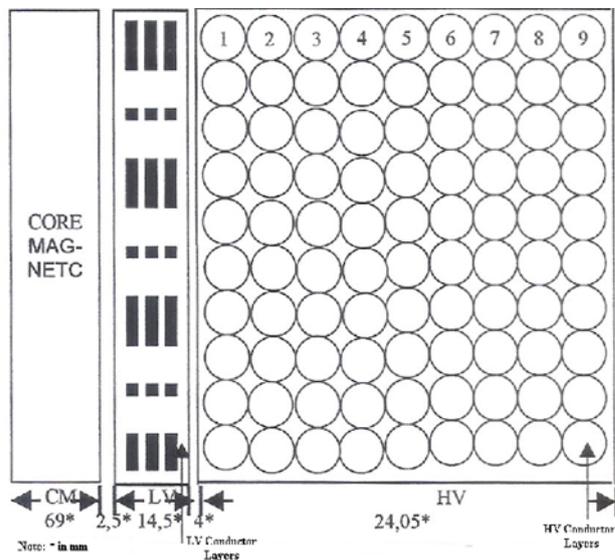
Skema perolehan data pengamatan terhadap referensi dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 5. Peralatan yang digunakan dalam pengujian

Data-data pada belitan HV

- Diameter luar (d_{luar}) = 232,9 mm $r_1 = 116,45$ mm
- Diameter dalam (d_{dalam}) = 159,0 mm $r_d = 79,5$ mm
- Kedalaman Kumpan (radial) = 24,05 mm
- Tinggi piringan = 197,0 mm
- Jumlah piringan = 17
- Jumlah rata-rata belitan tiap piringan = 150
- Induktansi diri (m_0) = 0,324 mH
- Permittivitas ruang hampa (ϵ_0) = $8,854 \times 10^{-12}$ F/m
- Permittivitas minyak (ϵ_r) = 2,25
- Tinggi Kumpan (h) = 197,00 mm
- Luas Permukaan (A) = 131,76 cm²



Gambar 6. Rangkaian pengujian transformator

Untuk mendapatkan grafik yang ada di layar osiloskop pada layar komputer, di pakai interface GPIB (General Purpose Interface Bus) buatan National Instrument tipe PCIIA. Dan software yang digunakan untuk berkomunikasi antara computer dan osiloskop adalah WaveStar 2.2 buatan Tektronik

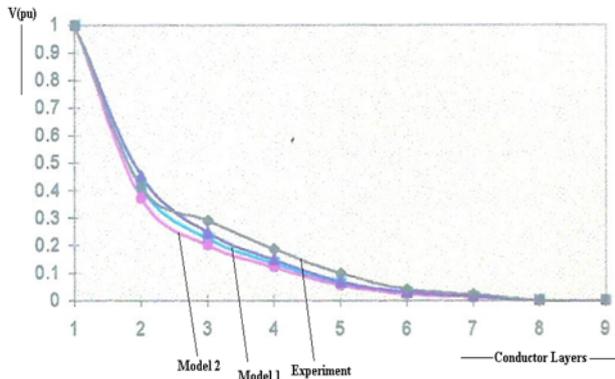
III. PEMBAHASAN

Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah:

IV. HASIL SIMULASI

Gambar 7 dan 8 memperlihatkan profil distribusi tegangan di belitan transformator dengan tegangan impuls 1 kV dan 3 kV, di belitan L1.

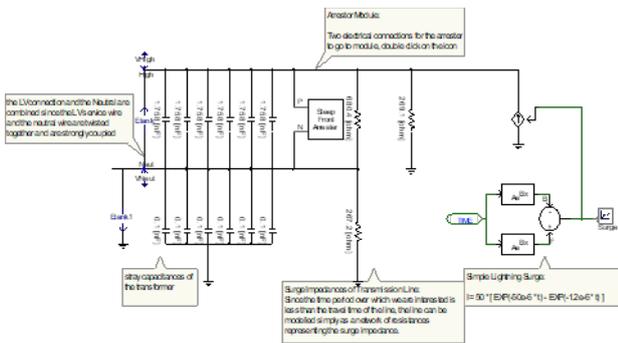
Gambar 7. Tegangan impuls belitan trafo input 1 kV di belitan L1



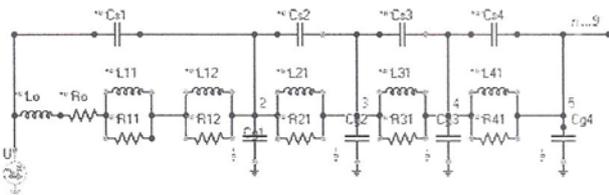
Gambar 8. Tegangan impuls belitan trafo input 3 kV di belitan L1

Simulasi dilakukan dengan 3 (tiga) bentuk sirkit ekivalen belitan trafo, yaitu:

- Rangkaian 1 : hanya mengikutsertakan kapasitansi (antar tap – tap belitan dan antar tap belitan ke tanah),
- Rangkaian 2 : selain kapasitansi, induktansi belitan juga diikutsertakan
- Rangkaian 3 : seluruh konstanta elektrik trafo diikutsertakan di rangkaian (R, L, C).

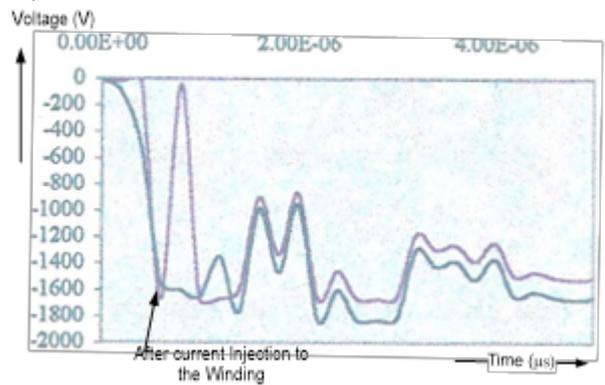


Gambar 9. Simulasi PSCAD rangkaian C Terminal Impuls di Belitan L1 Transformator dengan input 1 kV

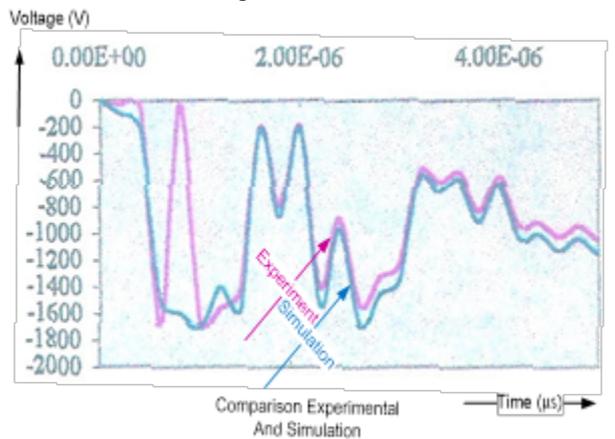


Gambar 10. Simulasi PSCAD rangkaian RLC Terminal Impuls di Belitan L1 Transformator dengan input 1 kV

Dari perbandingan hasil eksperimental dan simulasi dengan PSCAD diperoleh gambar 11 dan gambar 12, memberikan profil tegangan di terminal trafo, sebagaimana terlihat sumber impuls yang diberikan 1 kV dan 7 kV dengan bentuk gelombang yang hampir sama seperti gambar.



Gambar 11. Tegangan impuls Belitan 2 transformator input 1 kV



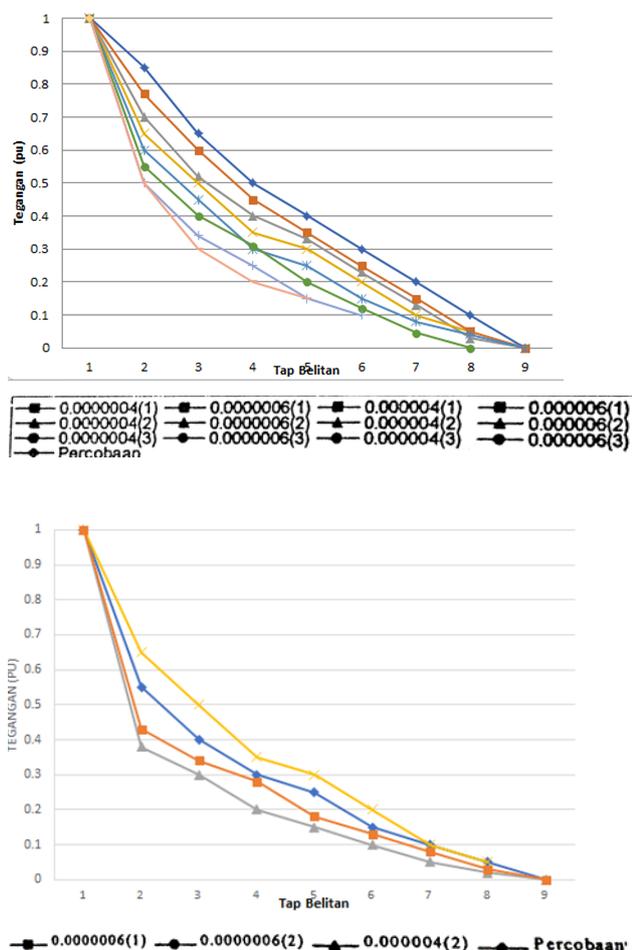
Gambar 12. Tegangan impuls Belitan 9 transformator input 1 kV

Kurva tegangan dari gambar, memperlihatkan bahwa:

1. Terjadi beda distribusi tegangan pada $t < 1 \mu s$, ini disebabkan saat awal impuls diberikan frekuensi transien yang terjadi sangat besar sekali sehingga waktu ini tidak ada arus signifikan yang melalui belitan dengan baik karena induktansinya. Arus yang mengalir hanya arus pergeseran (displacement current) dalam kapasitansi belitan.

2. Setelah $t > 2,0 \mu s$ umumnya hampir sama, jadi rangkaian yang dibuat untuk simulasi PSCAD dapat menirukan keadaan sebenarnya dengan baik. Petunjuk penulisan artikel ilmiah yang bagus dapat dilihat pada referensi [7].

Besaran tegangan dalam satuan pu (per-unit). Dan setelah dilakukan pendekatan secara numerik diperoleh data dan kurva distribusi tegangan seperti gambar.



Gambar 13. Perbandingan Distribusi Tegangan Di Belitan Transformator dari rangkaian 1,2,3 dan eksperimental

PENUTUP

Studi Distribusi Tegangan Impuls di Belitan Transformator 100 kVA, 20 kV/380 Volt menunjukan beberapa kesimpulan:

- Distribusi tegangan lebih di belitan transformator menunjukan sekitar 60% pembebanan tegangan lebih

ditanggung oleh 20 % belitan dekat terminal transformator. Pembebanan akibat gradien tegangan di 20 % belitan awal ini dapat merusak isolasi belitan.

- Bentuk gelombang arus sambaran petir mempengaruhi tegangan lebih yang terjadi. Gelombang arus sambaran petir waktu muka lebih cepat akan menyebabkan tegangan yang lebih besar. Pengaruh waktu punggung nilai puncak tegangan tidak signifikan.

- Dari ketiga sirkuit representasi belitan trafo, dapat dilihat bahwasanya model Rangkaian 3 memberikan kurva yang lebih linier bila dibandingkan dengan dua sirkuit lainnya. Sirkuit ini pula yang selama ini banyak dipergunakan oleh para peneliti dalam studi transien.

- Akibat tebal isolasi dan jarak kumparan ke dinding, konstruksi transformator mempengaruhi besaran kapasitansi antar belitan C_s dan ke dinding C_g yang dipengaruhi oleh d (jarak), ϵ_0 dan ϵ_r hal tersebut penting untuk perencanaan di saat mendesain struktur belitan transformator tersebut.

REFERENSI

- [1] Alternative Transient Program Rule Book, Leuven EMTP Center (LEC), Belgia, Juli 1987.
- [2] Dommel, Herman W., Electromagnetic Transient Program Reference Manual, Vancouver, Canada, Agustus 1986.
- [3] "Electromagnetic Transient Program (EMTP) Application Guide", Westinghouse Electric Corporation Power System Planning and Operation Program Electrical System Division, California, 1986.
- [4] Greenwood, A., Electrical Transient in Power Systems, second edition, John Wiley & Sons, Canada, 1991.
- [5] Morcheds, A.S., et al., A High Frekquency Transformer Model for the EMTP, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, July, 1993.
- [6] Hendri., et al., Study Transient Response on Transformer Windings Under Impulse Voltage Stresses, International Review of Electrical Engineering. Manuscript received January 2007, Copyright © 2007 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights (I.R.E.E.), Vol. xx, n. x
- [7] _____, Study Transient Response on Transformer Windings Under Impulse Voltage Stresses, Journal International Review of Electrical Engineering - June 2010 - Papers IREE Part A http://praiseworthyprize.com/IREE-latest/IREE_vol_5_n_3.html Published, Jun. 2010, Vol. 5. n. 3, pp. 1022-1026
- [8] _____, Voltage Sag Compensation in Distribution System due to SLG Fault Using D-STATCOM, Journal International Review of Electrical Engineering-December 2010 -Papers IREE Part B http://www.praiseworthyprize.com/IREE_latest.html Published, Dec. 2010, Vol. 5. n. 6, pp. 2836-2845