

DESAIN PEMBANGKITAN TEGANGAN TINGGI FREKUENSI TINGGI MENGGUNAKAN KUMPARAN TESLA

Deri Hidayatullah^{*)}, Herman Halomoan, dan Henry Binsar

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas teknik, Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. Sumantri Brojonegoro No. 1, Gedong Meneng, Raja Basa, Kota Bandar Lampung, Lampung, Indonesia

^{*)}E-mail : derihidayatullah212@gmail.com

Abstrak

Tegangan tinggi frekuensi tinggi dapat dihasilkan menggunakan kumparan tesla atau disebut trafo tesla. Prinsip kerja dari trafo tesla adalah dengan memanfaatkan peristiwa resonansi L dan C. Pada penelitian ini trafo tesla dirancang menggunakan input tegangan 7,5 KV, mode rotary spark gap, dengan induktansi Kumparan sekunder sebesar 23,88 mH dan kapasitansi sekunder sebesar 15,48 pF, menghasilkan frekuensi resonansi sekunder adalah 261,87 Khz. Penelitian ini membandingkan antara trafo tesla tipe pertama yang menggunakan kumparan primer berbentuk flat spiral, induktansi sebesar 25,66 μ H, kapasitansi primer 15 nF serta frekuensi resonansi primer adalah 261 Khz. Trafo tesla tipe kedua yang menggunakan kumparan primer heliks, induktansi sebesar 19,34 μ H, kapasitansi primer 20 nF serta frekuensi resonansi primer sebesar 262 Khz. Berdasarkan penelitian ini didapat bahwa output trafo tesla terbesar didapatkan saat menggunakan tipe kedua. Loncatan listrik yang dihasilkan oleh tipe ini sejauh 18,34 cm. Sedangkan untuk trafo tesla yang memakai tipe pertama, didapat output loncatan listrik trafo tesla sejauh 13,23 cm. Hal ini terjadi dikarenakan telah tercapainya kondisi match (setara) pada trafo tesla ($F_p \approx F_s$) sehingga menghasilkan output yang teroptimalkan.

Kata kunci : Trafo tesla, kumparan tesla flat spiral, kumparan tesla heliks, spark gap berputar

Abstract

High-voltage high-frequency can be produced by using Tesla coil or usually called as Tesla transformer. The basic principle of Tesla transformer is by utilize the resonance L and C. In this research, the tesla transformer is designed to use input voltage of 7.5 KV, rotary spark gap mode, with secondary coil's inductance is 23,88 mH and secondary capacitance is 15,48 pF, it produced resonance frequency is 261,87 Khz. This research compares between first type of tesla transformer that using flat spiral's primary coil, inductance is 25,66 μ H, primary capacitance is 15 nF, and primary resonance frequency is 261 Khz. Secondary type's tesla transformer that using heliks's primary coil, inductance is 19,34 μ H, primary capacitance is 20 nF, and primary resonance frequency is 262 Khz. Based on this research, it is found that the highest output of tesla transformer is when using secondary type. The electric spark yields by this type is 18.34 cm, while for tesla transformer that using first type, the electric spark's output of tesla transformer is 13,23 cm. This happened because it have achieved match condition (equivalent) of tesla transformer ($F_p \approx F_s$), so it produced optimal output.

Keywords : Tesla transformer, flat spiral tesla coil, heliks tesla coil, rotary spark gap

1. Pendahuluan

Trafo tesla adalah suatu perangkat yang berfungsi sebagai pembangkit tegangan tinggi berfrekuensi tinggi yang menggunakan resonansi dalam perpindahan energi bagian primer ke bagian sekunder. Tegangan masukan pada bagian primer berupa tegangan rendah pada frekuensi kerja sementara tegangan keluaran berupa tegangan tinggi berfrekuensi tinggi. Tegangan tinggi berfrekuensi tinggi bermanfaat untuk banyak keperluan [1-4]. Contoh aplikasinya yaitu untuk mendeteksi keretakan dan keberadaan udara pada isolator porselen [3]. Penggunaan tegangan tinggi ini berguna untuk mengetes mengenai kemungkinan keberadaan lompatan api yang terjadi pada isolator tersebut, sementara frekuensi tinggi berguna untuk

mendeteksi terjadinya perambatan pada kulit isolator yang diuji. Di sisi lain, tegangan tinggi berfrekuensi tinggi dipergunakan pula pada pengujian ketahanan isolator pada kondisi tegangan tinggi ac frekuensi tinggi, antara lain saat terjadi kesalahan atau hubung buka pada suatu sistem tenaga listrik [4].

Trafo tesla adalah transformator dengan inti udara yang bekerja dengan memanfaatkan induksi energi lilitan primer ke lilitan sekunder pada frekuensi tinggi. Frekuensi yang tinggi ini diperoleh dari resonansi pada komponen kapasitor (C) dan induktor (L), yang memiliki pemacu berupa sela-percik berputar (*rotary spark gap*) [1]. Rancangan sisi primer dapat menahan tegangan hingga belasan kilovolt, sedangkan pada bagian sekunder dapat

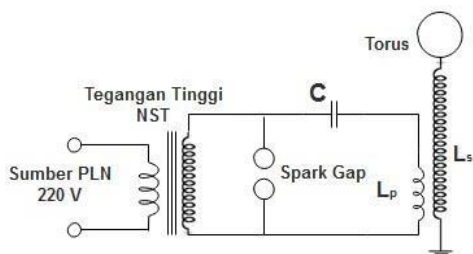
membangkitkan tegangan hingga ratusan bahkan ribuan kilovolt. Keberadaan beda potensial antara dua elektroda sela percik akan menghasilkan loncatan listrik, yang pada gilirannya menghasilkan rangkaian resonansi pada sisi primer sehingga muncul arus resonansi berfrekuensi tinggi pada trafo tesla sisi primer. Arus frekuensi tinggi di sisi primer kemudian menghasilkan induksi tegangan tinggi frekuensi tinggi pada sisi sekunder [1]. Pada penelitian ini trafo tesla dirancang dengan memanfaatkan suplai dari trafo “Neon Sign Transformer” (NST) yang memiliki keluaran 15 KV. Penelitian lain [5-9] menggunakan tegangan masukan kumparan tesla dari inverter mode saklar yang memiliki batasan tegangan keluaran maksimal hingga ratusan kilovolt, menyesuaikan kemampuan tegangan tembus MOSFET yang digunakan. Penelitian ini memakai tegangan masukan 7.5 KV hingga 15 KV yang bersumber dari trafo NST. Dengan tegangan masukan yang besar, keluaran trafo tesla ini diharapkan lebih tinggi dari penelitian sebelumnya. Terdapat variasi kumparan primer trafo tesla yang digunakan pada penelitian ini, yaitu berbentuk *flat spiral* maupun heliks. Keluaran tegangan dan frekuensi trafo tesla yang berbentuk *flat spiral* heliks kemudian akan dibandingkan.

2. Desain Transformator Tesla

2.1. Prinsip Kerja Trafo Tesla

Trafo tesla memanfaatkan prinsip resonansi induksi elektromagnetik yang menggunakan frekuensi tinggi untuk proses induksinya. Frekuensi tinggi ini diperoleh dari rangkaian osilasi L dan C yang beresonansi pada frekuensi tinggi.

Gambar 1 menunjukkan rangkaian Tesla pembangkit tegangan tinggi berfrekuensi tinggi. Terdapat dua bagian utama rangkaian Tesla. Bagian pertama yaitu transformator step- up untuk menaikkan tegangan dari 220 volt ke tegangan ribuan volt, dengan frekuensi pada 50 Hz. Bagian kedua merupakan kumparan Tesla yang tersusun dari lilitan primer dengan jumlah lilitan yang sedikit serta lilitan sekunder dengan jumlah lilitan yang jauh lebih banyak.



Gambar 1. Tesla coil resonansi seri [4].

Inti udara digunakan pada kumparan Tesla. Kumparan primer tesla memberikan transfer tegangan menuju ke kumparan sekunder berdasarkan pada prinsip resonansi. Resonansi ini dihasilkan karena frekuensi kerja dari lilitan

primer memiliki kesesuaian dengan kumparan sekunder. Karena udara digunakan sebagai inti kumparan Tesla, maka frekuensi yang digunakan haruslah sangat tinggi (dalam orde kHz) agar optimal.

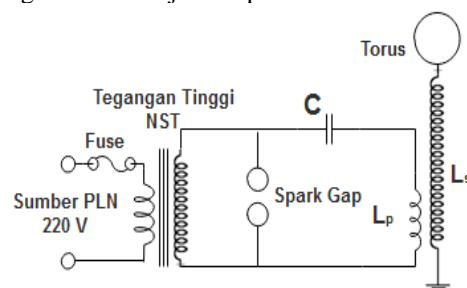
Tegangan tinggi berfrekuensi tinggi dihasilkan pada sisi kumparan primer dengan memanfaatkan kapasitor yang dihubungkan secara seri dengan kumparan primer Tesla. Setelah kapasitor C pada Gambar 1 diberi muatan, maka *spark gap* beroperasi hingga rangkaian resonansi L-C muncul. Dengan demikian, terbentuklah frekuensi resonansi. Karena frekuensi resonansi pada sisi primer sesuai dengan frekuensi resonansi di sisi sekunder maka energi listrik memungkinkan untuk ditransfer menuju sisi sekunder dengan optimal, berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik yaitu karena fluks-fluks listrik yang berubah terhadap waktu. Energi yang diperoleh pada sisi sekunder ini adalah tegangan yang tinggi dengan orde ratusan hingga ribuan kilo volt dan berfrekuensi tinggi (ratusan ribu hingga mega hertz), sesuai dengan rancangan yang didesain [5].

2.2. Komponen-komponen Trafo Tesla

Komponen-komponen penyusun dari trafo tesla antara lain adalah kumparan primer, kapasitor primer, kumparan sekunder, torus yang berfungsi sebagai kapasitor sekunder, *spark gap*, serta sumber tegangan tinggi. Nilai-nilai komponen dari trafo Tesla yang dirancang ini perlu sama atau mendekati dengan nilai yang dihitung, baik untuk perhitungan kumparan primer, kumparan sekunder, terminal torus, serta nilai kapasitor primer yang digunakan. Sisi primer serta sekunder dari trafo Tesla akan memberikan tegangan dengan frekuensi tertentu, dengan demikian frekuensi ini haruslah sesuai (*matching*). Kesesuaian frekuensi kerja antara sisi primer dan sisi sekunder akan mengakibatkan energi listrik tersalur secara optimal dari sisi primer ke sisi sekunder, serta besar tegangan pada sisi sekunder dapat dinaikkan hingga ratusan atau ribuan kilovolt [4].

2.3. Rancangan Penelitian

Pada penelitian ini, sebagai pembangkit tegangan tinggi frekuensi tinggi digunakan rancangan *tesla coil* resonansi seri sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2



Gambar 2. Rangkaian trafo tesla resonansi seri [4].

Penelitian ini dilakukan dengan cara mencari nilai dari tiap tiap komponen agar tercapai kondisi seimbang (matching) antara frekuensi di bagian primer dengan frekuensi di bagian sekunder.

2.4. Kumparan Sekunder

Kumparan sekunder pada trafo tesla ini memiliki tinggi (H) 42 cm, banyak lilitan (N) 1200. Diameter kawat email yang dibutuhkan untuk membuat kumparan sekunder ini dapat dicari dengan persamaan 1, yakni:

$$G = H/N \quad (1)$$

Penentuan tinggi, banyak lilitan, serta diameter kumparan akan mempengaruhi besarnya induktansi dari kumparan sekunder [10]. Besarnya induktansi dari kumparan sekunder ini dapat dihitung menggunakan persamaan 2:

$$L_S = \frac{R^2 N^2}{2540(9R+10H)} \quad (2)$$

Selain induktansi diri, kumparan sekunder trafo tesla ini juga memiliki kapasitansi diri yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan 3.

$$C_S = 0,114H + 0,16R + 1,94\sqrt{R^3/H} \quad (3)$$

Setelah nilai induktansi diri dan kapasitansi diri kumparan sekunder trafo tesla diketahui, maka besarnya frekuensi resonansi diri dari kumparan sekunder ini dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_S.C_S}} \quad (4)$$

2.5. Torus atau Top Terminal

Torus dari trafo tesla dibuat dengan menggunakan aluminium foil sebagai konduktornya, kemudian melapisinya pada bola sehingga melingkupi keseluruhan bagian bola tersebut. Torus pada trafo tesla ini berbentuk bola. Besarnya kapasitansi dari torus ini dapat dihitung menggunakan persamaan 5:

$$C_t = \frac{10R}{8} \quad (5)$$

Setelah kapasitansi dari torus diketahui, maka besarnya kapasitansi total yang ada di bagian sekunder adalah:

$$C_{tot} = C_S + C_t \quad (6)$$

Sehingga besarnya frekuensi resonansi pada bagian sekunder dari trafo tesla dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 7:

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{(C_S+C_t)}} \quad (7)$$

2.6. Kumparan Primer

Setelah frekuensi resonansi bagian sekunder diketahui, untuk membuat bagian primer maka harus

menyamakannya dengan frekuensi resonansi di bagian sekunder yang telah diperhitungkan. Kumparan primer trafo tesla dibuat dengan menggunakan kawat tembaga (konduktor). Kumparan primer trafo tesla dibuat dengan dua variasi, pertama kumparan primer berbentuk flat spiral dan ke dua kumparan primer berbentuk heliks.

2.6.1. Kumparan Primer Variasi Pertama (flat spiral)

Kumparan primer variasi pertama (flat-spiral) dapat dibuat dengan cara melilitkan kawat tembaga (konduktor) sehingga membentuk lingkaran obat nyamuk. Untuk mencari nilai induktansi dari kumparan primer flat spiral terlebih dahulu mengetahui nilai dari jari-jari rata-rata (R_{av}) dan lebar lilitan (W) dengan persamaan 8 dan persamaan 9:

$$W = (N_p - 1)(S_t + G) + G \quad (8)$$

Selanjutnya jari-jari rata-rata (R_{av}) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 9

$$R = (D_i + W_p)/2 \quad (9)$$

Sehingga besar induktansi dari kumparan primer flat spiral adalah

$$L_p = \frac{(N.R_{av})^2}{20,32R+27,94W} \quad (10)$$

2.6.2. Kumparan Primer Heliks

Kumparan primer heliks dibuat dengan cara menggulungkan membentuk lilitan seperti bentuk per melingkar ke atas. Induktansi dari kumparan primer heliks dapat dihitung melalui persamaan 11:

$$L_p = \frac{(N.R)^2}{22,86R+25,4H} \quad (11)$$

2.7. Power Supply

Tegangan supply untuk trafo tesla ini didapat dari output trafo NST dengan sumber dari PLN. Output dari trafo NST sebesar 15 KV, yakni (high-low 15 KV) dan (high-ground 7,5 KV) yang merupakan input dari trafo tesla tersebut. Output 15 KV dari NST ini merupakan tegangan rms (V_{rms}) sehingga pada trafo tesla ini memiliki tegangan input maximum (V_{max}) adalah:

$$V_{max} = \sqrt{2}.V_{rms} \quad (12)$$

Besarnya tegangan maximum ini akan mempengaruhi dalam pemilihan kapasitansi dari kapasitor primer.

2.8. Kapasitor Primer

Kapasitor primer pada trafo tesla ini memakai jenis *polymer capacitor*, yang memiliki tegangan kerja maximum sebesar 2 KV. Untuk menaikkan tegangan kerja maximum dari kapasitor ini dapat dilakukan dengan menseleksi kapasitor tersebut. Jumlah dari kapasitor yang

diserikan ini dapat dicari menggunakan persamaan berikut

$$N \approx V_{max}/V_c \quad (13)$$

Kapasitor primer yang akan dipakai pada trafo tesla ini memiliki dua ukuran, yang pertama untuk variasi pertama dan ke dua kapasitor yang dipakai pada variasi ke dua. Karena nilai induktansi primer (L_p) dan frekuensi resonansi (F_p) telah ditentukan besarnya, maka kapasitansi kumparan primernya dapat dicari melalui persamaan 14

$$C_p = \frac{1}{(2\pi F_p)^2 L_p} \quad (14)$$

Tegangan kerja kapasitor primer membutuhkan nilai yang lebih besar dibandingkan supply tegangan maksimum ke primer trafo tesla. Tegangan kerja maksimum kapasitor primer dapat diperbesar dengan cara menghubungkan kapasitor tersebut secara seri. Sehingga besar tegangan kerja kapasitornya adalah jumlah dari seluruh tegangan kerja kapasitor seri tersebut. Setelah nilai induktansi dan kapasitansi bagian primer diketahui, maka besar frekuensi resonansi bagian primer dapat dihitung menggunakan persamaan 15:

$$F_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_p \cdot C_p}} \quad (7)$$

2.9. spark gap

Spark gap pada tesla coil ini berjenis *rotary spark gap*. *Spark gap* jenis ini dapat dibuat dengan menggunakan dua elektroda yang terpisah satu sama lainnya dan memasang motor dc yang terkopel dengan konduktor yang terisolasi antara motor dan konduktor tersebut. Ketika *spark gap* diberikan input tegangan tinggi maka akan menyebabkan timbulnya loncatan api diantara kedua elektroda saat konduktor yang berputar tadi sejajar dengan dua elektroda yang memiliki beda potensial yang tinggi tersebut. Hal ini dikarenakan udara yang bertindak sebagai isolasi antara elektroda memiliki tegangan breakdown. Saat input tegangan melebihi tegangan breakdown maka timbullah loncatan api.

Besar nilai tegangan breakdown ini sangat dipengaruhi oleh jarak dari antara elektroda. Apabila semakin lebar jarak antara elektroda maka isolasi udaranya semakin kuat dan tegangan breakdown pun semakin besar. Saat terjadi loncatan api inilah resonansi L C terjadi. Sehingga timbullah frekuensi resonansi dari komponen LC yang akan menginduksikan energi listrik ke bagian sekundernya sesuai prinsip transformator [4].

3. Hasil dan Analisis

3.1. Kumparan sekunder

Kumparan sekunder trafo tesla dibuat dengan menggunakan kawat email berdiameter 0,35 mm, tinggi 42 cm, diameter kumparan 8,8 cm, dan lilitan 1200 lilit. Besarnya induktansi kumparan sekunder dapat ditentukan menggunakan persamaan 2, yakni sebesar 23,88 mH dan

besarnya kapasitansi kumparan sekunder dapat dihitung melalui persamaan 3, yang menghasilkan nilai sebesar 6,59 pF.

3.2. Torus

Torus pada trafo tesla ini berbentuk bola (sphere) dengan diameter (D) 16 cm. Besar kapasitansi dari torus dapat dicari dengan persamaan 5, yakni 8,89 pF. Sedangkan besar kapasitansi keseluruhan bagian sekunder trafo tesla dapat di hitung melalui persamaan 6, yakni sebesar 15,48 pF. Sehingga besar frekuensi resonansi di bagian sekunder adalah 261,877 Khz, yang dihitung menggunakan persamaan 7.

3.3. Kumparan primer

Kumparan primer penelitian ini dibuat menggunakan dua variasi, yakni *flat-spiral* dan *heliks*.

3.3.1. Kumparan primer flat spiral

Kumparan *flat spiral* dibuat dengan menggunakan konduktor berdiameter 0,2 cm, dengan panjang 6,8 m, lilitan 11 lilit, dan jari-jari rata-rata sebesar 10,01 cm yang dicari melalui persamaan 9. Besarnya induktansi kumparan *flat spiral* adalah 25,66 μH dihitung menggunakan persamaan 10.

3.3.2. Kumparan primer heliks

Kumparan primer *heliks* dibuat dengan menggunakan konduktor berdiameter 0,2 cm, tinggi 13 cm, diameter kumparan 21 cm, dan lilitan 10 lilit. sehingga besarnya induktansi kumparan *heliks* dapat dihitung dengan persamaan 11, yakni 19,334 μH .

3.4. Kapasitor primer

Kapasitor primer yang akan dipakai pada trafo tesla ini memiliki dua ukuran, yakni untuk variasi pertama dan kapasitor yang dipakai pada variasi ke dua.

3.4.1. Kapasitor primer untuk trafo tesla flat spiral

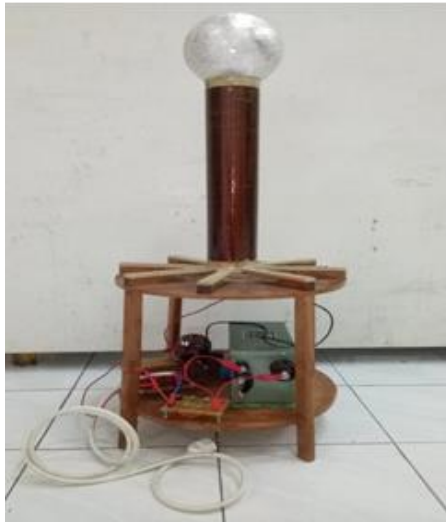
Kapasitansi dari kapasitor primer yang akan dipakai pada trafo tesla variasi pertama ini dapat dihitung menggunakan Persamaan 14, yakni 14,40 nF. akan tetapi, di pasaran belum tersedianya ukuran yang sesuai dengan kebutuhan tersebut, maka dipakailah kapasitansi yang mendekati nilai tersebut, yakni 15 nF. sehingga besar frekuensi resonansi di bagian primer adalah 256,651 Khz menggunakan persamaan (15).

3.4.2. Kapasitor primer untuk trafo tesla heliks

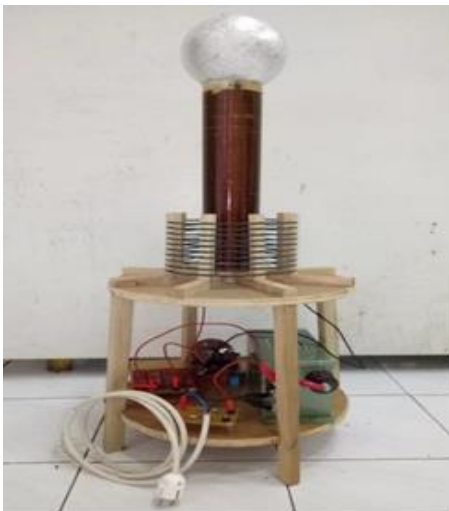
Kapasitansi dari kapasitor primer yang akan dipakai pada trafo tesla variasi kedua ini dapat dihitung menggunakan

Persamaan 14, yakni 19,12 nF. Akan tetapi, di pasaran belum tersedianya ukuran yang sesuai dengan kebutuhan tersebut, maka dipakailah kapasitansi yang mendekati nilai tersebut, yakni 20 nF. Sehingga besar frekuensi resonansi di bagian primer adalah 256,07 KHz menggunakan persamaan (15).

Setelah semua komponen telah diperhitungkan nilainya dengan tepat, maka langkah selanjutnya adalah merangkai komponen-komponen tersebut menjadi suatu alat trafo tesla secara keseluruhan. Berikut adalah gambar dari trafo tesla yang telah dibuat, yakni dengan kumparan primer berbentuk *flat spiral* dan kumparan primer berbentuk heliks



Gambar 3. Trafo tesla *flat spiral*

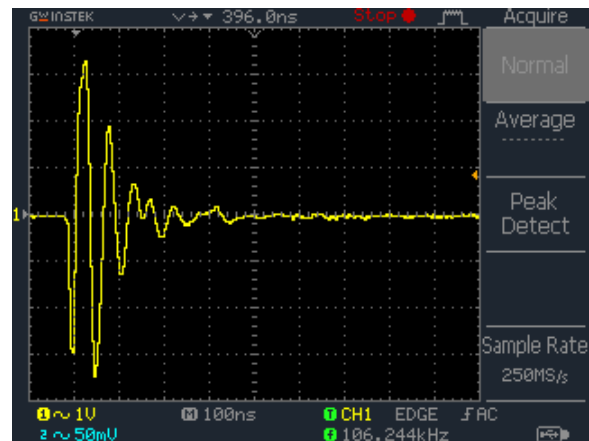


Gambar 4. Trafo tesla heliks

Gambar 3 merupakan gambar dari alat trafo tesla dengan kumparan primer berbentuk *flat spiral* yang telah dibuat. Gambar 4 merupakan gambar dari alat trafo tesla dengan kumparan primer berbentuk *heliks* yang telah dibuat.

3.5. Sinyal Output Trafo Tesla

Trafo tesla yang dipakai pada pengukuran ini merupakan trafo tesla *flat spiral*, kapasitansi primer 15 nF. Untuk melihat gelombang dari output trafo tesla dapat digunakan osiloskop. Agar dapat terukur oleh osiloskop. Output trafo tesla diturunkan tegangannya menggunakan CT, kemudian menghubungkan keluaran CT ke osiloskop CH1 sehingga gelombang dapat terbaca oleh osiloskop. Osiloskop ini dimaksudkan untuk melihat gelombang dari trafo tesla



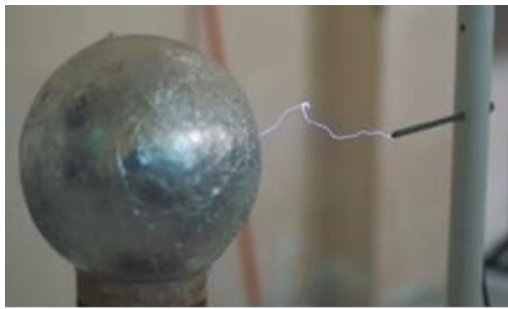
Gambar 5. gelombang output trafo tesla pada osiloskop

Gambar 5 merupakan gelombang dari output trafo tesla yang telah terhubung ke CT, sehingga output tersebut tidak menunjukkan besar tegangan sesungguhnya dari trafo tesla. Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa output trafo tesla merupakan output yang berfrekuensi tinggi. Hal ini terlihat pada time/div yang digunakan pada osiloskop tersebut, yakni 100 ns. Hal ini menunjukkan bahwa satu gelombang gambar 5 memiliki periode sebesar 50 ns dan frekuensi sebesar 20 Mhz.

3.6. Pengujian Trafo Tesla *flat-spiral*, 15 nF, 7500 V

Berikut adalah hasil dari pengujian trafo tesla yang menggunakan kumparan primer (*flat spiral*) dan dengan menggunakan kapasitor primer sebesar 15 nF, dan input trafo tesla sebesar 7500 volt dari *Neon Sign Transformer* (NST).

Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan bahwa output dari trafo tesla memiliki loncatan listrik di bagian sekundernya sepanjang 13,23 cm. Besarnya frekuensi resonansi primer adalah $(F_p) = 256,664$ KHz dan $(F_s) = 261,8773$ KHz. Agar terjadi kondisi setara antara frekuensi resonansi primer dan sekunder maka dibutuhkan kapasitansi primer sebesar 14,4 nF, Akan tetapi kapsitor dengan ukuran tersebut belum tersedia di pasaran, untuk itu dipakailah kapasitor primer yang memiliki kapasitansi yang mendekati dengan yang diperhitungkan, yakni sebesar 15 nF.

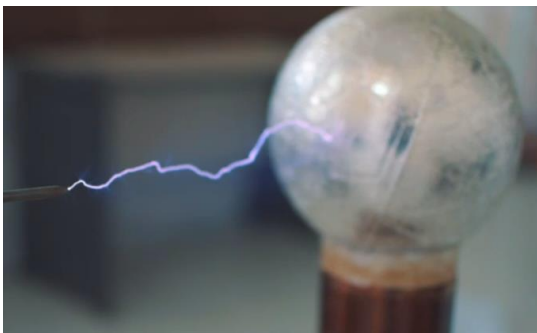


Gambar 6. Pengujian Trafo tesla *flat spiral* dengan kapasitansi 15 nF, dan V_{in} sebesar 7500 volt

3.7. Pengujian Trafo Tesla *heliks*, 20 nF, 7500 V

Berikut adalah hasil pengujian trafo tesla yang menggunakan kumparan primer (*heliks*), menggunakan kapasitor primer sebesar 20 nF, dan input trafo tesla sebesar 7500 volt dari *Neon Sign Transformer* (NST).

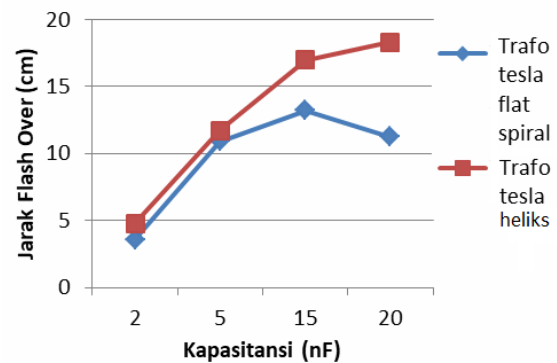
Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan bahwa output dari trafo tesla memiliki loncatan listrik di bagian sekundernya sepanjang 18,3 cm. Besarnya frekuensi resonansi primer adalah (F_p) = 256,071 Khz dan (F_s) = 261,8773 Khz. Agar terjadi kondisi setara antara frekuensi resonansi primer dan sekunder maka dibutuhkan kapasitansi primer sebesar 19,12 nF, akan tetapi kapasitor dengan ukuran tersebut belum tersedia di pasaran. Untuk itu dipakailah kapasitor primer yang memiliki kapasitansi yang mendekati dengan yang diperhitungkan, yakni sebesar 20 nF



Gambar 7. Pengujian Trafo tesla *heliks* dengan kapasitansi 20 nF, dan V_{in} sebesar 7500 volt.

3.8. Perbandingan Jarak Flashover Trafo Tesla: Belitan Primer Tipe Flat-Spiral dan Tipe Heliks

Output trafo tesla sangat dipengaruhi oleh tingkat penyamaan (*matching*) antara frekuensi resonansi bagian primer dengan bagian sekundernya. Semakin dekat tingkat kesamaannya, maka jarak flashover trafo tesla semakin jauh dan ini menunjukkan tegangan keluaran trafo tesla semakin besar. Gambar 8 merupakan perbandingan antara trafo tesla flat spiral dan heliks dengan $V_{in} = 7500$ volt.



Gambar 8. Grafik antara jarak loncatan listrik dengan jenis dari pengujian

Berdasarkan Gambar 8 diketahui bahwa output dari trafo tesla *flat spiral* tertinggi terdapat saat trafo tesla yang menggunakan kapasitansi sebesar 15 nF, yakni sejauh 13,23 cm dengan frekuensi resonansi $F_p = 256,651$ Khz. Kemudian saat dinaikkan menjadi 20 nF jarak loncatan listrik trafo tesla menurun menjadi 11,25 cm dan $F_p = 222,266$ Khz. Hal ini dikarenakan trafo tesla *flat spiral* akan terjadi *match* antara bagian primer dan sekunder jikalau frekuensi resonansinya sebesar $F_s = 261,877$ Khz, dengan kapasitansi primer yang digunakan adalah 14,4 nF. Akan tetapi, belum tersedianya di pasaran dengan ukuran yang sangat presisi seperti itu. Oleh karena itu, dipakailah kapasitor yang nilainya mendekati dengan yang telah diperhitungkan, yakni sebesar 15 nF. Dari Gambar 8 juga diketahui bahwa pada trafo tesla *heliks*, output terbesar terjadi saat pemakaian kapasitor sebesar 20 nF dengan $F_p = 256,071$ Khz. Hal ini dikarenakan untuk terjadi *match* pada trafo tesla *heliks* dibutuhkan kapasitansi primer sebesar 19,12 nF dan $F_s = 261,8773$ Khz. Akan tetapi belum tersedianya di pasaran dengan ukuran yang pas, maka dipakailah kapasitor primer sebesar 20 nF.

4. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut. Trafo tesla dengan input dari NST 7.5 KV dapat menghasilkan output loncatan listrik tertinggi sejauh 18,3 cm pada trafo tesla dengan kumparan primer tipe *heliks*. Sementara itu, trafo tesla *heliks* menghasilkan output loncatan listrik lebih besar dibandingkan trafo tesla flat spiral walaupun Frekuensi resonansi keduanya sama-sama telah mendekati *matcing* (setara). Di sisi lain, trafo tesla dapat membangkitkan tegangan tinggi frekuensi tinggi dengan syarat terjadinya resonansi di bagian primernya, kondisi *match* antara frekuensi resonansi di bagian primer dan sekunder akan menghasilkan output yang teroptimalkan atau semakin besar.

References

- [1]. Tobing, B.L. 2017. Dasar-Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi, Edisi Ketiga, Jakarta, Erlangga
- [2]. Mohammed, S. S. 2010. Wireless Power Transmission - A Next Generation Power Transmission System, International Journal of Computer Applications, Vol :1. No : 13 , pp. 1-4
- [3]. Hardt, N. and Koenig, D. 1998. Testing of insulating materials at high frequencies and high voltage based on the tesla transformer principle, IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Arlington, VA, USA, pp. 517-520
- [4]. Denicolai, M. 2001. Tesla Transformer for Experimentation and Research, Thesis, Department Electrical Engineering Helsinki, University of Technology
- [5]. Habibi, A. 2007. Pembangkitan Tegangan Tinggi Bolak-Balik Frekuensi Tinggi Menggunakan Kumpan Tesla, Tugas Akhir, jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro. Semarang, Indonesia
- [6]. Mujahid, W. 2011. Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi AC Frekuensi Tinggi Dengan Kumpan Tesla Menggunakan Inverter Jenis Push- Pull, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro. Semarang, Indonesia
- [7]. Setiawan, B.A. 2014. Perancangan Pembangkitan Tegangan Tinggi AC Frekuensi Tinggi Menggunakan Kumpan Tesla Dengan Rangkaian Resonansi Seri, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro. Semarang, Indonesia
- [8]. Mahendra, A. 2015. Analisis Lilitan Primer Inti Tunggal dan Inti Ganda Pada Kumpan Tesla Dalam Pembangkitan Tegangan Tinggi AC Frekuensi Tinggi Untuk Reaktor Ozon, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro. Semarang, Indonesia
- [9]. Putra, A.D. 2016. Perbandingan Tegangan Keluaran Serta Konsumsi Daya Pada Pembangkitan Tegangan Tinggi Frekuensi Tinggi Kumpan Tesla, Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro. Semarang, Indonesia
- [10]. Medhurst, R.G. 1947. H.F. Resistance and self-Capacitance of Single-Layer Solenoids, Wireless Engineer, pp. 80 - 92, march 1947