

DESAIN TRAFU CORELESS MENGGUNAKAN VIZIMAG

Uminingsih¹

¹Jurusan Matematika, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 8 Nopember 2011, revisi masuk : 3 Januari 2012, diterima: 21 Januari 2012

ABSTRACT

This paper describes a simulation of coreless transformer design using Vizimag which is a software application tool for computation based on finite element method. The objective of this research is to study the effect of the coreless transformer parameters through the secondary output voltage such that it is hoped the optimal design to be achieved. Method is done by determining parameters which affect to coreless transformer such as frequency and coupling coefficient as variable to be simulated. Primer of transformer has diameter and height of solenoid of 50 cm and 30 cm with 11 winding, input voltage of 20 kV where as secondary of transformer has diameter and height of solenoid of 194 cm and 40 cm with 970 winding, these all are determined as constant parameters. The results of simulation show that the placement of primer solenoid in the secondary solenoid affects deeply to secondary voltage and to coupling coefficient. In addition frequency affects deeply to secondary voltage where by increasing the frequency it will increase secondary voltage until reaching optimum voltage. In position of primer solenoid in the centre of secondary solenoid and frequency higher than 90 kHz, the optimum simulation design of coreless transformer is achieved which are secondary voltage of 489 kV, coupling coefficient of 28,4%, and overall power efficiency of 0,71%.

Keywords: coreless traformer, simulation, design, high voltage

INTISARI

Pada makalah ini dijelaskan tentang simulasi disain trafo coreless menggunakan Vizimag yaitu suatu perangkat aplikasi teknik komputasi berdasarkan metode FEM (*finite element method*). Tujuan dari penelitian ini ialah untuk mempelajari pengaruh parameter trafo coreless terhadap tegangan output sekundernya sehingga diharapkan akan diperoleh disain yang optimum. Metode yang dilakukan dengan menentukan parameter yang sangat berpengaruh pada trafo coreless yaitu frekuensi dan koefisien gandengan sebagai variabel yang disimulasikan. Primer trafo mempunyai diameter dan tinggi solenoid 50 cm dan 30 cm dengan jumlah lilitan 11, tegangan input 20 kV, , sedangkan sekunder trafo mempunyai lilitan 970, diameter dan tinggi solenoid 194 cm dan 40 cm sebagai parameter tetap pada simulasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penempatan posisi solenoid primer pada solenoid sekunder trafo sangat mempengaruhi tegangan sekunder dan koefisien gandengan trafo coreless. Sedangkan frekuensi sangat mempengaruhi tegangan sekunder, makin besar frekuensi makin besar tegangan sekunder sampai mencapai optimum. Pada posisi solenoid primer ditengah-tengah solenoid sekunder dan frekuensi diatas 90 kHz diperoleh hasil simulasi disain trafo coreless yang optimum yaitu memberikan tegangan sekunder 489 kV dan koefisien gandengan 28,4% dan efisiensi daya total 0,71%.

Kata kunci: trafo coreless, simulasi, desain, tegangan tinggi

PENDAHULUAN

Perkembangan dan kemajuan teknologi Industri di bidang manufactur yang menggunakan sumber daya hingga

Mega Volt semakin hari semakin banyak jumlahnya. Dengan kata lain semakin hari semakin banyak kebutuhan sumber daya pembangkit tegangan tinggi ini (misalnya

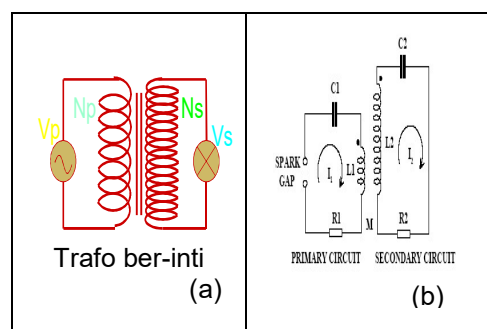
pada MBE/Mesin berkas electron, pada ESP/Elektrostatik Presipator). Aplikasi lain dari coreless transformer adalah digunakan untuk sistem aktivasi pada microwave (Alberto M.Pernia, et.all., 2007). Ada dua jenis trafo pembangkit tegangan ialah; Trafo jenis ber-inti (untuk pembangkit tegangan output orde puluhan kV) dan jenis Trafo Tak ber-inti./coreless Trafo (untuk penghasil tegangan output orde ratusan kV hingga MV) .

Agar dapat memperoleh pembangkit tegangan yang besar outputnya sesuai dengan kebutuhan mesin yang digunakan maka perlu desain konstruksi yang tepat. Dalam proses desain langkah-langkah yang dilakukan adalah menentukan besarnya tegangan input, tegangan output dan nilai-nilai parameter yang dibutuhkan. Dengan menggunakan rumus-rumus yang berkaitan dan dengan melakukan perhitungan akan diperoleh hasilnya. Langkah-langkah ini harus dilakukan tidak hanya sekali melakukan perhitungan karena untuk mendapatkan nilai besaran fisis dari komponen-komponen yang tersedia di pasaran tidak selalu ada yang sesuai dengan nilai parameter yang diperoleh dari perhitungan rumus. Selama ini yang kebanyakan dilakukan orang adalah menggunakan cara manual dalam penyelesaian perhitungan.dari rumus-rumus serta dengan cara coba-coba untuk menentukan nilai parameter yang tepat ,dan ini sungguh memakan waktu dan tenaga yang banyak. Oleh karena itu perlu dicarikan cara untuk mengatasinya.

Dengan adanya software Vizimag aplikasi teknik komputasi berdasarkan metode FEM (*Finite Element Method*) yaitu suatu metode numerik untuk menyelesaikan persoalan fisika atau teknik tertentu, diharapkan dapat membantu memudahkan dalam desain trafo coreless. Dari hasil simulasi diharapkan dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh parameter desain sehingga akan diperoleh desain yang optimum. Simulasi merupakan suatu cara yang efisien dalam memahami suatu sifat fisika atau kimia. Modeling suatu trafo untuk beban dan daya tetap banyak dilakukan (Nasser D Tleis,2008).

Prinsip trafo Coreless ini menggunakan kumparan Tesla (Martin,1997) sebagai kumparan primer dan sekundernya, yang dapat mentransfer energy melalui suatu media tanpa penghantar (menggunakan suatu kawat) yaitu menggunakan gelombang radio dan TV.(Roger A.Fredman dan Young,2003) Frekuensi yang dihasilkan oleh transformator ini berkisar antara 50-400 KHz. (Marco Denicolai, 2001).

Konstruksi dasar trafo coreless terdiri dari bagian primer dan sekunder. Karena tanpa inti maka transfer energinya melalui gelombang radio frekuensi yang dihasilkan dari osilator dalam hal ini adalah Spark Gap. Tegangan AC pada spark gap ini disuplai dari tegangan output (Vs) trafo berinti yang mana tegangan input trafo tersebut diambil dari PLN. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1: Model rangkaian ekuivalen Coreless Transformator

Pada Gambar 1 (a) besar tegangan AC dari output Vs yang digunakan untuk mensuplai spark gap dapat dihitung besarnya. Lilitan primer yang memiliki N_p putaran dengan tegangan input AC sebesar ε_p dan lilitan sekunder mempunyai N_s putaran. Karena fluks magnetik itu berubah-ubah dalam kedua lilitan tersebut maka terbentuk *ggl* induksi sebagai berikut :

$$\varepsilon_1 = -N_p \frac{d\phi}{dt} \quad \text{dan} \quad \varepsilon_2 = -N_s \frac{d\phi}{dt} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Fluks per putaran ϕ adalah sama dalam gulungan primer dan sekunder.,sehingga *ggl* induksi per putaran adalah sama dalam satu lilitan.

$$\dots \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_p} = \frac{N_s}{N_p} \dots \dots \dots (2)$$

ε_p dan ε_s keduanya beresilasi dengan frekuensi yang mirip sumber AC, persamaan 2, menunjukkan rasio dan amplitudo-amplitudo atau dari nilai-nilai rms dari ggl induksi. Bila hambatan nol, maka ggl induksi ε_p dan ε_s adalah tegangan terminal yang berturut-turut melalui primer dan sekunder, maka :

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \dots \dots \dots (3)$$

dimana V_p dan V_s adalah tegangan (Volt) atau nilai rms dari tegangan-primer dan sekunder.

Pada Gambar 1(b) dan berdasarkan hukum Kirchoff jumlah tegangan dalam rangkaian tertutup adalah nol maka

$$R_1 i_1 + \frac{1}{C_1} \int i_1 dt + L_1 \frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} = 0 \dots \dots \dots (4)$$

$$R_2 i_2 + \frac{1}{C_2} \int i_2 dt + L_2 \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} = 0 \dots \dots (5)$$

Jika q_i adalah muatan sesaat didalam kapasitor C_1 dan C_2 untuk masing masing rangkaian maka

$$i_i = \frac{dq_i}{dt} \quad i = 1,2 \dots \dots \dots (6)$$

Substitusi persamaan (6) ke persamaan (4) dan (5) maka diperoleh

$$R_1 \frac{dq_1}{dt} + \frac{1}{C_1} q_1 + L_1 \frac{d^2 q_1}{dt^2} + M \frac{d^2 q_2}{dt^2} = 0 \dots \dots (7)$$

$$R_2 \frac{dq_2}{dt} + \frac{1}{C_2} q_2 + L_2 \frac{d^2 q_2}{dt^2} + M \frac{d^2 q_1}{dt^2} = 0 \dots (8)$$

Dengan mengintroduksi operator diferensial Δ sebagai fungsi waktu dan menata ulang persamaan (7) dan (8) maka

$$\left[\Delta^2 + \frac{R_1}{L_1} \Delta + \frac{1}{L_1 C_1} \right] q_1 + \frac{M}{L_1} \Delta q_2 = 0 \dots \dots \dots (9)$$

$$\left[\Delta^2 + \frac{R_2}{L_2} \Delta + \frac{1}{L_2 C_2} \right] q_2 + \frac{M}{L_2} \Delta q_1 = 0 \dots \dots \dots (10)$$

Persamaan (9) dan (10) menghasilkan persamaan karakteristik sebagai berikut

$$(1 - k^2) D^4 + \left\{ \frac{R_1}{L_1} + \frac{R_2}{L_2} \right\} D^3 + \left\{ \omega_1^2 + \omega_2^2 + \frac{R_1 R_2}{L_1 L_2} \right\} D^2 + \left\{ \frac{R_1}{L_1} \omega_2^2 + \frac{R_2}{L_2} \omega_1^2 \right\} D + \omega_1^2 \omega_2^2 = 0 \dots (11)$$

dengan $k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$ dan $\omega_i = \frac{1}{\sqrt{L_i C_i}}$ dimana $i=1,2$ (12)

k adalah koefisien gandengan (coupling coefficient) yang besarnya $0 < k < 1$ sedangkan ω_1 dan ω_2 masing-masing adalah frekuensi resonansi rangkaian primer dan sekunder dalam keadaan tanpa gandengan. Persamaan (11) adalah persamaan diferensial homogen linier orde empat yang mempunyai empat akar kompleks $D_i, i=1, \dots, 4$. Jika akarnya berbeda maka empat fungsi.

$$y_i = e^{D_i t} \quad i = 1, \dots, 4 \dots \dots \dots (13)$$

membentuk suatu basis ruang persamaan untuk sistem dari persamaan (9) dan (10). Persamaan umum dari sistem persamaan ini adalah

$$q_1 = \sum_{i=1}^4 A_i e^{D_i t} \dots \dots \dots (14)$$

$$q_2 = \sum_{i=1}^4 B_i e^{D_i t} \dots \dots \dots (15)$$

Konstanta A_i dan B_i dan dievaluasi menggunakan kondisi awal pada saat $t=0$ yaitu

$$q_1 = q_0, \quad q_2 = 0, \quad \Delta q_1 = \Delta q_2 = 0 \dots \dots (16)$$

Dimana q_0 adalah muatan awal pada kapasitor primer. Besar tegangan kapasitor sekunder dan primer adalah

$$V_1 = \frac{1}{C_1} q_1 = \frac{1}{C_1} \sum_{i=1}^4 A_i e^{D_i t} \quad V_2 = \frac{1}{C_2} q_2 = \frac{1}{C_2} \sum_{i=1}^4 B_i e^{D_i t} \dots \dots \dots (17)$$

Penyelesaian dalam bentuk v_1 dan v_2 dapat diperoleh hanya dalam keadaan

ideal yaitu tanpa tahanan *damping* ($R_1 = R_2 = 0$). Akar D_i dari persamaan (11) hanya mempunyai bagian imajiner dan tegangan sekunder dapat dinyatakan sebagai berikut

$$V_2(t) = \frac{2kV}{\sqrt{(1-T)^2 + 4k^2T}} \left[\frac{L_2}{L_1} \sin\left(\frac{w_2 + w_1}{2}t\right) \cdot \sin\left(\frac{w_2 - w_1}{2}t\right) \right] \quad (18)$$

dengan

$$T = \frac{\omega_1^2}{\omega_2^2} = \frac{L_2 C_2}{L_1 C_1} \quad (19)$$

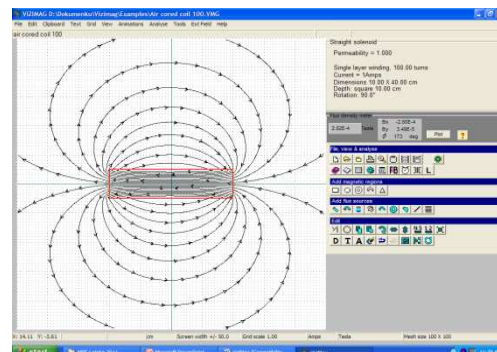
$$w_1 = \omega_2 \sqrt{\frac{(1+T) - \sqrt{(1-T)^2 + 4k^2T}}{2(1-k^2)}}$$

$$w_2 = \omega_2 \sqrt{\frac{(1+T) + \sqrt{(1-T)^2 + 4k^2T}}{2(1-k^2)}} \quad \dots (20)$$

T adalah *tuning ratio* (nisbah penala) yang didefinisikan sebagai kuadrat nisbah dari frekuensi resonansi tak gandingan (Johnson,1992), sedangkan V_1 adalah tegangan awal pada kapasitor C_1 , w_1 dan w_2 adalah frekuensi resonansi dari rangkaian primer dan sekunder ketika terjadi gandingan. Karena konstrain fisika pada harga k dan T maka dijamin bahwa w_1 dan w_2 selalu riil, serta selalu diasumsikan $w_2 > w_1$

Vizimag suatu perangkat aplikasi teknik komputasi berdasarkan metode FEM (*finite element method*) yaitu suatu metode numerik untuk menyelesaikan persoalan fisika atau teknik tertentu. Vizimag didesain untuk memberikan visualiasi cepat garis medan magnetic dan densitas fluks magnet. Vizimag diciptakan dengan sasaran penciptaan model cepat dan intuitif yang memberikan perhitungan dan displai cepat dari garis medan dan densitas fluks magnet. Perangkat lunak aplikasi ini dapat diinstalasi pada Operating System Window ataupun Linux. Perangkat aplikasi ini sangat komunikatif sehingga pengguna dengan mudah membuat suatu model simulasi. Contoh tampilan layar hasil simulasi solenoid seperti ditunjukkan pada Gambar 2 yang menggambarkan garis gaya magnet pada solenoid dengan dimensi diameter 10 cm dan panjang 40

cm berada di udara yang dialiri arus 1 amper.



Gambar 2: Tampilan layar Vizimag

Pada tampilan layar Vizimag terlihat pada bagian atas ada perintah (File, Edit, Clipboard, Text, Grid, View, Animation, Analyze, Tool, Ext Field, Help). Sedangkan pada bagian kanan layar ada 4 kelompok perintah yang merupakan pengganti perintah pada bagian atas kecuali Ext Field. Kelompok perintah I (*File, View, Analyze*) mewakili perintah pada bagian atas tampilan layar ditambah perintah FB (*flux density*), run garis gaya medan magnet (ikon mata), perhitungan induktansi (L), dan trafo analisis (*simbol trafo*). Kelompok perintah II (*Add magnetic region*) merupakan perintah untuk memodelkan bentuk bahan yang akan bersifat magnet lilitan berarus melingkupinya. Kelompok perintah III (merupakan perintah untuk memodelkan sumber fluks magnet baik magnet permanen ataupun magnet yang ditimbulkan akibat arus. Kelompok perintah IV (*Edit*) merupakan perintah terkait dengan *editing* suatu model simulasi yang akan direvisi baik dimensi ataupun parameter fisisnya. .

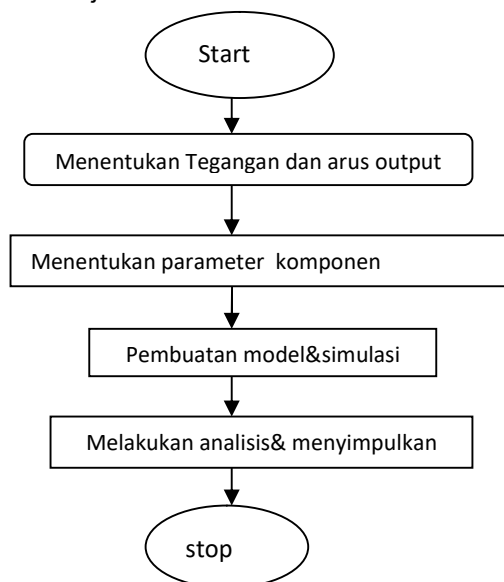
Pada Vizimag difasilitasi analisis trafo secara manual dan model, untuk mendapatkan hasil lebih akurat maka pertama dilakukan analisis trafo secara manual. Dengan modus manual bisa memasukkan parameter induktansi lilitan primer dan sekunder serta koefisien gandingan. Program ini sangat sederhana, mudah, cepat dan intuitif sehingga memungkinkan pengguna membuat model sesuai yang

dikehendaki. Pada Vizimag juga dilengkapi contoh model simulasi yang dapat dijumpai pada sub folder Vizimag yaitu Example

METODE

Langkah langkah yang harus dilakukan dalam mendesain Trafo Coreless adalah langkah awal dengan menentukan diagram aliran kerja, desain pemodelan dan penentuan parameter rangkaian Trafo Coreless, dan terakhir simulasi model trafo correless

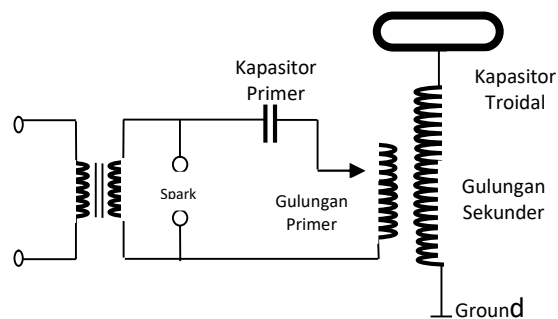
Langkah awal yaitu menentukan diagram alirkerja



Gambar 3 Diagram alir desain trafo

Langkah yang kedua Desain pemodelan dan penentuan parameter rangkaian Trafo Coreless. Sebelum dilakukan pembuatan rangkaian maka dilakukan pemodelan yaitu membuat model trafo tak berinti yang sesuai kebutuhan pengguna. Berdasarkan rumus jbaran sebelumnya maka nilai parameter yang akan di kontruksi sebagai berikut. Konstruksi Trafo Coreless memuat tiga bagian pokok yaitu: 1)Trafo berinti yang mensuplai tegangan (sebagai tegangan input bagian primer) yang berhubungan langsung dari PLN. 2).Spark gap, capasitor dan induktor/ gulungan primer berfungsi sebagai pembangkit pulsa dan frekuensi.

3).Kapasitor Troidal dan gulungan sekunder sebagai pembangkit tegangan output yang akan dimanfaatkan oleh user.



Gambar 4. Diagram rangkaian Trafo Coreless

Cara kerja dari Trafo coreless adalah menghasilkan output dengan frekuensi tinggi, yang disuplai dari sumber tegangan(PLN) dengan frekuensi rendah. Oleh karena itu perlu rangkaian RL/osilator agar dapat menghasilkan frekuensi. tinggi., selain itu diperlukan spark gap untuk menghasilkan pulsa. Disini harus dibuat pulsa karena trafo ini tanpa inti sehingga permiabilitasnya rendah akibatnya fluks magnet yang dihasilkan menjadi kecil dan GGI induksi yang dihasilkan juga kecil. Sedangkan untuk supaya dapat menghasilkan tegangan output yang tinggi maka dibutuhkan GGL Induksi yang tinggi yaitu dengan cara menaikkan frekuensinya, karena GGL Induksi $(e) = 1,44 \cdot N \cdot B \cdot f \cdot l$., dengan N= banyak lilitan, B= Kuat medan magnet yang dihasilkan, f = frekuensi.Untuk menaikkan frekuensi dengan mengatur nilai parameter L dan C dibagian primer. Parameter trafo coreless seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Nilai parameter yang diinginkan.

PRIMER	SEKONDER
V input (tegangan primer) : 20.000 volt	Koefisien kopling: 28.400
frekuensi:140.000 Hz	mutual Induktan:
Resistan: 1.00 ohm	0.001 H
Banyak lilitan: 11	Banyak lilitan: 970
diameter solenoid: 50 cm	Resistan: 1.000 oh
tinggi solenoid: 30 cm	Tahanan beban: 10 ohm
	Diameter solenoid: 40 cm, Tinggi : 194

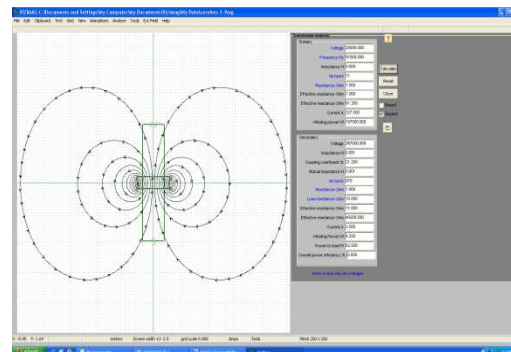
Langkah ketiga yaitu membuat simulasi model trafo coreless. Dalam melakukan simulasi menggunakan Vizimag perlu dilakukan beberapa langkah: pertama membuat model yang akan disimulasikan dengan menggunakan kelompok perintah II dan III. Pada kelompok perintah ini cukup memilih ikon yang ada sesuai dengan yang ingin dimodelkan kemudian letakkan kursor pada layar grid simulasi dan klik disekitar sumbu X (horizontal) dan Y (vertical) kemudian men-drag (menyeret kursor) sesuai kehendak. Suatu contoh dalam menghasilkan simulasi seperti pada Gambar 4. Pertama pilih *straight solenoid* pada kelompok perintah III, letakkan kursor pada layar grid simulasi kemudian seret kursor sesuai yang dikehendaki dan klik kemudian seret lagi kursor dan klik maka akan diperoleh bentuk empat persegi panjang yang merupakan solenoida trafo primer. Dengan cara yang sama buat solenoida trafo sekunder yang melingkupi solenoida primer. Kemudian ikuti perintah dengan mengisi parameter fisiknya dengan masukan dimensi penampang magnet sebagai inti trafo beserta permeabilitasnya, jumlah lilitan primer dan sekunder serta arus pada primer, resistansi primer dan sekunder, tahanan beban sekunder, frekuensi dan tegangan primer. Dalam hal ini parameter fisis diambil dari Tabel 1. Jika inputan dimensi dan parameter fisis dari yang dimodelkan tidak sesuai dengan yang diinginkan lakukan *editing* menggunakan kelompok perintah IV. Informasi semua perintah pada ikon dapat diketahui dengan menahan kursor pada ikon yang dikehendaki maka akan muncul nama perintah. Selanjutnya untuk mengetahui garis gaya magnet dari suatu model maka lakukan *analyze* (ikon mata) pada kelompok perintah I. Proses selanjutnya lakukan analisis trafo dengan meng-klik ikon trafo dan ikuti perintah maka akan diperoleh hasil simulasi seperti pada Gambar 5.

Pada Vizimag difasilitasi analisis trafo secara manual dan model, untuk mendapatkan hasil lebih akurat maka pertama dilakukan analisis trafo secara model kemudian dilakukan analisis trafo secara manual. Dengan modus manual

bisa memasukan parameter induktansi lilitan primer dan sekunder serta koefisien gandengan.

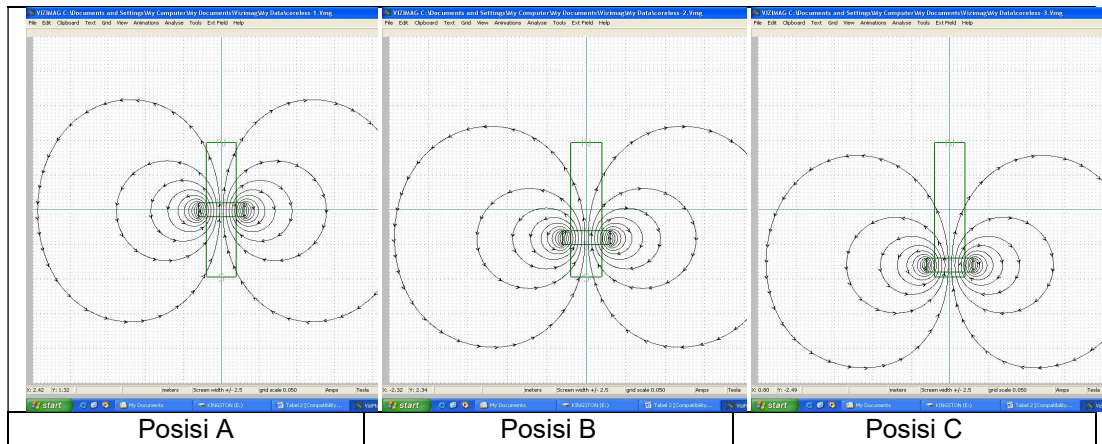
PEMBAHASAN

Program Vizimag tidak hanya menghasilkan tegangan input output tetapi juga memberikan informasi efisiensi daya, daya ke beban (*power to load*), daya lilitan (*winding power*), reaktansi dan resistansi efektif, induktansi, induktansi saling (*mutual inductance*), koefisien gandengan (*coupling coefficient*) serta kontur densitas fluks magnet. Pada Gambar 5 merupakan contoh hasil simulasi Trafo coreless dengan lilitan primer berada di tengah-tengah lilitan sekunder. Untuk mendapatkan hasil desain yang optimal maka dilakukan simulasi posisi lilitan primer pada lilitan sekunder. dalam penelitian ini dilakukan variasi 3 posisi penempatan lilitan primer dalam lilitan sekunder yaitu pada posisi sb $Y=0$, sb $y = -50$ dan sb $y=-97$. Hasil simulasi seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar: 5 Hasil simulasi menggunakan VIZIMAG

Dari hasil simulasi pada frekuensi, tegangan input, dan jumlah lilitan yang tetap menunjukkan bahwa pada penempatan posisi sb $y=0$ menghasilkan tegangan output terbesar. Hal ini disebabkan medan magnet yang dihasilkan oleh solenoida primer dapat melingkupi solenoida sekunder lebih banyak dibandingkan pada posisi lainnya sehingga transfer energi dari primer ke sekunder lebih besar dengan konsekuensi menghasilkan tegangan output yang lebih besar.



Gambar.6 .Hasil simulasi Vizimag variasi posisi solenoid primer terhadap sumbu Y coreless transformer

Tabel 2: Ringkasan hasil simulasi analisis trafo pengaruh posisi lilitan primer tarfo terhadap luaran sekunder menggunakan Vizimag

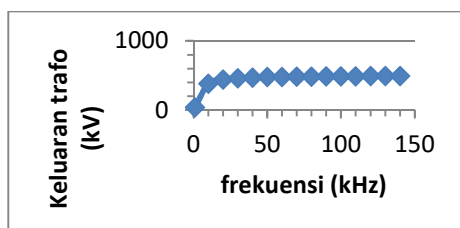
No	Masukan trafo untuk lilitan primer pada posisi A,B,C		Luaran sekunder trafo			
			Posisi A	Posisi B	Posisi C	
1	Parameter trafo	Nilai	Parameter trafo	Nilai	Nilai	Nilai
2	Tegangan(V)	20k	Tegangan (V)	3,67E5	3,52E5	2,69E5
3	Frekuensi(Hz)	97k	Induktansi (H)	8,07E-2	8,1E-2	8,1E-2
4	Induktansi(H)	1.05E-4	Koefisien gandengan (%)	21,2	20,3	15,5
5	Jumlah lilitan	11	Mutual inductance (H)	6,17E-4	1E-3	0
6	Tahanan(Ω)	1	Jumlah lilitan	970	970	970
7	Tahanan efektif (Ω)	1	Tahanan (Ω)	1	1	1
8	Reaktan efektif Ω	61,2	Tahanan beban (Ω)	10	10	10
9	Arus (A)	327	Tahanan efektif (Ω)	11	11	11
10	Daya belitan (W)	1,07E5	Reaktan efektif (Ω)	4,92E4	4,92E4	4,92E4
			Arus (A)	2,5	2,4	1,87
			Daya belitan (W)	6,25	5,6	3,51
			Daya ke beban (W)	62,5	56,8	35,1
			Efisiensi daya total(%)	5,84E-2	5,4E-2	2,9E-2

Posisi A; sb-y=0, Posisi B;sb-y=-50cm, Posisi C; sb-y=-90cm

Selain itu juga memberikan informasi koefisien gandengan dan koefisien daya total yang lebih besar dibandingkan dengan posisi sb y yang lainnya seperti terlihat pada Tabel 2.

Berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 2 selanjutnya dilakukan simulasi pengaruh frekuensi terhadap output tegangan sekunder trafo coreless. Untuk mempelajari seberapa besar pengaruh

frekuensi Trafo coreless terhadap parameter utama trafo seperti tegangan output sekunder, koefisien gandengan dan koefisien daya total maka dilakukan simulasi variasi frekuensi pada parameter trafo primer yang tetap. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh frekuensi trafo tanpa inti terhadap keluran trafo

Pada gambar terlihat bahwa frekuensi sangat berpengaruh terhadap tegangan output sekunder. Hal ini sesuai dengan yang diamati oleh Arshak K.I., dan Al.Muhtar,B (1999). Makin besar frekuensi makin besar pula tegangan

output sekunder sampai batas tertentu kemudian mencapai jenuh. Ringkasan hasil simulasi pengaruh frekuensi terhadap tegangan output sekunder seperti terlihat pada Tabel 3 di lampiran I. Dari gambar 7 terlihat bahwa ada syarat minimum frekuensi agar Trafo coreless dapat berfungsi optimal.

Pada frekuensi 1 kHz hanya menghasilkan tegangan output sebesar 37,8 kV dan tegangan input 20 kV, artinya hanya menghasilkan faktor pelipatan 1,39 kali. Dengan menaikkan frekuensi 10 kHz menghasilkan faktor pelipatan 19 kali namun belum optimal. Frekuensi optimal adalah yang menghasilkan faktor pelipatan terbesar adalah diatas 90 kHz.

Tabel 3: Hasil simulasi pengaruh frekuensi terhadap parameter output sekunder trafo coreless

Parameter trafo	Variabel trafo, frekuensi dalam kHz														
	Primer	1	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Tegangan (V)	20k	37.2k	381k	440k	460k	470k	476k	480k	483k	485k	487k	488k	489k	490k	491k
Induktansi(H)	0	0,001	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,081	0,08	0,081	0,081	0,081	0,081
Jumlah lilitan	11	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970	970
Tahanan (Ω)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tahanan efektif (Ω)	1	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Reaktan efektif Ω	8,16	506	5060	10100	15200	20300	25300	30400	35400	40500	45600	50600	55700	60800	65800
Arus (A)	2430	155	40	20,4	13,7	10,3	8,23	6,86	5,88	5,15	4,57	4,12	3,74	3,43	3,17
Daya belitan (W)	5,9E6	24200	1600	418	187	106	67,7	47	34,6	26,5	20,9	17	14	11,8	10
Koefisien gandengan (%)	-	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4	28,4
Induktansi saling(H)	-	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Tahanan beban (Ω)	-	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Daya ke beban (W)	-	242000	16000	4180	1870	1060	677	470	346	265	209	170	140	118	100
Efisiensi daya total(%)	-	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071

KESIMPULAN

Penggunaan VIZIMAG dapat membantu dalam proses desain untuk mendapatkan hasil desain yang prima. Selain itu dengan VIZIMAC dapat digunakan untuk mengamati pengaruh parameter terhadap hasil keluaran trafo. Dari hasil simulasi menunjukkan pada Trafo coreless akan memperoleh hasil yang optimum maka harus diperhatikan penempatan posisi lilitan primer dan besarnya frekuensi trafo.

DAFTAR PUSTAKA

- Alberto M.Pernia, et.all., (2007), "Transcutaneous microwave activation system using coreless transformer", Sensor and Actuator A:Physical, volume 136,issue 1, May ,pages 301-320
- Alshak, K.I and Almuhtar, B (1999) ,"Development of high frequency coreless transformer using thick film polymer technology", Microelectronic Journal, volume 30,

- issue 2, February 1999, pages 119-125
- Denicolai Marco, (2001). *Tesla Transformer for Experimentation and Research*. Espoossa : Electrical and Communications Engineering.
- Johnson. L.(1992), “*Tesla Coil Impedance*”, Electrical and Computer Engineering Department: Kansas State University
- Nasser D Tleis, (2008), “Modeling of transformer, static power plant and static load”, *Journal of Power System Modeling and Fault Analysis*, pages 200-300
- Roger A.Freedman dan Young (2003), *University Physics*, Mc Graw Hill, USA
- T. C. Martin. (1977), *The Inventions, Researches and Writings of Nikola Tesla*, Omni Publications: Hawthorne, California.